

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: "Мікроконтролерна система дистанційного керування повітряним

FPV-дроном"

08-54.МКР.014.00.000 ПЗ

Виконав: магістрант групи 1КІ-23м

Спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Підгорний М.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник:

к.т.н., доц. каф.ОТ

Крупельницький Л.В.

(прізвище та ініціали)

Опонент:

к.т.н., доц.каф.ПЗ

Ткаченко О.М.

(прізвище та ініціали)

Допущено до захисту

д.т.н., проф. Азаров О.Д.

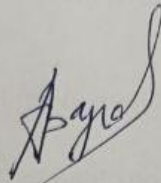
" "

2024 р.

Вінниця 2024

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр
Спеціальність 123 – «Комп'ютерна інженерія»



ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

Азаров О. Д.

«18» 09 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

магістранту Підгорному Максиму Максимовичу

1 Тема роботи: "Мікроконтролерна система дистанційного керування повітряним FPV-дроном" керівник роботи: к.т.н., доцент кафедри ОТ Крупельницький Л.В. затверджена наказом Вінницького національного технічного університету від 17.09.2024 року № 310.

2 Строк подання магістрантом роботи: 15.12.2024

3 Вихідні дані до роботи: прототип FPV-дрону квадрокоптерного типу, модель комп'ютерного зору для прототипа зі швидкістю розпізнання зображення 50 мс.

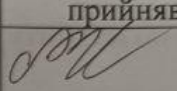
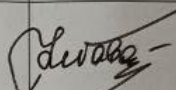
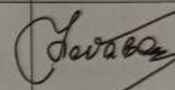
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, аналіз стану засобів керування повітряними дронами та протидії ним, дослідження технологій побудови та вибір засобів керування повітряним fpv дроном, розробка моделі повітряного дрона з автономною системою керування, тестування прототипа повітряного fpv дрона з автономним керуванням, розрахунок економічної доцільності створення fpv дрона з системою автономного керування.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): у магістерській роботі подано структурну та функціональну схеми системи керування FPV-дроном, які демонструють взаємодію ключових компонентів,

таких як аналого—цифрові перетворювачі, мікроконтролер та модуль комп'ютерного зору. Представлено ілюстративні матеріали, що відображають процес аналого—цифрового перетворення сигналів, включаючи принципи дискретизації та квантування. Окремо подано схеми алгоритмів обробки відеоінформації для автоматичного визначення та супроводження цільових об'єктів.

6 Консультанти розділів роботи наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 — Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 4	Крупельницький Л. В., к.т.н., доцент каф. ОТ		
5	Небава М.І., к.е.н., професор каф. ЕПВМ		

7. Дата видачі завдання 18.09.2024р.

8. Календарний план наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд і аналіз джерел інформації	04.10.2024	Виконано
2	Теоретичні дослідження технологій побудови та вибір засобів керування повітряним fpu дроном	18.10.2024	Виконано
3	Обґрунтування та розробка прототипу fpu дрона, розробка моделі комп'ютерного зору	01.11.2024	Виконано
4	Розробка і тестування прототипа	12.11.2024	Виконано
5	Економічна частина	25.11.2024	Виконано

Магістрант

Підгорний М.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Крупельницький Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Консультант з економічної частини

Небава М.І.

АНОТАЦІЯ

УДК 004.9

Підгорний М.М. "Мікроконтролерна система дистанційного керування повітряним FPV–дроном". Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 – Комп'ютерна Інженерія, Вінниця: ВНТУ, 2024.

На укр. мові. Бібліогр.: 22 назв; рис.: 35; табл. 15.

У роботі розглянуто принципи побудови FPV–дрона з використанням технологій комп'ютерного зору. Проаналізовано основні алгоритми і моделі обробки зображень для автономного керування дронами. Розроблено теоретичні основи інтеграції нейронних мереж для розпізнавання об'єктів і ухилення від перешкод. Запропоновано алгоритми адаптивного керування польотом з урахуванням змінних умов середовища. Розроблено структурні та функціональні схеми системи автономного керування з підтримкою роботи в реальному часі. Реалізовано програмне забезпечення для обробки відеопотоку, керування маршрутом та забезпечення бездротового зв'язку.

Ключові слова: FPV–дрон, комп'ютерний зір, автономне керування, алгоритми обробки зображень, нейронні мережі, бездротовий зв'язок.

ABSTRACT

УДК 004.9

Pidhornyi M.M. "Microcontroller system for remote control of an aerial FPV drone". Master's qualification work in specialty 123 – Computer Engineering, Vinnytsia: VNTU, 2024.

In Ukrainian. Bibliography: 22 titles; Figures: 35; Table 15.

The paper considers the principles of building an FPV drone using computer vision technologies. The main algorithms and image processing models for autonomous drone control are analyzed. The theoretical foundations of the integration of neural networks for object recognition and obstacle avoidance are developed. Adaptive flight control algorithms are proposed taking into account changing environmental conditions. Structural and functional diagrams of an autonomous control system with real-time support are developed. Software for video stream processing, route control, and wireless communication is implemented.

Keywords: FPV drone, computer vision, autonomous control, image processing algorithms, neural networks, wireless communication.

3MICT

ВСТУП.....	8
1 ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО СЕРЕДОВИЩА І РАДІОКАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ	11
1.1 Особливості електромагнітного середовища і радіоканалів зв'язку	11
1.2 Методи та засоби дистанційного керування рухомими об'єктами	16
1.3 Класифікація повітряних дронів.....	17
1.4 Засоби РЕБ як протидія засобам керування дронами	20
1.5 Автоматизація дронів за допомогою передових алгоритмів.....	22
1.6 Комп'ютерний зір як засіб керування дроном	25
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПОБУДОВИ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНИМ FPV ДРОНОМ	28
2.1 Аналіз перспективних технологій і вибір оптимальної структури FPV дрона.....	28
2.2 Огляд методів і засобів розробки комп'ютерного зору для розпізнавання об'єктів у реальному часі	29
2.3 Аналіз програмних продуктів для створення дрона з автономним керуванням.....	32
2.4 Протидія системам РЕБ в автономному режимі керування	34
2.5 Сенсорні системи та їх роль у забезпеченні автономного польоту	36
3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПОВІТРЯНОГО ДРОНА З АВТОНОМНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ.....	40
3.1 Вибір елементної бази для розробки прототипа повітряного FPV дрона. 40	
3.2 Розробка прототипа повітряного FPV дрона	53

					08–54.МКР.014.00.000 ПЗ									
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Мікроконтролерна система дистанційного керування повітряним FPV—дроном. Пояснювальна записка				Літ.	Аркуш	Аркушів			
Розробив	Підгорний М.М.										6	112		
Перевірив	Крупельницький								ВНТУ, гр. 1КІ–23м					
Реценз.	Ткаченко О.М.													
Н. контр.	Швець С.І.													
Затвердж.	Азаров О.Д													

3.3 Розробка автономного керування FPV дроном.....	57
3.3.1 Підготовка та налаштування середовища розробки.....	57
3.3.2 Розробка моделі комп'ютерного зору FPV дрона	60
3.3.3 Завантаження моделі автономного керування в прототип	63
4 ТЕСТУВАННЯ ПРОТОТИПА ПОВІТРЯНОГО FPV ДРОНА З АВТОНОМНИМ КЕРУВАННЯМ	67
4.1 Тестування прототипа та його поведінки	67
4.2 Порівняння з існуючими рішеннями	71
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	76
5.1 Комерційний та технологічний аудит науково—технічної розробки	76
5.2 Прогнозування витрат на виконання науково—дослідної (дослідно—конструкторської) роботи.....	79
5.3 Розрахунок економічної ефективності науково—технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором	87
ВИСНОВКИ	93
ДОДАТКИ.....	98
ДОДАТОК А Технічне завдання	99
ДОДАТОК Б Лістинг основного модулю Main.....	104
ДОДАТОК В Лістинг допоміжного модулю skeleton	106
ДОДАТОК Г Лістинг допоміжного модулю rule_generator	108
ДОДАТОК Д Діаграма алгоритму роботи автономного керування FPV—дроном	110
ДОДАТОК Е Схема підключення компонентів FPV—дроном	111
ДОДАТОК Ж Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	112

ВСТУП

Автономне керування дронами — одна з найбільш актуальних і затребуваних завдань у сучасній техніці. У багатьох сферах діяльності дрони відіграють все більшу роль, а можливість їх автономної роботи істотно підвищує ефективність і функціональність цих систем.

Автономні дрони стали невід’ємною частиною сучасного промислового та комерційного сектору. Вони активно використовуються для моніторингу інфраструктури, сільськогосподарських угідь та виконання логістичних завдань. Наприклад, дрони ефективно контролюють трубопроводи, лінії електропередач, розпилюють добрива та навіть здійснюють доставку вантажів у важкодоступні райони. Їхня автономність дозволяє значно знижувати витрати, охоплювати великі території та виконувати завдання з високою точністю.

Особливо важливими автономні дрони є у сфері безпеки та рятувальних операцій. Вони допомагають виявляти постраждалих у надзвичайних ситуаціях, швидко обстежуючи значні території, що значно підвищує ефективність рятувальних місій. Крім того, дрони використовуються для патрулювання, забезпечення охорони об’єктів та оперативного реагування на загрози. У військовій сфері вони виконують розвідувальні та ударні завдання, знижуючи ризик для життя людей і підвищуючи швидкість реагування на полі бою.

Технологічний прогрес у галузі комп’ютерного зору та штучного інтелекту відкрив нові можливості для автономних дронів. Завдяки алгоритмам комп’ютерного зору вони можуть ідентифікувати об’єкти, уникати перешкод і коригувати траєкторію. Штучний інтелект дозволяє адаптуватися до складних умов і приймати самостійні рішення в реальному часі. Водночас впровадження таких дронів вимагає врегулювання правових і етичних аспектів, адже їх використання охоплює не лише технічні, а й соціальні виклики.

Виходячи із розглянутого, задачі подальшого розроблення та вдосконалення методів на теперішній час є **актуальними**.

Мета дослідження: вдосконалення мікроконтролерної системи дистанційного керування повітряним FPV–дроном з використанням технологій комп'ютерного зору для автоматичного донаведення на об'єкти в польоті.

Задачі дослідження:

1) виконати огляд існуючих систем дистанційного керування FPV–дронами та проаналізувати можливості їх вдосконалення;

2) розробити мікроконтролерну систему з використанням алгоритмів комп'ютерного зору для автоматичного визначення та супроводження цільових об'єктів;

3) впровадити технології автоматичного донаведення дрона на об'єкти на основі аналізу зображень в реальному часі;

4) створити алгоритми обробки відеоінформації для підвищення точності та ефективності керування дроном;

5) провести тестування системи та оцінити її ефективність у реальних умовах експлуатації.

Об'єктом дослідження є процес дистанційного керування FPV–дроном з використанням комп'ютерного зору для автоматизації руху та донаведення на об'єкти.

Предметом дослідження апаратні і програмні засоби керування повітряним FPV–дроном, що включають автоматичне розпізнавання та супроводження об'єктів за допомогою систем комп'ютерного зору.

Методи дослідження: методи обробки цифрових зображень для розпізнавання об'єктів у реальному часі; методи математичної статистики для підвищення точності визначення об'єктів і траєкторій їх руху.

Новизна: збільшено точність керування рухомим об'єктом за рахунок удосконалення каскадної моделі нейромережі для класифікації зображень та алгоритму керування рухом.

Практична цінність роботи полягає у застосуванні вдосконалених нейромережових алгоритмів обробки зображень та алгоритму руху для керування рухомим об'єктом у тривимірному просторі.

Апробація результатів наукової роботи було проведено на наукових конференціях «Молодь у науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН – 2024)»[1] та «Молодь у науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН – 2025)» [2].

1 ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО СЕРЕДОВИЩА І РАДІОКАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Особливості електромагнітного середовища і радіоканалів зв'язку

Електромагнітне випромінювання — взаємозалежні коливання електричного та магнітного полів, що утворюють електромагнітне поле. Електромагнітні хвилі випромінюються зарядженими частинками, атомами, молекулами, антенами та іншими випромінювальними системами. Розповсюдження випромінювання здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль (рисунок 1.1).

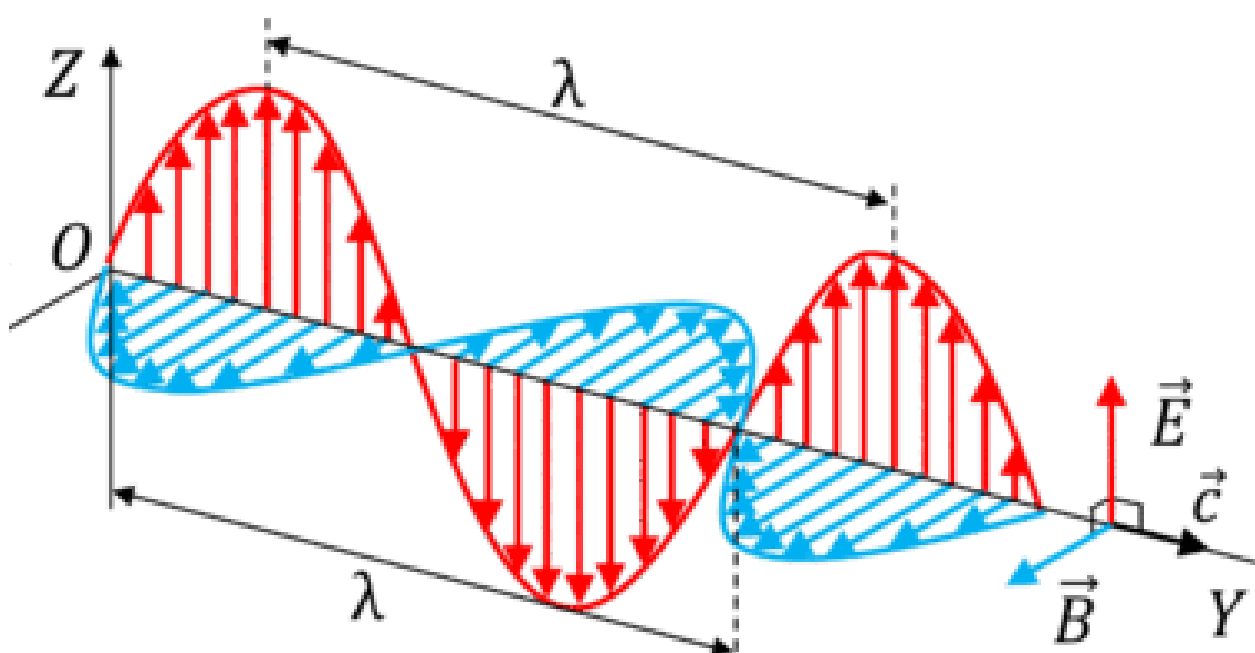


Рисунок 1.1 — Схема електромагнітної хвилі

Електромагнітне випромінювання може бути викликане зовнішніми джерелами (примусове) або може виникнути саме по собі. Електромагнітні коливання з безперервним частотним спектром можливі в системах з втратами енергії або в необмеженому просторі. У просторово обмежених системах частотний спектр дискретний, і кожній частоті може відповідати один або кілька незалежних типів коливань (мод).

Коливання в складних системах провідників і діелектриків можна представити як суперпозицію мод з дискретним або безперервним спектром за умови наявності лінійних залежностей між полями, струмами і зарядами.

Електромагнітне випромінювання характеризується такими параметрами, як частота, довжина хвилі та поляризація. Частота описує кількість коливань поля за секунду та вимірюється в герцах (Гц). Чим вища частота, тим коротший інтервал між коливаннями і тим більша енергія хвилі; натомість низька частота вказує на довгий інтервал між коливаннями та нижчою енергією.

Довжина хвилі — це найкоротша відстань між точками, в яких хвиля знаходиться в одній фазі. Поляризація описує напрямок коливань електричного поля хвилі, який перпендикулярний до напрямку її поширення. У плоскій поляризованій хвилі електричне поле коливається в площині, яка збігається з напрямком руху. У горизонтально поляризованих хвилях електричне поле коливається горизонтально, а у вертикально поляризованих хвилях електричне поле коливається вертикально. Кругова поляризація передбачає обертання електричного поля навколо напрямку поширення хвилі один раз за цикл.

Електромагнітне випромінювання поділяється на радіохвилі, інфрачервоне випромінювання, видиме світло, ультрафіолетове випромінювання, рентгенівське та гамма—випромінювання (наведено в таблиці 1.1).

Радіохвилі — це електромагнітні хвилі з довжиною хвилі понад 500 мкм (частота менше 6×10^{12} Гц). Вони мають широкий спектр застосувань, включаючи радіомовлення, радіотелефонію, телебачення, радіолокацію та радіометрологію. У таких випадках радіохвилі використовуються для бездротової передачі різних типів інформації, наприклад голосу, телеграфних сигналів і зображень[3].

Інфрачервоне випромінювання — це оптичне випромінювання з довжиною хвилі, більшою за видиме світло (понад 750 нм). Людське око цього не бачить. Інфрачервоні промені випромінюють усі тіла, температура яких перевищує абсолютний нуль. Інтенсивність випромінювання залежить від температури об'єкта.

Таблиця 1.1 — Характеристики видів електромагнітного випромінювання

Види електро— магнітного випромінювання	Довжина хвилі	Частота	Джерело випромінювання
Радіохвилі	Від 10 мкм до 1 мм	Від 30 кГц до 300 ГГц	Атмосферні та магнітосферні явища. Радіозв'язок.
Інфрачервоне випромінювання	Від 1 мм до 780 нм	Від 300 ГГц до 429 ТГц	Випромінювання атомів при теплових впливах
Видиме світло	Від 780 до 380 нм	Від 429 ТГц до 750 ТГц	Фотони
Ультрафіолетове випромінювання	Від 380 нм до 10 нм	Від 3×10^{14} Гц до 3×10^{16} Гц	Випромінювання атомів під впливом прискорених електронів.
Рентгенівське випромінювання	Від 10 нм до 5 пм	Від 3×10^{16} Гц до 6×10^{19} Гц	Атомні процеси при впливі прискорених заряджених частинок.
Гамма випромінювання	> 5 пм	> 6×10^{19} Гц	Ядерні і космічні процеси, радіоактивний розпад.

Видиме світло — це діапазон електромагнітного спектру, який може сприймати людське око. Чутливість ока до хвиль різної частоти неоднакова, з максимумом у зеленій частині спектру. Тому джерела світла однакової інтенсивності, що випромінюють зелене світло, виглядають яскравіше, ніж червоне або синє світло.

Ультрафіолетове випромінювання є частиною електромагнітного спектру, що становить близько 5% загальної сонячної радіації. Він незамінний для організму, оскільки благотворно впливає на обмін речовин, ферментативну діяльність і кровотворення, а в оптимальних дозах має бактерицидну дію.

Рентгенівські промені — це електромагнітні хвилі з довжиною хвилі від 10 нм до 0,01 нм, розташовані між ультрафіолетовими і гамма—променями. Рентгенівські промені можуть проникати через різні матеріали, і ця властивість широко використовується в медицині, науці та промисловості. Проходячи через предмет і потрапляючи на фотопластинку, вони створюють зображення внутрішньої будови цього предмета.

Гамма—випромінювання — електромагнітне випромінювання з найбільшою енергією та довжиною хвилі менше 1 ангстрема. Він утворюється під час ядерних реакцій і взаємодії елементарних частинок. Завдяки високій проникаючій здатності гамма—промені використовуються в медицині для лікування раку, стерилізації та впровадження корисних мутацій у мікроорганізми та рослини.

Радіохвилі — це тип електромагнітного випромінювання з найбільшою довжиною хвилі в електромагнітному спектрі. Як і всі електромагнітні хвилі, вони поширюються у вакуумі зі швидкістю світла, а в земній атмосфері — трохи повільніше. Радіохвилі утворюються в результаті прискорення заряджених частинок, наприклад, під час змін електричного струму. Їх походження може бути як природним, так і штучним. У природі джерелами радіохвиль є блискавки та космічні тіла.

Штучні радіохвилі створюються за допомогою передавача, підключеного до антени, яка випромінює хвилі. Їх приймають інші антени, підключені до приймачів. Радіохвилі широко використовуються в сучасних технологіях, включаючи фіксований і мобільний радіозв'язок, радіомовлення, радіолокацію, супутникові системи зв'язку, бездротові мережі та інші галузі.

Поширення радіохвиль є ключовим елементом телекомунікацій і відіграє важливу роль у розвитку телекомунікаційних мереж. Це явище дозволяє передавати інформацію між двома точками без використання фізичного носія[4]. Під час свого руху радіохвилі піддаються різним зовнішнім впливам, таким як відбивання, заломлення, дифракція, поглинання, поляризація та розсіювання, які впливають на їх поширення.

У галузі телекомунікацій розуміння поширення радіочастотного сигналу має вирішальне значення для розробки ефективних систем зв'язку, які забезпечують оптимальну силу сигналу. Поширення радіохвиль є основою для планування радіочастот, процесу вибору частот, розташування передавачів тощо параметри бездротової мережі, що забезпечують адекватний діапазон і пропускну здатність для необхідних послуг.

Радіохвилі можуть поширюватися від передавача до приймача чотирма різними шляхами: через землю, через іоносферу, через космос і через тропосферу.

Наземний: радіосигнали, що переміщуються через Землю, зазвичай відповідають кривизні планети і, як правило, залежать від місцевості, над якою вони переміщуються. Цей тип розповсюдження радіочастот ідеально підходить для відносно коротких відстаней і використовується для забезпечення місцевого радіопокриття.

Поширення в іоносфері: радіосигнали проходять через верхню частину земної атмосфери, яка називається іоносферою, і зазнають її впливу. Цей тип розповсюдження радіочастот використовується в системах короткохвильового радіозв'язку.

Поширення в просторі: радіохвилі поширюються вільно, незалежно від будь—яких об'єктів, які можуть заважати руху хвиль. На силу сигналу впливає лише відстань між джерелом і пунктом призначення. Цей тип розповсюдження радіочастот зустрічається в системах радіозв'язку, де сигнали досягають супутника з землі та повертаються вниз. Такі елементи, як атмосфера, рідко впливають на поширення.

Поширення в тропосфері: сигнали поширюються в тропосфері за межі оптичного горизонту. На силу сигналу впливають температура повітря, атмосферний тиск і тиск водяної пари. Цей тип розповсюдження радіочастот використовується в стільникових телекомунікаціях і мережах мобільного зв'язку.

1.2 Методи та засоби дистанційного керування рухомими об'єктами

Дистанційне керування рухомими об'єктами — це технологія, яка дозволяє контролювати об'єкти на відстані за допомогою різних методів передачі даних, таких як радіохвилі, інфрачервоні промені, Wi—Fi або системи супутникового зв'язку. Ця технологія широко використовується в різних галузях, таких як робототехніка, аерокосмічна промисловість, транспорт, військові системи та навіть побутова техніка.

Одним із найвідоміших прикладів дистанційного керування є керування дронами. Дрони можуть повністю керуватися оператором або бути напіваавтономними, деякі функції виконуються програмним забезпеченням. Управління дроном здійснюється по радіоканалу, який передає команди з пульта на сам дрон, що дозволяє регулювати його висоту, напрямок польоту, швидкість та інші параметри.

Роботи та автономні транспортні засоби також широко використовують дистанційне керування. Наприклад, автономними автомобілями можна керувати дистанційно для виконання певних завдань або у випадках, коли потрібне втручання людини. Дистанційне управління в таких випадках здійснюється через мережі мобільного зв'язку або спеціальні канали передачі даних.

Військові технології використовують дистанційне керування такими об'єктами, як безпілотні літальні апарати (БПЛА), бойові роботи та підводні апарати. Це дозволяє виконувати завдання в небезпечних або важкодоступних місцях без загрози для життя операторів[5].

Однією з головних переваг дистанційного керування є безпека, оскільки оператор може перебувати на значній відстані від об'єкта, що знижує ризик нещасного випадку або загрози здоров'ю. Ця технологія також дозволяє контролювати об'єкти у важкодоступних, небезпечних або агресивних середовищах, таких як космічний простір, глибоководні зони або зони бойових дій.

Сучасні системи дистанційного керування все частіше використовують автономні функції та елементи штучного інтелекту. Наприклад, роботизовані системи можуть отримувати загальні інструкції від оператора та самостійно

приймати рішення про те, як виконувати завдання, використовуючи датчики для навігації в просторі та уникнення перешкод.

Ключовим аспектом дистанційного керування є надсилання та прийом команд між оператором і об'єктом. Для цього використовуються різні технології, такі як:

- радіочастотні сигнали широко використовуються для керування дронами, автомобілями та іншими транспортними засобами;
- інфрачервоне випромінювання часто використовується в побутовій техніці, наприклад, в пультах дистанційного керування;
- інтернет—зв'язок для керування об'єктами, які знаходяться на великій відстані, особливо для промислових або військових потреб.

Таким чином, дистанційне керування рухомими об'єктами дозволяє вирішувати завдання в різних сферах з мінімальним втручанням людини, підвищуючи ефективність, точність та безпеку процесів.

1.3 Класифікація повітряних дронів

Дрони — це безпілотні літальні апарати, які використовуються для виконання різноманітних завдань, від комерційних і військових до наукових і розважальних. Існує кілька основних типів дронів, кожен з яких має свої особливості та сфери застосування.

Одним з найпоширеніших типів є мультикоптер, який має кілька пропелерів для стабілізації польоту. До цієї категорії належать квадрокоптери, гексакоптери та октокоптери (рисунк 1.2) залежно від кількості гвинтів. Мультиротори особливо популярні завдяки своїй маневреності та стабільності в повітрі, що робить їх ідеальними для аерофотозйомки, відеозйомки та наукових досліджень. Вони можуть зависати на місці та майже миттєво змінювати напрямок польоту, що є перевагою для фотографування чи детального спостереження. Завдяки цій характеристиці багатороторні літальні апарати широко використовуються в геодезії та картографуванні, інспекції інфраструктури, розвагах та інших суміжних галузях.

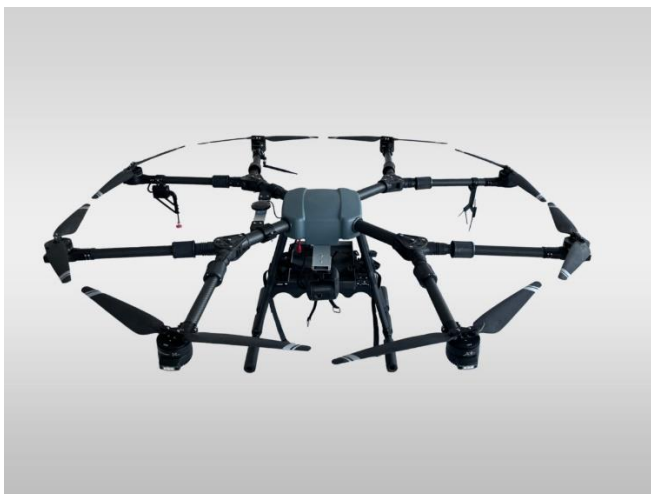


Рисунок 1.2 — Приклад моделі октокоптера

Інший тип повітряних дронів — це фіксованокрилі дрони (рисунок 1.3). Вони більше схожі на традиційні літаки, оскільки мають крила, що забезпечують підйомну силу під час руху вперед. Такі дрони зазвичай ефективніші з точки зору дальності польоту і здатні покривати великі відстані, оскільки не витрачають так багато енергії на підтримання себе в повітрі.

Фіксованокрилі дрони часто використовуються в агросекторі для моніторингу великих площ, у пошуково—рятувальних операціях та для доставки вантажів. Вони можуть перебувати в повітрі тривалий час і летіти на високих швидкостях, але не здатні зависати на місці.



Рисунок 1.3 — Фотографія американського дрона MQ—9 Reaper

Ще один тип повітряних дронів — це гібридні апарати (рисунк 1.4), які поєднують риси мультикоптерів і фіксованокрилих дронів. Вони мають можливість вертикального зльоту і посадки, як мультикоптери, але також можуть літати на великі відстані, використовуючи крила для економії енергії. Гібридні дрони стають все більш популярними, оскільки поєднують маневреність і універсальність з можливістю тривалого польоту.



Рисунок 1.4 — Приклад дрону гібридного типу

Існують також мікро— та нанодрони (рис. 1.5), які відрізняються дуже малими розмірами та вагою. Вони використовуються для спостереження, стрільби у важкодоступних і небезпечних місцях, а також у військових цілях.

Мікродрони можуть виконувати завдання, що вимагають високої точності та акуратності.

Існують різні типи безпілотних літальних апаратів, кожен з яких має свої унікальні характеристики, які дозволяють йому виконувати певні завдання. Вибір типу дрона залежить від його мети використання, умов експлуатації та необхідних характеристик польоту, таких як дальність, швидкість, маневреність і можливості зависання.



Рисунок 1.5 — Фотографія дрона—розвідника Black Hornet

1.4 Засоби РЕБ як протидія засобам керування дронами

Враховуючи швидке поширення дронів для військового, цивільного та комерційного використання, засоби електронної боротьби (РЕБ) проти дронів стають все більш досконалими. Основне призначення таких засобів — перехопити або знешкодити безпілотник шляхом порушення його зв'язку, навігації або управління. Сучасні системи електронної боротьби проти безпілотників використовують різні технології для досягнення цієї мети, враховуючи зростаючі можливості безпілотників та їх загрозу військовим операціям, безпеці та цивільному життю.

Одним з найпоширеніших методів є радіоперешкоди. Дронами зазвичай керують за допомогою радіочастотного зв'язку між оператором і пристроєм або використовують GPS для навігації. Радіоперешкоди або "глушіння" — це дія, яка створює перешкоди радіочастотам, які використовуються для керування або навігації. Це може призвести до втрати контролю над дроном або дезорієнтації. Перешкода сигналу GPS призводить до того, що безпілотник втрачає здатність визначати своє місцезнаходження, змушуючи його приземлятися, розбиватися або повертатися до початкової точки.

Обман — ще один ефективний прийом інструментів WB. Спуфінг передбачає заміну реального сигналу, отриманого дроном, на помилковий. Наприклад,

помилковий сигнал GPS може змусити дрон змінити курс або приземлитися в іншому місці. Це дозволяє безпечно перехопити управління дроном, не завдаючи йому фізичної шкоди, що корисно для аналізу чи розслідування.

Електромагнітний імпульс (ЕМІ) також використовується проти дронів. Потужні імпульси електромагнітної енергії можуть пошкодити електроніку дрона та вивести його з ладу. Цей метод є більш агресивним і часто використовується для швидкої ліквідації ворожих безпілотників у зонах бойових дій[6].

Системи радіоелектронної боротьби можуть бути стаціонарними (встановленими для захисту важливих об'єктів) або мобільними (рис. 1.6), що дозволяє використовувати їх у різноманітних середовищах, включаючи рухомі автомобілі, і навіть військовими чи правоохоронними органами. Портативна система для особистого використання .

Крім глушіння та обману, існують активні засоби протидії, такі як дрони— перехоплювачі, обладнані для фізичного захоплення або нейтралізації дронів противника. Їх можна запускати, щоб збивати дрони або ловити їх у польоті мережами.



Рисунок 1.6 — Фотографія військового з мобільною станцією РЕБ

Застосування радіоелектронної боротьби проти безпілотників є особливо важливим у військових конфліктах, де безпілотники можуть використовуватися для розвідки, коригування артилерійського вогню і навіть враження цілей. Засоби радіоелектронної боротьби можуть знизити ефективність таких безпілотників або повністю вивести їх з ладу, тим самим захищаючи критично важливі об'єкти та зменшуючи ризики для військових і цивільного населення.

Завдяки стрімкому розвитку безпілотників постійно вдосконалюються засоби радіоелектронної боротьби. Сучасні безпілотники стають все більш автономними та менш залежними від зовнішнього контролю, тому розробники систем електронної боротьби змушені адаптувати свої технології для ефективного захисту від нових загроз.

1.5 Автоматизація дронів за допомогою передових алгоритмів

Автоматизація дронів за допомогою передових алгоритмів є однією з найбільш перспективних та динамічних сфер у сучасних технологіях. Використання дронів із автоматичним керуванням дозволяє значно розширити їх функціональність та сфери застосування, роблячи їх універсальними інструментами для виконання складних завдань. У цьому контексті передові алгоритми відіграють вирішальну роль, забезпечуючи здатність дронів адаптуватися до динамічного середовища, приймати самостійні рішення та виконувати операції з високою точністю.

Одним із ключових напрямів автоматизації є застосування алгоритмів машинного навчання та глибокого навчання. Ці алгоритми дозволяють дронам розпізнавати об'єкти, аналізувати ситуації та прогнозувати події.

Наприклад, у сільському господарстві дрони з алгоритмами глибокого навчання можуть аналізувати стан рослинності, визначати ділянки, що потребують зрошення чи добрив, а також оцінювати врожайність.

Також дрони можуть самостійно займатися поливом окремих ділянок поля (рисунки 1.7).

У пошуково—рятувальних операціях автоматизовані дрони можуть сканувати великі території, розпізнавати людей чи об'єкти, що потребують уваги, навіть у складних умовах, таких як туман або нічний час.



Рисунок 1.7 — Агродрон з функцією автоматичного поливу окремих ділянок поля

Автоматизація дронів значно зросла завдяки алгоритмам планування маршрутів та уникнення перешкод. Ці алгоритми дозволяють дрону оптимізувати свій рух з урахуванням складності рельєфу, наявності перешкод і мінливих умов в реальному часі. Наприклад, дрони, що працюють у міських умовах, можуть використовувати алгоритми планування маршруту для безпечного переміщення між будівлями, лініями електропередач та іншою інфраструктурою. Ця технологія особливо корисна в логістиці, де дрони автоматично вибирають найбільш ефективний маршрут для доставки товарів.

Алгоритми комп'ютерного зору відіграють важливу роль у забезпеченні автономності дрона. Завдяки їм дрони можуть аналізувати зображення, отримані з камер, щоб ідентифікувати об'єкти, оцінювати відстані та створювати тривимірну

модель навколишнього середовища. Ці алгоритми дозволяють автоматизованим дронам виконувати такі завдання, як картографування територій, моніторинг інфраструктури та моніторинг навколишнього середовища. У промисловості, наприклад, дрони з комп'ютерним зором можуть перевіряти труби, вежі та інші конструкції, шукаючи дефекти чи пошкодження, зменшуючи ризик для персоналу та скорочуючи час перевірки.

Ще одним важливим напрямком в автоматизації є інтеграція алгоритмів штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних, отриманих дронами. Уявіть собі дрони, які збирають дані про дорожню інфраструктуру чи стан електромережі. За допомогою штучного інтелекту вони можуть не лише виявляти проблеми, а й визначати пріоритети їх важливості та рекомендувати відповідні дії. Це особливо корисно в ситуаціях, коли потрібно швидко прийняти рішення, наприклад, у надзвичайній ситуації.

Ще одним інноваційним напрямком є алгоритми координації та взаємодії між дронами. Вони дозволяють створювати цілі зграї трупнів, які працюють як єдиний організм (рис. 1.8). Такі системи використовуються для виконання завдань, які вимагають одночасної роботи кількох безпілотників, таких як моніторинг великих територій, створення 3D—карт або доставка товарів у різні місця[7]. Алгоритми координації дозволяють уникнути конфліктів, оптимізувати роботу команди та забезпечити ефективне використання ресурсів.

Не можна залишити поза увагою алгоритми безпеки, які гарантують стабільність роботи дрона навіть у найскладніших умовах. Це включає захист від збоїв у роботі, кібератак чи втрати зв'язку. Наприклад, у випадках втрати сигналу дрони можуть автоматично повертатися до початкової точки або завершувати завдання, використовуючи автономні функції. Такі алгоритми забезпечують надійність системи та мінімізують ризик пошкодження дронів або нанесення шкоди довкіллю.

Автоматизація також відкриває нові горизонти у військовій та оборонній сфері. Наприклад, автоматизовані дрони можуть виконувати розвідувальні місії,

оцінювати ситуацію на полі бою або навіть доставляти необхідні ресурси в складні місця.



Рисунок 1.8 — Рой дронів на китайському фестивалі

Алгоритми забезпечують високу точність, швидкість і незалежність від людського фактора, що робить їх надзвичайно ефективними в умовах, де традиційні засоби можуть виявитися недієвими.

Важливо зазначити, що автоматизація дронів базується на постійному розвитку та вдосконаленні алгоритмів. З кожним роком з'являються нові методи машинного навчання, більш ефективні моделі комп'ютерного зору та більш швидкісні обчислювальні платформи, які сприяють вдосконаленню автономних систем. Це робить автоматизовані дрони універсальними інструментами, здатними виконувати завдання, які раніше вважалися неможливими чи занадто складними.

1.6 Комп'ютерний зір як засіб керування дроном

Комп'ютерний зір — це технологія, що дозволяє комп'ютерам аналізувати та інтерпретувати візуальну інформацію (рисунок 1.9) так, як це робить людське око. Вона поєднує в собі елементи математики, статистики та нейронних мереж, щоб

створити системи, здатні розпізнавати об'єкти, розуміти контекст зображення та навіть реагувати на зміну обстановки.

Наприклад, алгоритми комп'ютерного зору використовують глибоке навчання, щоб навчитися розпізнавати обличчя, предмети чи сцени на зображеннях, розбираючи їх на частини і знаходячи характерні ознаки.

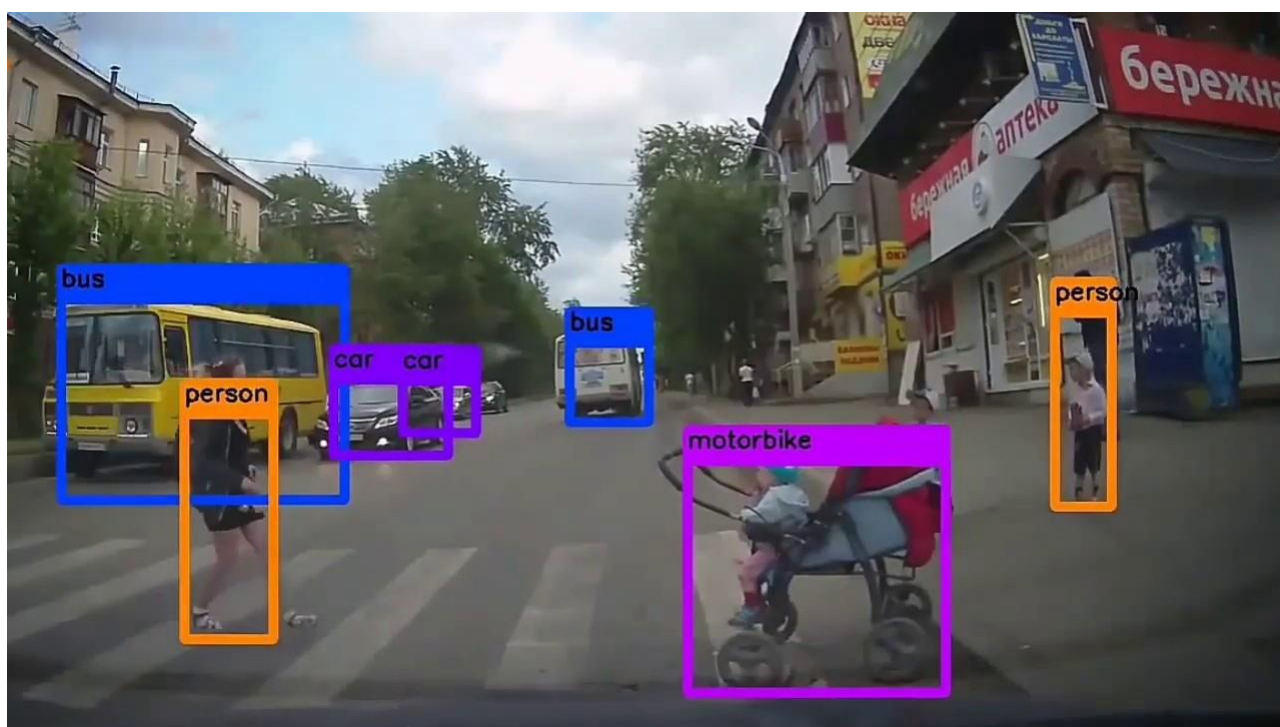


Рисунок 1.9 — Приклад фрагменту комп'ютерного зору

Щоб дрон мав комп'ютерний зір, йому потрібні кілька ключових елементів. По—перше, це камери, які виконують роль «очей» дрона. Сучасні дрони можуть бути оснащені різними типами камер, від простих камер RGB до більш складних систем, таких як камери глибинної зйомки або теплові камери, які дозволяють спостерігати в умовах недостатньої видимості.

Крім камери, важливу роль відіграє процесор. Обробка зображень у режимі реального часу вимагає потужних обчислювальних ресурсів. Безпілотники часто оснащені спеціалізованими мікросхемами, такими як FPGA (програмовані логічні масиви) або GPU (блоки обробки графіки), які можуть швидко виконувати складні математичні обчислення, необхідні алгоритмам комп'ютерного зору.

Щоб дрони використовували комп'ютерний зір, потрібні алгоритми обробки та аналізу зображень. Багато розробників використовують бібліотеки машинного навчання, такі як TensorFlow або PyTorch, для створення моделей, які можуть навчатися на великій кількості зображень. Потім ці моделі інтегруються в систему дрона, щоб він міг виконувати такі завдання, як розпізнавання об'єктів або виявлення перешкод.

Крім того, безпілотники потребують навігаційної системи, яка працює в поєднанні з комп'ютерним зором. Системи GPS дозволяють дронам визначати своє місцезнаходження, а дані датчиків, таких як акселерометри та гіроскопи, допомагають підтримувати стабільний політ. Взаємодія між цими компонентами дозволяє дрону адаптувати свою поведінку відповідно до ситуацій, що виникають[8].

Комп'ютерне бачення може забезпечити безпечну навігацію під час керування дронами. Він може виявляти такі перешкоди, як дерева, телефонні стовпи чи інші літаючі об'єкти, і відповідно коригувати свій маршрут. Якщо дрон помічає щось незвичайне, наприклад групу людей або діяльність, яка вимагає уваги, він може зупинитися або змінити висоту, щоб отримати кращу картину.

Таким чином, комп'ютерний зір відкриває нові горизонти для дронів, дозволяючи їм діяти автономно, реагувати на зміни в навколишньому середовищі та виконувати завдання з високою точністю. Це створює безмежні можливості для використання дронів у різних сферах — від доставки вантажів до екологічного моніторингу. Інтеграція всіх цих технологій робить дрони не тільки потужнішими, але й безпечнішими та ефективнішими в експлуатації.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПОБУДОВИ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНИМ FPV ДРОНОМ

2.1 Аналіз перспективних технологій і вибір оптимальної структури FPV дрона

Сучасні технології в області дронів стрімко розвиваються, що створило широкий спектр можливостей для використання дронів в різних сферах, таких як аерофотозйомка, спостереження, доставка вантажів і навіть спортивні змагання. Серед різноманітних конструкцій FPV дронів, квадрокоптерів, гексакоптерів і октокоптерів кожен має переваги та недоліки, які слід враховувати при виборі найкращої моделі.

Квадрокоптери користуються найбільшою популярністю серед користувачів, оскільки вони легкі в управлінні та відносно легкі. Вони мають чотири пропелери, що забезпечує хорошу маневреність і стабільність польоту. Завдяки компактній конструкції квадрокоптер можна легко переносити та використовувати в обмеженому просторі. Крім того, їх технологія управління польотом постійно вдосконалюється, а точність управління дуже висока.

Гексакоптери мають шість гвинтів і більшу вантажопідйомність, що робить їх привабливими для професійного використання, наприклад для аерофотозйомки з більш важкими камерами. Однак їхня складність управління та більший розмір можуть стати недоліком для новачків.

Оснащений вісьмома пропелерами, октокоптер забезпечує найвищу стійкість і вантажопідйомність. Вони чудово підходять для великих навантажень, але є більш складними в конструкції та управлінні, що робить їх менш зручними для аматорського використання[9].

Безпілотники авіаційного типу або безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають все більш популярними завдяки своїй здатності долати великі відстані та забезпечувати тривалий час польоту. Вони значно відрізняються від багатороторних дронів, таких як квадрокоптери, що робить їх дуже корисними в певних сферах застосування.

Конструкція дрона передбачає фіксовані крила, що дозволяє досягти більшої швидкості та ефективності в польоті. Це робить їх ідеальними для моніторингу великих територій, таких як сільськогосподарські угіддя, ліси або прибережні зони. Безпілотники можуть виконувати місії на великі відстані без необхідності часто повертатися на базу для перезарядки.

Однією з головних переваг дронів авіаційного типу є їх енергоефективність. Вони споживають менше енергії на одиницю відстані, що дозволяє їм літати на великі відстані з меншими витратами. Це робить їх привабливими для комерційних застосувань, таких як геодезія, агрономія та моніторинг навколишнього середовища.

Однак дрони також мають свої обмеження. Складність елементів керування та необхідність точного планування маршруту можуть зашкодити новачкам. Вони не мають такої ж маневреності, як багатороторні дрони, що обмежує їх використання в замкнутих просторах або місцях, які вимагають вертикального зльоту та посадки.

Також важливо враховувати, що дрони авіаційного типу зазвичай вимагають складніших систем запуску та посадки, що збільшує їх загальну вартість розвивати

Отже, хоча дрони літального типу пропонують унікальні переваги, їх складність і обмеження маневреності роблять їх менш ідеальним вибором порівняно з квадрокоптерами. Квадрокоптери все ще більш універсальні та зручні для виконання різноманітних завдань, що робить їх оптимальним вибором для досягнення поставлених цілей[10].

2.2 Огляд методів і засобів розробки комп'ютерного зору для розпізнавання об'єктів у реальному часі

Розробка комп'ютерного зору для розпізнавання об'єктів у реальному часі — це складна і динамічно розвиваюча галузь, яка поєднує в собі машинне навчання, обробку зображень і комп'ютерні науки. У цій сфері використовуються різні методи та засоби, які дозволяють створювати ефективні системи для автоматизованого аналізу відео та зображень.

Python став одним з найпопулярніших мов програмування для розробки систем комп'ютерного зору, завдяки своїй простоті та багатим бібліотекам. Найбільш відомими є:

— OpenCV — це одна з найбільш використовуваних бібліотек, яка пропонує широкий набір функцій для обробки зображень, таких як фільтрація, виявлення країв, розпізнавання об'єктів і роботи з відео; OpenCV підтримує як 2D, так і 3D обробку зображень, що робить її універсальним інструментом для дослідників і розробників;

— TensorFlow — бібліотека для глибокого навчання від Google дозволяє створювати та навчати нейронні мережі; TensorFlow підтримує різноманітні моделі для комп'ютерного зору, включаючи згорткові нейронні мережі (CNN), які використовуються для виявлення об'єктів;

— Keras — високорівневий API для TensorFlow, який спрощує процес створення нейронних мереж; Keras дозволяє швидко будувати моделі, експериментувати з архітектурами та налаштовувати гіперпараметри;

— PyTorch — бібліотека стала дуже популярною серед дослідників завдяки своїй простоті використання та можливості динамічного побудови графів; PyTorch дозволяє легко створювати моделі та експериментувати з новими ідеями, що робить його ідеальним вибором для наукових досліджень у сфері комп'ютерного зору.

Процес комп'ютерного зору зазвичай складається з п'яти етапів:

1) на першому етапі відбувається захоплення зображень або відео через камери або інші сенсори;

2) другий етап передбачає очищення та підготовку зображень до аналізу — це може включати зміни розміру, нормалізацію яскравості, фільтрацію шуму та інші техніки, які покращують якість даних;

3) на третьому етапі система використовує алгоритми для виділення важливих характеристик зображення, раніше це робили вручну, але тепер все частіше використовуються нейронні мережі, які автоматично виявляють суттєві ознаки;

4) четвертий етап — після виділення ознак модель класифікує об'єкти, використовуючи вже навчені параметри, це означає, що модель може визначити, чи є на зображенні кіт, собака, автомобіль тощо;

5) останній етап — остаточні результати виводяться на екран або зберігаються для подальшого аналізу; це може включати обведення об'єктів у прямокутники або надання текстової інформації про виявлені об'єкти.

YOLO (You Only Look Once) — один із найуспішніших методів розпізнавання об'єктів у реальному часі. Модель була розроблена групою дослідників під керівництвом Джозефа Редмонда і вперше запропонована в 2015 році. Основна мета YOLO — забезпечити високу швидкість розпізнавання без втрати точності.

YOLO розглядає зображення як єдине ціле та розділяє його на сітку, наприклад 7x7. Кожна комірка сітки відповідає за виявлення об'єктів, які потрапляють у її межі. Це дозволяє моделі виявляти об'єкти за один крок, на відміну від традиційних методів, які працюють у кілька етапів.

Кожна комірка генерує прогнози для кількох об'єктів, включаючи координати прямокутника, що оточує ці об'єкти, і ймовірність того, що об'єкт належить до певного класу. За допомогою алгоритму немаксимального придушення модель може фільтрувати результати, залишаючи лише найкращі прогнози.

Першою версією YOLO була YOLOv1, але з часом модель зазнала кількох удосконалень. Поява YOLOv2 і YOLOv3 підвищила точність і швидкість. На сьогоднішній день останньою версією є YOLOv8, яка є загальнодоступною та містить багато вдосконалень, які дозволять вам досягти кращих результатів.

Серед подібних моделей YOLO можна відзначити інші популярні моделі розпізнавання об'єктів, такі як SSD (Single Shot Multibox Detector) і Faster R—CNN. Хоча ці моделі також потужні, вони, як правило, повільніші порівняно з YOLO, що робить їх менш придатними для додатків у реальному часі.

Підсумовуючи, можна сказати, що модель YOLO є однією з найкращих моделей для завдань розпізнавання об'єктів у реальному часі. Її швидкість

обробки та точність роблять його ідеальним для сучасних програм комп'ютерного зору, від систем безпеки до безпілотних автомобілів. Завдяки активним розробкам і вдосконаленням YOLO залишається в авангарді технологій розпізнавання об'єктів, впевнено витримуючи конкуренцію з іншими моделями.

2.3 Аналіз програмних продуктів для створення дрона з автономним керуванням

Створення автономних дронів — складне завдання, яке вимагає використання різноманітних програмних продуктів. Одним із ключових аспектів такого проекту є вибір середовища розробки, яке має забезпечувати зручність, функціональність і підтримку необхідних бібліотек[11]. PyCharm є одним із найкращих варіантів для програмування автономних дронів, особливо при використанні моделі YOLOv8.

PyCharm — це потужне інтегроване середовище розробки Python (IDE), яке надає багато інструментів для полегшення програмування. Однією з головних переваг PyCharm є те, що він підтримує різні бібліотеки, особливо YOLOv8, що дозволяє легко інтегрувати алгоритми комп'ютерного зору для розпізнавання об'єктів. PyCharm забезпечує автоматичне завершення коду, інтелектуальний аналіз, рефакторинг і потужну систему налагодження, що значно спрощує розробку складних програм.

PyCharm забезпечує більш зручний спосіб роботи над великими проектами порівняно з іншими середовищами, такими як Jupyter Notebook. Jupyter чудово підходить для експериментів і аналізу даних, але його можливості обмежені, коли мова йде про складні системи, такі як автономні дрони. У PyCharm ви можете організувати свій код у модулі, що зробить ваш проект більш структурованим і його буде легше підтримувати.

Також варто відзначити інтеграцію, запропоновану в PyCharm із системами контролю версій, такими як Git. Це дозволяє командам розробників легко співпрацювати над проектами, відстежувати зміни коду та керувати версіями, що особливо важливо під час роботи в команді над великими проектами.

Крім того, PyCharm підтримує Docker, що дозволяє легко створювати контейнери для тестування та розгортання коду в різних середовищах. Це важливо для безпілотників, тому що ви можете тестувати алгоритми в змодельованих умовах, а потім легко переносити їх на реальне обладнання.

Інші IDE, такі як Visual Studio Code, мають свої переваги, але можуть вимагати додаткового налаштування для досягнення подібних функцій. Наприклад, Visual Studio Code не має інтеграції з фреймворками машинного навчання на ранніх стадіях, що може стати перешкодою для новачків.

Отже, беручи до уваги всі ці фактори, PyCharm є найкращим вибором для автономної розробки дронів за допомогою YOLOv8. Його потужна функціональність, зручний інтерфейс і підтримка важливих бібліотек роблять його незамінним інструментом для розробників, які хочуть створювати ефективні та надійні автономні системи.

Симуляція польоту безпілотника є важливим кроком у розробці автономних систем, оскільки дозволяє тестувати алгоритми в безпечному середовищі без ризику пошкодження обладнання. Існує кілька платформ, які пропонують можливості моделювання польоту безпілотника, кожна зі своїми унікальними функціями та перевагами.

Gazebo — одна з найпопулярніших платформ. Ця система моделювання широко використовується в області робототехніки та інтегрована з ROS (операційна система роботів). Gazebo дозволяє створювати реалістичне середовище і надає можливість імітувати різні параметри Безпілотники, такі як вага, потужність двигуна та поведінка в різних умовах. Gazebo підтримує фізичні моделі, що робить симуляції більш реалістичними та дозволяє інтегрувати датчики, що важливо для тестування автономних алгоритмів.

У порівнянні з Gazebo, AirSim від Microsoft забезпечує чудовий графічний інтерфейс і можливості моделювання в реальному часі. AirSim також підтримує використання з Unreal Engine, що дозволяє досягти високоякісної візуалізації. Симулятор особливо корисний для розробників, які хочуть перевірити алгоритми комп'ютерного зору, оскільки він може генерувати реалістичні дані з камер і

датчиків дронів. AirSim також підтримує нейронні мережі, що полегшує інтеграцію та тестування таких моделей, як YOLOv8.

Іншим варіантом є FlightGear, симулятор польоту з відкритим вихідним кодом, який дозволяє імітувати різні типи літальних апаратів, у тому числі дрони. FlightGear має широкий функціонал для налаштування параметрів польоту, але його графіка може бути менш привабливою, ніж Gazebo або AirSim. Проте FlightGear має активну спільноту та підтримує різні платформи, що чудово підходить для користувачів, які шукають безкоштовне рішення.

Слід також зазначити, що DJI Simulator є потужним інструментом для симуляції дронів за допомогою продуктів DJI. Це дозволяє тестувати поведінку дронів у реалістичних сценаріях польоту та ідеально підходить для розробки комерційних додатків дронів. Однак його функціональність може бути обмежена для більш загальних завдань розробки, оскільки він спеціалізований для продуктів конкретного виробника.

Тому вибір платформи для моделювання польоту дрона залежить від наших потреб. Gazebo чудово підходить для глибокої інтеграції з ROS і досліджень.

2.4 Протидія системам РЕБ в автономному режимі керування

Протидія системам радіоелектронної боротьби (СРБ) в автономному управлінні БПЛА є ключовим питанням сучасної авіаційної та військової техніки. Системи радіоелектронної боротьби можуть бути використані для глушіння сигналів, що керують дронами, або перехоплення їх зв'язку, що призводить до втрати керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА). Було розроблено різні методи боротьби з цими загрозами, включаючи нейронну мережу самонаведення дронів, волоконно—оптичний контроль і динамічно керовану заміну частоти.

Використання нейронних мереж для самонаведення дронів є одним із найперспективніших напрямків. Такий підхід дозволяє дронам використовувати алгоритми машинного навчання для аналізу та адаптації до змін навколишнього середовища. Нейронні мережі можна навчати на великих обсягах даних, дозволяючи дронам самостійно приймати рішення про те, як маневрувати або

уникати перешкод, включаючи сигнали радіоелектронної боротьби. В результаті дрон зберігає контроль над місією навіть у складних умовах, що робить його більш надійним.

Оптоволоконний контроль є ще одним методом, який можна використовувати для протидії системам радіоелектронної боротьби. Він передає інформацію по оптоволоконним кабелям, що робить технологію менш сприйнятливою до перешкод. Волоконно—оптичні системи забезпечують високу швидкість передачі даних і значно знижують можливість перехоплення сигналу. Однак цей підхід має свої обмеження, оскільки вимагає фізичного з'єднання між пультом керування та дроном, що може бути неприйнятним у деяких ситуаціях, особливо в бойових умовах[12].

Динамічне змінення частот керування — ще одна стратегія, яка може допомогти дрону залишатися керованим в умовах радіоелектронної боротьби. Технологія постійно змінює частоту сигналу, що ускладнює завдання систем радіоелектронної боротьби, які намагаються перехопити або заглушити сигнал. Незважаючи на ефективність цього методу, він має свої недоліки, оскільки вимагає високої швидкості відгуку та може створити труднощі в синхронізації між дроном і оператором.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) або дрони використовують різні діапазони частот для передачі даних і керування.

Основні діапазони включають:

2.4 ГГц — цей діапазон часто використовується для бездротового управління дронами і передачі відео; він забезпечує хороший баланс між дальністю та швидкістю передачі, проте підлягає впливу перешкод від інших пристроїв, таких як Wi-Fi та Bluetooth;

5.8 ГГц — цей діапазон зазвичай застосовується для передачі відео в реальному часі; він пропонує вищу швидкість і менше перешкод, однак його дальність передачі може бути меншою в порівнянні з 2.4 ГГц;

433 МГц та 868 МГц — ці частоти часто використовуються для дальнього радіоуправління; особливо в ситуаціях, коли важлива велика дальність і менша

ймовірність перешкод, вони зазвичай забезпечують стабільніше з'єднання на великих відстанях;

900 МГц — цей діапазон також використовується для радіоуправління; він забезпечує добру дальність і проникність через перешкоди, хоча швидкість передачі даних може бути нижчою.

У порівнянні з цими методами, донаведення нейронною мережею виявляється найбільш універсальним і адаптивним рішенням. Воно дозволяє дронам самостійно навчатися на основі отриманих даних і змінювати стратегію в реальному часі[13]. Це підвищує їхню автономність і ефективність, особливо в ситуаціях, де традиційні методи можуть виявитися недостатніми. Нейронні мережі можуть не лише адаптуватися до умов РЕБ, але й навчатися на базі досвіду, що забезпечує постійне покращення їхніх характеристик.

Таким чином, донаведення дронів нейронними мережами можна вважати найкращим варіантом для протидії системам РЕБ в автономному режимі керування. Цей підхід забезпечує високий рівень адаптивності, автономності та ефективності, що робить його особливо привабливим у сучасному контексті зростаючих загроз.

2.5 Сенсорні системи та їх роль у забезпеченні автономного польоту

Сенсорні системи відіграють ключову роль у забезпеченні автономного польоту дрона, забезпечуючи основу для точного орієнтування, прийняття рішень і взаємодії з навколишнім середовищем. Завдяки розвитку сучасних технологій сенсори стали не тільки компактнішими, але й більш точними, що дозволяє дронам виконувати складні завдання без втручання людини. Основною функцією сенсорної системи є збір, обробка та передача даних, які дрон використовує для визначення свого положення, оцінки навколишніх умов і планування маршруту.

Одним із найпоширеніших типів датчиків є GPS—модуль, який дозволяє дрону точно визначати свої координати на землі. Однак у міських умовах або під час польотів у приміщенні сигнал GPS може бути нестабільним. У цьому випадку необхідний інерційний вимірювальний блок (ІВУ), до складу якого входять

акселерометр і гіроскоп. Вони дозволяють оцінити швидкість, кутове прискорення і напрямок дрона в просторі, що дуже важливо для стабільності польоту. Крім цього, барометр також забезпечує можливість визначення висоти, що необхідно для правильного виконання завдань на заданому рівні.

Система візуального позиціонування на основі камер і алгоритмів комп'ютерного зору дозволяє дронам розпізнавати об'єкти, уникати перешкод і орієнтуватися навіть у складних умовах. Наприклад, технологія SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) дозволяє дрону створювати карту свого оточення в реальному часі й одночасно визначати своє положення на карті. Камери високої роздільної здатності в поєднанні з алгоритмами штучного інтелекту дозволяють дронам ідентифікувати людей, транспортні засоби, будівлі та навіть невеликі об'єкти. Це дає змогу виконувати такі завдання, як пошуково—рятувальні операції, доставка вантажів або перевірка інфраструктури.

Лідар (лазерний далекомір) також є важливою частиною автономних сенсорних систем дронів. Вони дозволяють створити тривимірну модель вашого середовища, забезпечуючи високоточне уникнення перешкод. LiDAR особливо ефективний в умовах слабкого освітлення або під час нічних польотів, коли оптичні датчики можуть бути менш ефективними. Інфрачервоні датчики, у свою чергу, використовуються для теплового моніторингу, наприклад, під час виявлення людей або джерел тепла під час пошукових місій.

Ультразвукові датчики часто використовуються для вимірювання відстані до об'єктів, особливо коротких. Вони доповнюють інші датчики для забезпечення безпечних посадок або навколоремних місій. Крім того, сучасні дрони оснащені датчиками освітлення, вологості, температури і аналізу газу, що дозволяє використовувати їх для моніторингу навколишнього середовища або аналізу повітря[14].

Сенсорні системи також інтегровані з процесорами та алгоритмами машинного навчання для обробки великих обсягів даних у реальному часі. Тому дрон здатний адаптуватися до змін навколишнього середовища, таких як раптові перешкоди або зміни погодних умов. Інтеграція різних типів датчиків в єдину

систему забезпечує не тільки автономність, але й підвищує ефективність і надійність виконання завдань. Таким чином, сенсорні системи стають ключовим елементом у створенні безпілотників, які можуть виконувати завдання автономно в різних умовах, тим самим зводячи до мінімуму необхідність втручання оператора.

Ще однією важливою особливістю сенсорних систем дронів є їх здатність взаємодіяти в режимі реального часу. Ця функція називається «злиття датчиків», і вона поєднує дані з різних датчиків, щоб отримати найточнішу картину вашого середовища. Наприклад, поєднання інформації з камер і лідара може значно підвищити точність побудови 3D—моделей, особливо в ситуаціях, коли видимість обмежена. Злиття датчиків також може допомогти підвищити безпеку польотів, швидко реагуючи на зміни, такі як поява нових перешкод або несподівані погодні явища.

Сучасні сенсорні системи дронів настільки вдосконалені, що їх можна використовувати не лише для польотів, але й для складного аналізу даних. Гіперспектральні камери, наприклад, здатні знімати зображення в багатьох спектральних діапазонах, що дозволяє виявляти різні матеріали або визначати стан рослинності[15]. Це відкриває нові перспективи використання безпілотників у сільському господарстві, моніторингу екосистем чи видобутку корисних копалин. У поєднанні з технологією штучного інтелекту такі сенсорні системи можуть не тільки аналізувати дані, але й надавати рекомендації або приймати рішення на основі отриманих результатів.

Ще одна перспективна технологія, яка знаходить застосування в автономному польоті, — це використання датчиків з можливостями доплерівського аналізу. Цей датчик дозволяє дрону оцінювати відносну швидкість руху об'єкта, що особливо корисно для завдань, пов'язаних із відстеженням рухомих цілей. Наприклад, такі системи можна використовувати для моніторингу дорожнього руху, моніторингу міграції тварин або навіть виявлення підозрілої активності в контрольованих зонах.

Важливо відзначити важливість роботи датчиків у складних або небезпечних умовах. Наприклад, традиційні модулі GPS можуть стати ненадійними під час

польотів у місцях із сильними електромагнітними перешкодами. У цьому випадку основними джерелами інформації для забезпечення стійкості польоту стають інерціальні системи та камери. Коли безпілотники працюють у середовищі з високою температурою, вологістю або навіть токсичними газами, спеціалізовані датчики можуть не тільки забезпечити безпечний політ, але й виконувати завдання, неможливі для людини.

Сучасні сенсорні системи також унікальні своєю здатністю до навчання. За допомогою алгоритмів глибокого навчання датчик може покращувати свою функціональність кожного разу, коли виконує завдання. Наприклад, якщо дрон проводить обстеження інфраструктури, він може краще визначити пошкодження на основі попереднього досвіду. Ця адаптивність дозволяє дронам ефективно виконувати завдання, які можуть змінюватися залежно від зовнішніх факторів або особливостей місії.

Не можна не відзначити енергозбереження, яке є одним з важливих аспектів роботи сенсорної системи. Деякі датчики споживають велику кількість енергії, що може вплинути на час польоту дрона. Тому метою сучасних розробок є створення датчиків, які споживають мінімальну енергію без втрати точності та надійності. Інші технології, такі як фотоелектричні датчики або датчики з автономним живленням, також можна інтегрувати в конструкцію дрона, щоб продовжувати працювати у віддалених або важкодоступних місцях[16].

Тому не можна недооцінювати роль сенсорних систем у забезпеченні автономного польоту дронів. Вони не тільки дозволяють безпілотникам орієнтуватися в просторі, але й забезпечують виконання різних завдань з високою точністю. Завдяки своєму розвитку безпілотники стають все більш універсальними інструментами для виконання складних і багатогранних завдань у комерційних і наукових дослідженнях.

3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПОВІТРЯНОГО ДРОНА З АВТОНОМНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ

3.1 Вибір елементної бази для розробки прототипа повітряного FPV дрона

Мікроконтролер виконує основні завдання в пристрої. Вибрані мікроконтролери, а саме nRF52832 у блоці живлення та радіоуправління та STM32F4 у блоці керування польотом та датчиками, є універсальними та добре перевіреними.

Мікроконтролер nRF52832 показаний на малюнку 3.1, а STM32F4 — на малюнку 3.2.

Для nRF52832 є два основних завдання: забезпечення радіозв'язку та керування живленням. Основним використанням радіостанції є CRTP (транспортний протокол реального часу) і Bluetooth, але пристрій також підтримує інші протоколи, такі як протокол ANT для бездротових сенсорних мереж із низьким енергоспоживанням, що працюють у діапазоні частот 2,4 ГГц. Режим CRTP забезпечує канал передачі даних із низькою затримкою 2 Мбіт/с. Bluetooth в основному використовується для керування мобільними телефонами та іншими пристроями. Основна ідея полягає в зручному та легкому керуванні дроном через Bluetooth. Основні характеристики nRF52832 наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Основні характеристики nRF52832

Номер	Характеристика
1	64 МГц Cortex—M4 з FPU
2	512/256 КБ флеш—пам'яті, 64/32 КБ ОЗУ
3	Приймач 2,4 ГГц
4	Bluetooth 5.2 з низьким енергоспоживанням
5	+4 дБм потужність передавача
6	128—бітовий AES
7	UART, SPI, TWI, PDM, I2S

Інша особливість nRF52832, полягає в тому, що він був розроблений для роботи від монетної батареї, це означає, що він дуже добре підходить для роботи з низькими енергозатратами. Виходячи з цього, в нашому випадку, керувати живленням буде nRF52832.

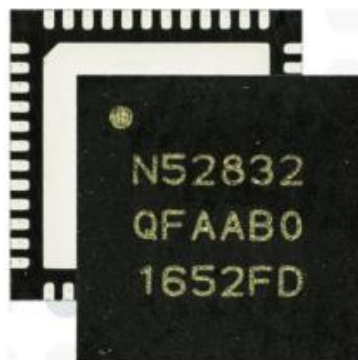


Рисунок 3.1 — Мікроконтролер nRF52832

Це дозволяє відтворити функцію ON / OFF, а кнопка може бути використана для інших функцій.



Рисунок 3.2 — Мікроконтролер STM32F4

Він також використовує швидкий Cortex—M4 із великою кількістю пам'яті. Потужність процесора не є надто великим обмеженням, але пам'ять може стати обмеженням, якщо користувач хоче реалізувати нові функції, які вимагають більше пам'яті[17].

При цьому цього MCU має вистачити будь—якому користувачеві. Потужність мікроконтролерів також дозволяє реалізувати більш ресурсомісткі алгоритми.

Такий великий об'єм пам'яті та потужність обробки також відкриває нові можливості для багатьох речей: STM32F4 має модуль захисту пам'яті, який дозволяє запускати завдання в захищеному середовищі та виявляти помилки, перш ніж вони пошкодять керуючу мікропрограму.

Кожен МК має чітку місію, що дозволяє розробляти і тестувати речі самостійно.

NRF52 відповідає за:

- логіка ON / OFF;
- ввімкнення живлення решти системи (STM32, датчики) ;
- керування зарядом акумулятора і вимірюванням напруги ;
- радіо завантаження прошивки ;
- радіозв'язок Bluetooth ;
- виявлення і перевірка встановлених модифікацій.

За все інше відповідає STM32:

- зчитування датчиків і керування двигунами ;
- керування польотом ;
- телеметрія (включаючи напругу акумулятора) ;
- додаткові користувацькі задачі.

NRF52 діятиме як відомий контролер, а STM32 — як контролер. Використовуючи завантаження по повітрю, прошивку обох МК можна оновити через бездротову мережу.

Ми будемо використовувати міні—комп'ютер Raspberry Pi 4 Model B 8 ГБ для запуску нейронної мережі. Це потужна версія міні—комп'ютера Raspberry Pi, яка постачається з великою кількістю оперативної пам'яті, що дозволяє вам виконувати складніші завдання, запускати багатозадачні операції та навіть служити невеликим сервером або настільним комп'ютером.

Для сенсорного блоку ми вибрали рішення від виробника Bosch, який пропонує рішення з двома датчиками BMI088 (рис. 3.3) і BMP390.

Високоєфективний 6—осьовий інерційний датчик BMI088 IMU поєднує в собі акселерометр і гіроскоп, що дозволяє вимірювати орієнтацію з високою

точністю та виявляти рух уздовж трьох ортогональних осей. ВМІ088 містить 16—бітний 3—осьовий акселерометр і 16—бітний 3—осьовий гіроскоп.

Таблиця 3.2 — Основні характеристики Raspberry PI 4 Model B

Номер	Характеристика
1	RAM: 8 GB
2	Частота процесора: 1.5 ГГц
3	Процесор: BROADCOM BCM2711
4	Кількість ядер процесора: 4
5	Живлення: 5V 3A
6	Бездротові можливості: Bluetooth
7	GPIO контактів: 40 pins
8	Інтерфейси: RJ45, USB, microHDMI
9	Мережеві можливості: Ethernet 10/100/1000, WiFi 2.4G 150 mb/s
10	USB порти: 4

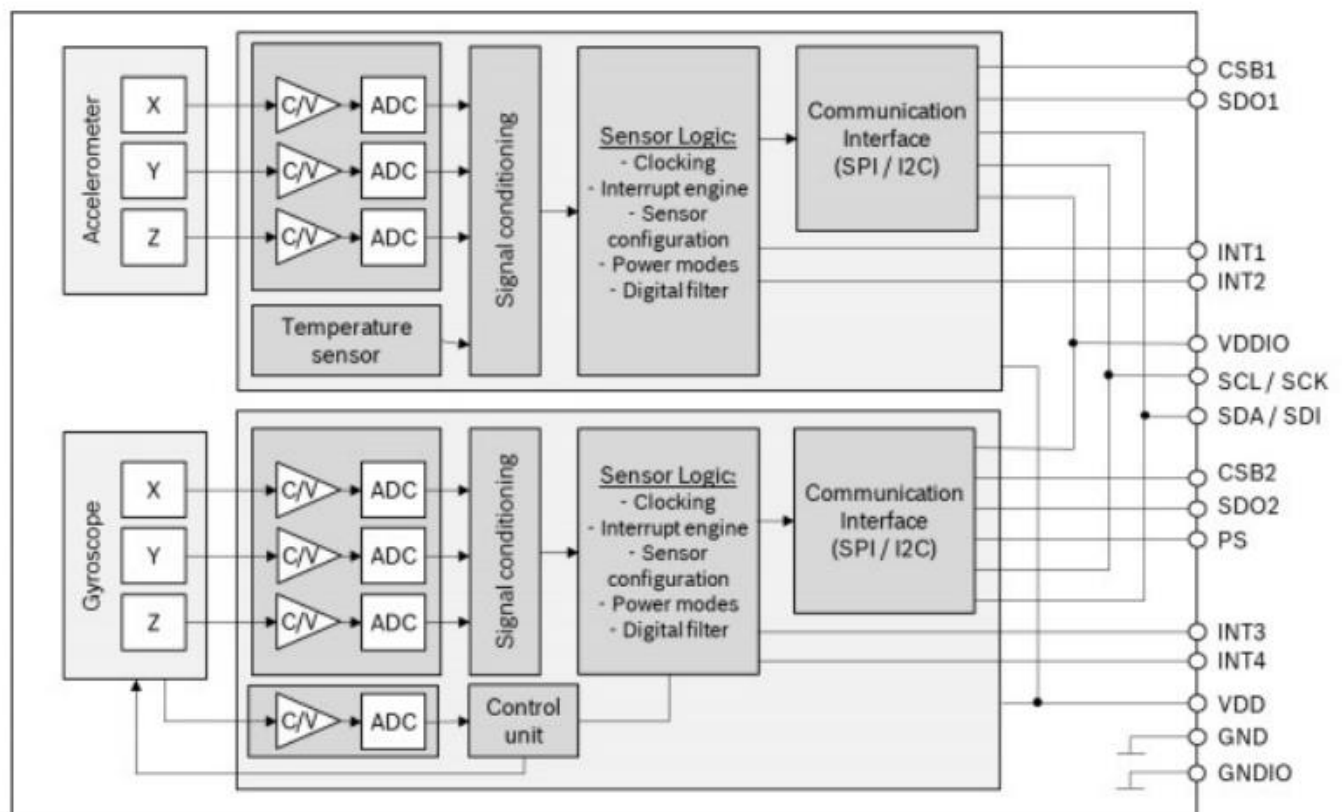


Рисунок 3.3 — Діаграма ВМІ088

Висока вібростійкість, відміна температурна стабільність допомагає зменшити затрати на системному та проектувальному рівнях.

Таблиця 3.3 — Основні характеристики BMI088

Параметр	Технічні характеристики
Цифрове розширення	Акселерометр (A): 16—бітовий Гіроскоп (G): 16—бітовий
Розширення	(A): 0,09 мг (G): 0,004 ° / с
Діапазон виміру та чутливість	(A): ± 3 г: 10920 LSB / г ± 6 г: 5460 LSB / г ± 12 г: 2730 LSB / г ± 24 г: 1365 LSB / г (G): ± 125 ° / с: 262,144 LSB / ° / с ± 250 ° / с: 131,072 LSB / ° / с ± 500 ° / с: 65,536 LSB / ° / с ± 1000 ° / с: 32,768 LSB / ° / с ± 2000 ° / с: 16,384 LSB / ° / с
Нульове зміщення	(A): ± 20 мг (G): ± 1 ° / с
Щільність шуму	(A): 175 мкг / √Гц (G): 0,014 ° / с / √Гц
Пропускна спроможність	Від 5 Гц до 523 Гц
Вибіркова вихідна передача даних	Від 12,5 Гц до 2 кГц
Цифрові входи/виходи	SPI, I ² C, 4x digital interrupts
Напруга	Від 2,4 В до 3,6 В
Діапазон температур	Від мінус 40 °С до +85 °С
Використання струму	5,15 мА

Датчик тиску BMP390 (рис. 3.4). Досить малий, точний, малошумний датчик абсолютного барометричного тиску з низькими енергозатратами. Він ідеально

підходить для використання в дронах, так як він забезпечує точне відстеження висоти і значно полегшує керування. Він сумісний з іншими датчиками, даного виробника[18].

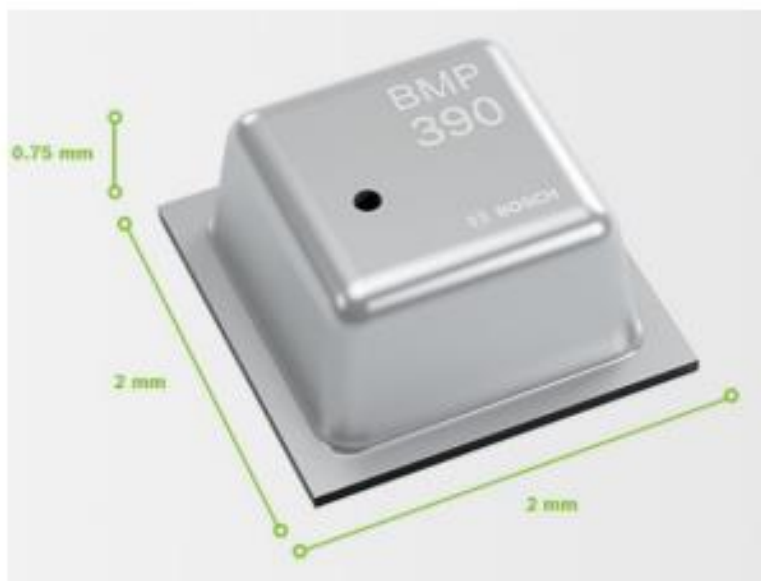


Рисунок 3.4 — Датчик BMP390

На рисунку 3.5 показана діаграма BMP390.

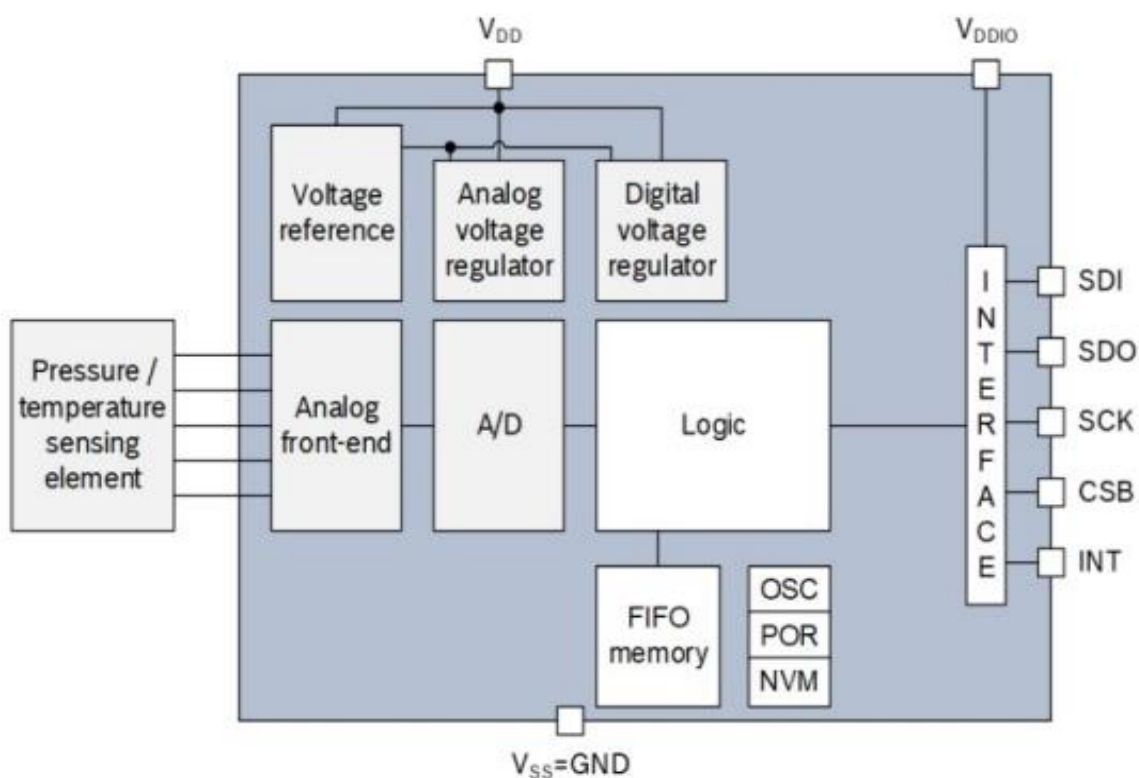


Рисунок 3.5 — Діаграма BMP390

Таблиця 3.4 — Технічні параметри BMP390

Параметри	Технічні характеристики
Робочий діапазон	Тиск: від 300 гПа до 1250 гПа
Напруга	Від 1,65 В до 3,6 В
Інтерфейс	I ² C і SPI
Використання струму	3,4 мкА при 1 Гц
Абсолютна точність тиску P = від 900 гПа до 1100 гПа (T = від 25 ° C до 40 ° C)	± 0,5 гПа
Відносна точність тиску P = від 900 гПа до 1100 гПа (T = від 25 ° C до 40 ° C)	± 0,08 гПа
Мінімальна полоса пропускання	0,03 Па
Зміщення температурного коефіцієнту (від мінус 20 ° до 65 ° C при P = 700 гПа до 1100 гПа)	± 0,75 Па / К

Для FPV (First Person View) дронів важливо вибрати надійний, потужний та ефективний двигун. Один із популярних варіантів — T—Motor F60 Pro IV (рисунок 3.6).

Завдяки високій потужності, легкій вазі та хорошій стабільності цей мотор часто використовується в професійних FPV дронах і підходить для швидкісних гонок і стабільного польоту.

Основними перевагами T—Motor F60 Pro IV є висока стабільність під навантаженням, точне керування зі швидким реагуванням на команди, тривалий термін служби завдяки високоякісним матеріалам, а також висока потужність і тяга, що дозволяє швидко набирати висоту і виконувати завдання. —складні маневри.



Рисунок 3.6 — Двигун T—Motor F60 Pro IV

Таблиця 3.5 — Технічні параметри двигуна T—Motor F60 Pro IV

Параметри	Технічні характеристики
Вага	33.8 г
Розмір	26.8 * 32.7 мм
Діаметр валу	5 мм
Максимальна сила току	42 А
Максимальна потужність	949 Вт
Напруга	Від 14.8 В до 22.8 В

Micro USB в потрібен для підзарядки. Обираємо ZX62—B5PA. Корпус виконаний з нержавіючої сталі, покритий олов'яним сплавом, при цьому має робочі температури від мінус 30°C до 85°C, а габаритні розміри зазначені на рисунку 3.7.

При виборі чіп—антени, окрім її технічних характеристик, нам також важливий її розмір та ціна. Будемо обирати серед: 2450AD18A7250, 2450AT18B100 виробника Johanson Technology та W3340 виробника PulseLarsen Antennas[19].

Вони мають схожі параметри але W3340 занадто дорога, коли антени від Johanson Technology коштують 1 долар, W3340 обійдеться в 7 доларів.

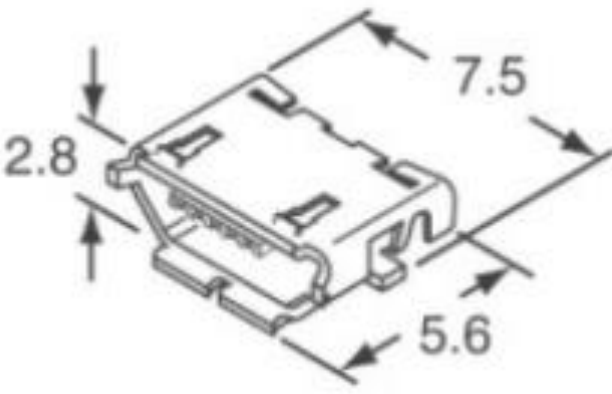


Рисунок 3.7 — Габаритні розміри USB ZX62—B—5PA

На рисунку 3.8 показані S11 характеристики для Johanson Tech. 2450AD18A7250 при температурі 25°C.

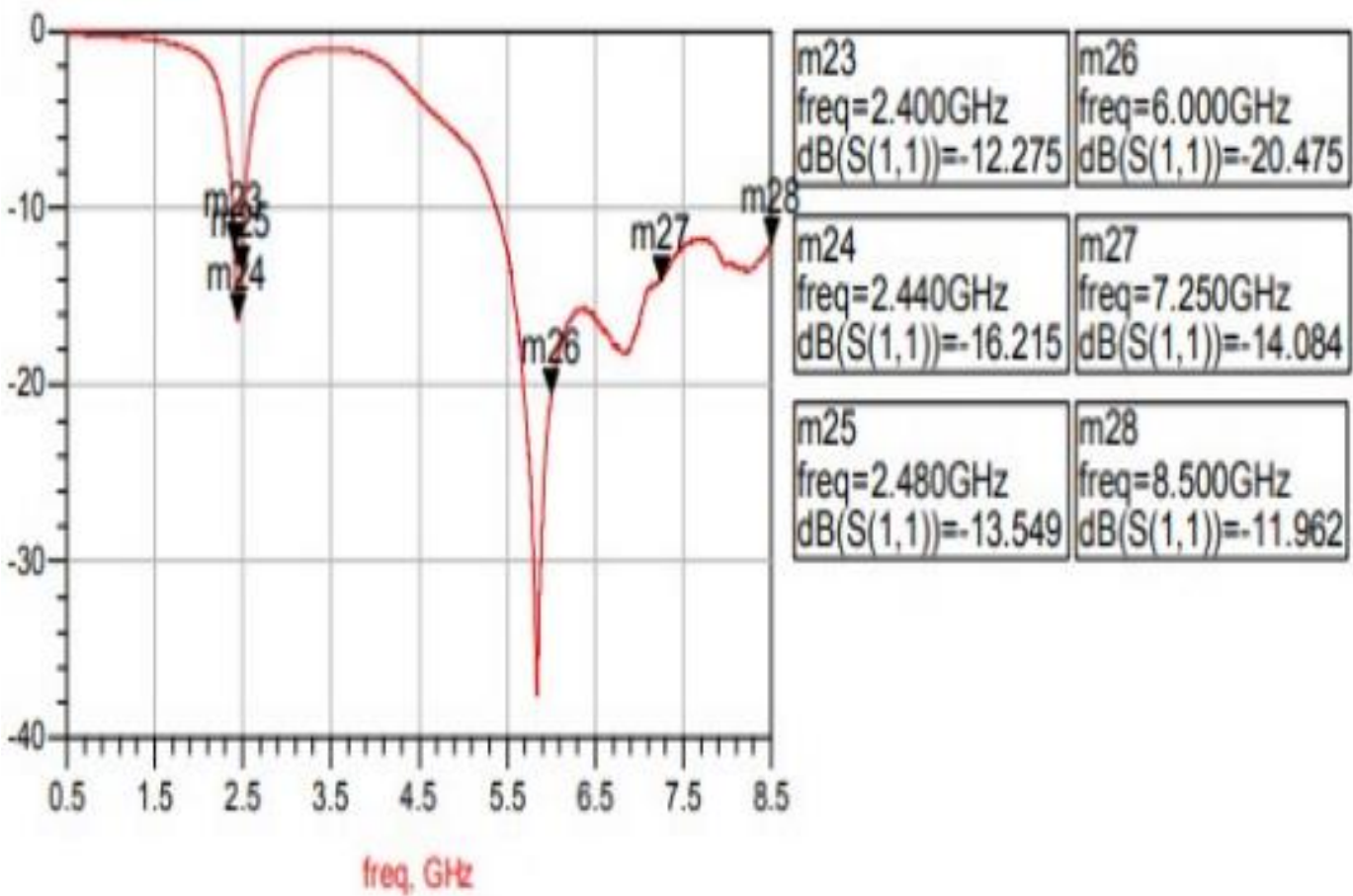


Рисунок 3.8 — Електрична характеристика 2450AD18A7250

На рисунку 3.9 показані S_{11} характеристики для Johanson Tech. 2450AT18B100 при температурі 25°C.

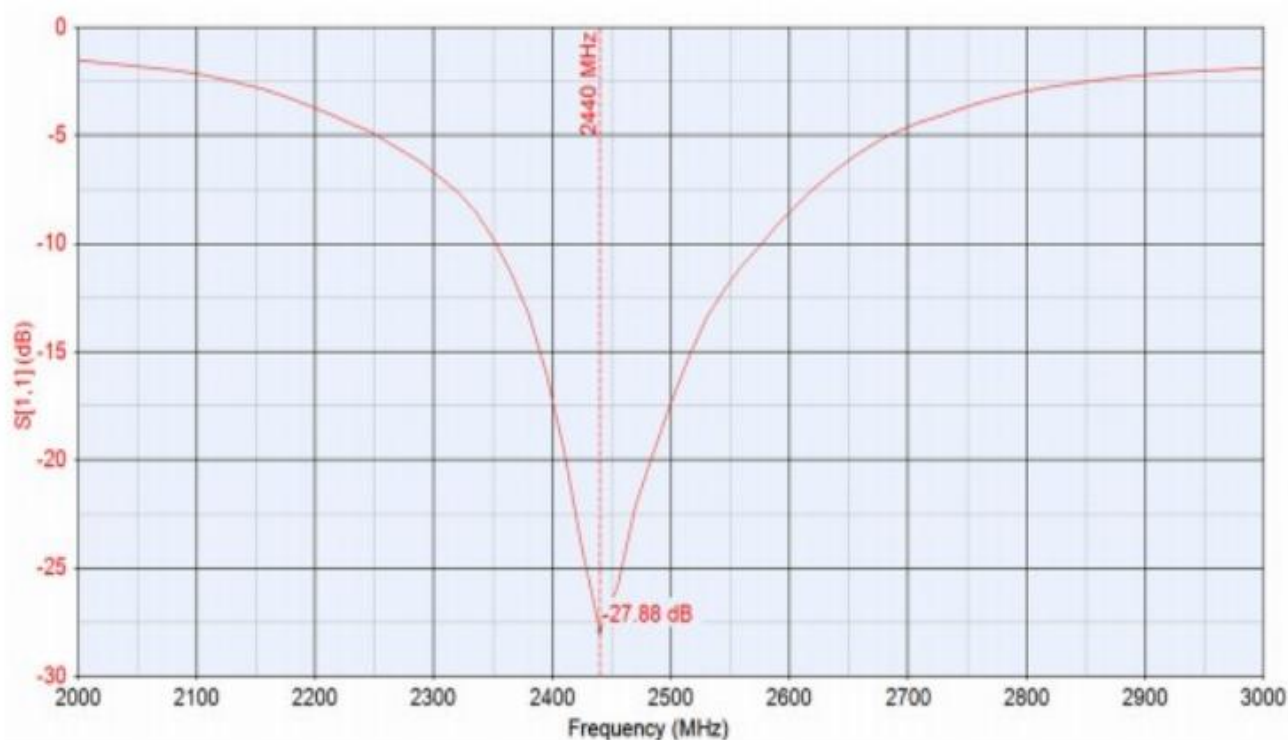


Рисунок 3.9 — Електрична характеристика 2450AT18B100

Якщо значення S_{11} є низьким (наприклад, мінус 20 дБ або менше), це означає, що майже вся потужність передається вперед і лише невелика кількість потужності повертається. Ця ситуація вказує на гарне узгодження імпедансу, що є бажаним результатом для забезпечення максимальної ефективності системи. Більш низькі значення S_{11} означають мінімальне відображення енергії, таким чином зменшуючи втрати і сприяючи стабільній роботі антени в заданому діапазоні частот.

З іншого боку, якщо значення S_{11} велике, це вказує на наявність значних відображень, що викликає втрати енергії та значно знижує ефективність системи. Високе значення S_{11} може вказувати на невідповідність імпедансу, що призводить до поганих умов передачі сигналу. Це відображення може мати негативний вплив на стабільність системи, особливо якщо важлива точність передачі даних.

Під час порівняння антен ми виявили, що значення вхідного коефіцієнта відбиття S_{11} антени 2450AT18B100 на 2,4 ГГц нижче, ніж у антени 2450AD18A7250. Це свідчить про кращу ефективність передачі електроенергії в першому випадку. З урахуванням цих параметрів ми вибрали антену 2450AD18A7100, яка має найкращі робочі характеристики в заданому частотному діапазоні.

На малюнку 3.10 показано 2D діаграму спрямованості на 2,44 ГГц для вибраної антени. Ця діаграма ілюструє його емісійні характеристики та підтверджує правильний вибір для забезпечення якісної роботи системи.

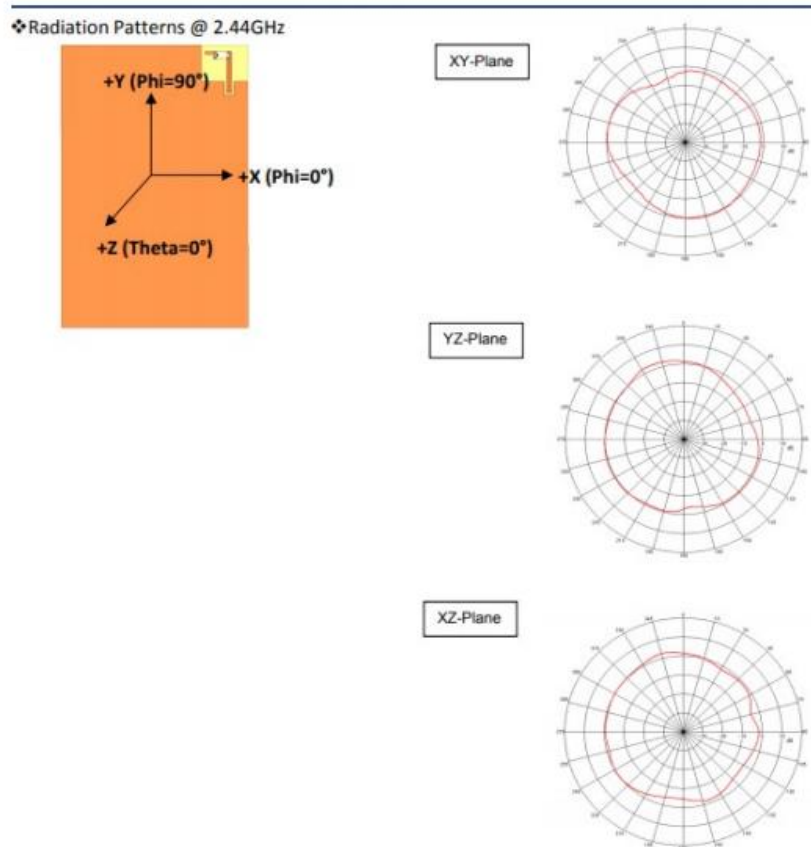


Рисунок 3.10 — Діаграми направленості

Лінійний регулятор напруги NCP702SN30T1G (рисунок 3.11) забезпечує стабільність та точну напругу з низьким рівнем шуму та дуже високим коефіцієнтом відхилення джерела живлення, що робить його придатним для радіочастотних модулів.

Для досягнення низького рівня шуму не потрібен додатковий конденсатор. Також використовує функцію адаптивного струму для наднизького споживання, в умовах невеликого навантаження[21].

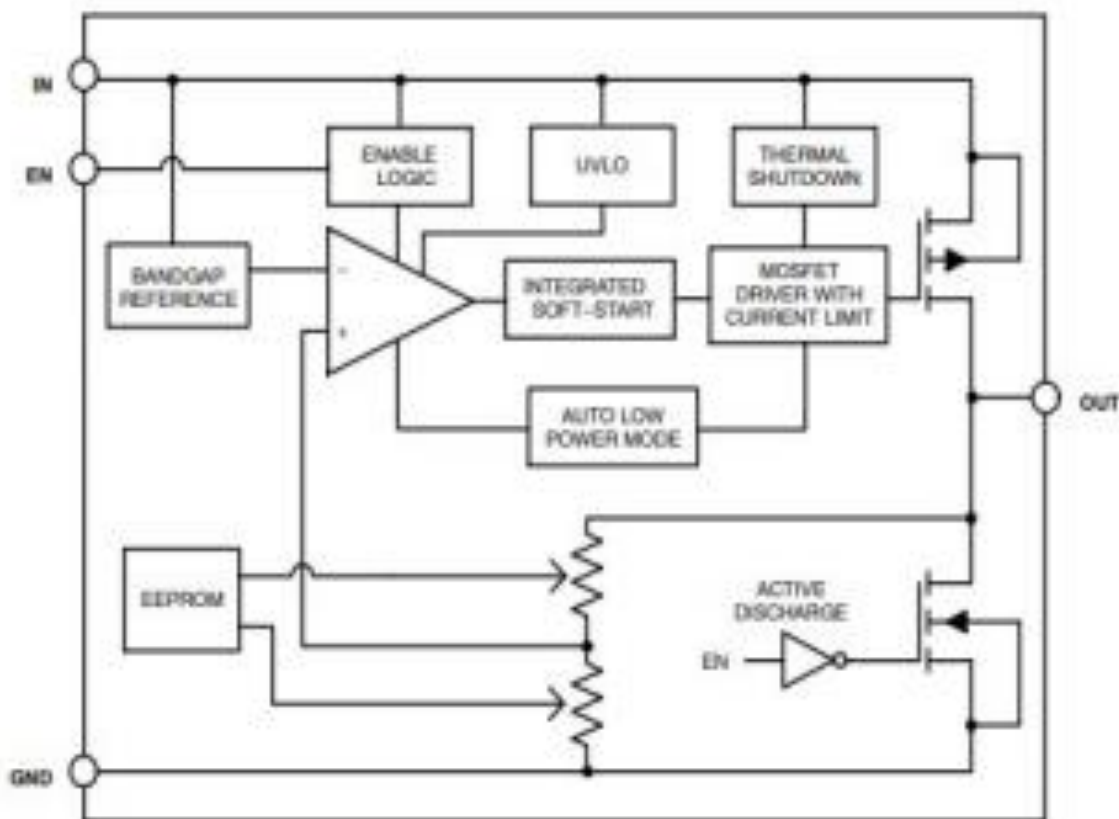


Рисунок 3.11 — Спрощена блок—схема регулятора напруги

Контролер навантаження SiP32401ADNP—T1GE4 (рисунок 3.12) розрахований на роботу в діапазоні від 1.1 В до 5.5 В. Пристрій гарантує низький опір при 1.2 В на вході. Використовується щоб уникнути надмірний пусковий струм.

Пристрій дає стабільний опір під час експлуатації напруги. Також має систему зворотного блокування, коли пристрій вимкнено не дозволяє струму текти назад на вхід.

Має контролер управління низькою напругою та інтерфейс для цієї взаємодії. Одним з плюсів є функція блокування, що дозволяє запобігати надходженню великих струмів, що надходять до джерела живлення.

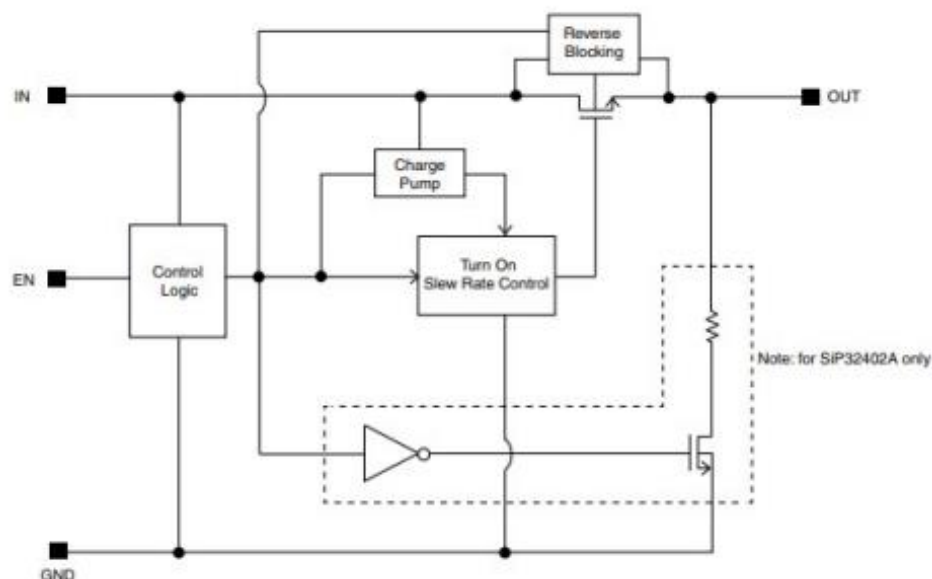


Рисунок 3.12 — Спрощена блок—схема контролера навантаження

Однокристалний Skyworks RFX2411 (рисунок 3.13) забезпечують RF функціональність, необхідну для бездротових додатків / розумної енергії. Конструкція RFX2411 (рисунок 3.14) включає в себе комутаційну схему LNA, PA, передачу і прийом, відповідну мережу узгодження, гармонічний фільтр і перемикач рознесення. Крім того, також включена схема виявлення потужності. Всі ці компоненти інтегровані на CMOS—пристрої. Режим обходу забезпечує максимальну гнучкість у реалізаціях системи.



Рисунок 3.13 — Вигляд RFX2411N

Інтерфейс RFX2411N розроблений для діапазону ISM 2,4 ГГц і підтримує такі стандарти, як Bluetooth / BT EDR / BLE, 802.15.4, ZigBee, ANT і Thread. RFX2411N. В схемі використовується для розширення діапазону і смуги

пропускання. Вимагає мінімальну кількість зовнішніх компонентів. Поєднання чудової продуктивності, високої чутливості, ефективності, низького шуму, малого форм—фактору, низького споживання енергії та низька вартість[22].

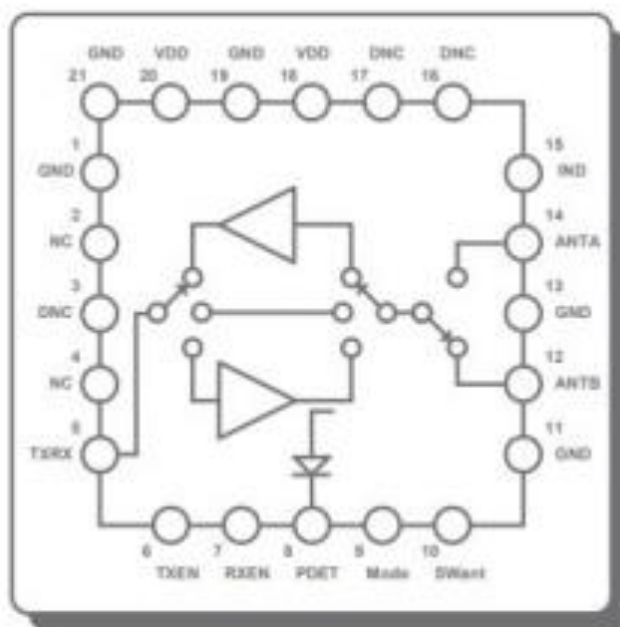


Рисунок 3.14 — Блок—схема RFX2411N

3.2 Розробка прототипа повітряного FPV дрона

Після того, як усі необхідні компоненти будуть встановлені, необхідно зібрати тестовий прототип дрона FPV.

Спочатку потрібно зібрати раму, з'єднавши центральну секцію з балками, де кріпиться двигун, а також верхню та нижню пластини.

Усі частини мають бути закріплені гвинтами, не затягуйте їх спочатку, щоб потім можна було відкоригувати положення частин, якщо це необхідно. Рама повинна бути щільною, щоб витримувати навантаження під час польоту і мінімізувати вібрацію.

Для додаткової вібростійкості можна встановити гумові амортизатори, що підвищує стійкість.

Двигуни встановлені на кінцях балок, і ретельно стежать за їх правильним положенням для заданого напрямку обертання — два за годинниковою стрілкою і

два проти годинникової стрілки. Це важливо для забезпечення контролю та стабільності під час польоту.

Кожен двигун закріплено за допомогою гвинтів із комплекту, переконайтеся, що вони надійно закріплені без люфту. Двигуни підключаються до ESC трьома проводами на двигун.

Якщо ви виявите, що двигун обертається в неправильному напрямку, щоб змінити напрямок обертання, просто поміняйте місцями два з трьох проводів. Контролери ESC кріпляться до рами за допомогою двосторонньої стрічки або застібок і розташовуються так, щоб вони мали доступ повітря для охолодження, оскільки вони можуть перегріватися під час тривалих польотів.

Органи управління польотом розташовані в центрі рами на спеціальних антивібраційних кріпленнях, щоб мінімізувати вплив вібрації двигуна на датчики та стабільність польоту. Проводи живлення та сигналу ESC підключаються до контролера.

Процес підключення дуже обережний, з прецизійною пайкою з використанням мінімальної кількості припою, щоб уникнути короткого замикання. Контролер польоту має спеціальну позначку для вказівки напрямку, зазвичай у вигляді стрілки; відрегулюйте напрямок відповідно до вказівок, щоб уникнути проблем з керуванням під час польоту.

FPV — камера встановлена на передній частині рами, щоб забезпечити чіткий огляд вперед під час польоту. Деякі рами мають спеціальні кріплення для камери, але якщо ні, ви можете закріпити камеру за допомогою стяжок або клейових кріплень.

Підключаємо камеру до відеотрансмітера (VTX), який передає зображення на FPV окуляри або монітор. Ми розмістили VTX на рамі на відстані від радіоприймача, що допомогло уникнути можливих електромагнітних перешкод. Антена підключена до VTX, оскільки робота без антени вимикає передавач.

Радіоприймач встановлюється на стійку і підключається до пульта управління через порт UART для забезпечення стабільного зв'язку з платою управління.

Розмістіть приймач і антену подалі від інших електронних компонентів, особливо VTX, щоб зменшити ризик перешкод. Після цього перевіряємо правильність підключення радіоприймача до пульта дистанційного керування, який важливий для керування під час польоту. Якщо сигнал слабкий або нестабільний, ви можете відрегулювати кут нахилу антени або встановити подовжувач.

Перед подачею живлення перевірте всі з'єднання за допомогою мультиметра, щоб уникнути можливого короткого замикання. Перевірте надійність кожного паяного з'єднання та, якщо необхідно, перепаяйте контакти, використовуючи невелику кількість припою, щоб забезпечити точність паяного з'єднання, і використовуйте додаткову термозбіжну трубку для захисту.

Недбале або неперевірене підключення може спричинити несправності під час польоту, тому будьте надзвичайно обережні, виконуючи цей крок.

Після цього підключіть польотний контролер до комп'ютера і налаштуйте його за допомогою програми Betaflight. Спочатку перевірте, чи всі двигуни обертаються в правильному напрямку та в призначених для них місцях на рамі. При необхідності напрямок обертання можна змінити шляхом програмування або перепідключення.

Betaflight також налаштовує канали управління та призначає необхідні режими польоту, такі як стабільний або ручний (acro) режим. Це дозволяє вибирати між рівномірним польотом для початківців і режимом вищого пілотажу для досвідчених пілотів.

PID також необхідно налаштувати, щоб забезпечити стабільний і керований політ без надмірної вібрації та коливань. З міркувань безпеки під час тестування пропелер необхідно зняти, щоб уникнути випадкових травм або пошкоджень під час регулювання двигуна.

Коли все налаштування завершено, встановіть пропелер у напрямку обертання, встановленому під час налаштування, і закріпіть батарею на рамі за допомогою липучок і блискавок, щоб запобігти її переміщенню під час польоту.

Вигляд зібраного дрону наведено на рисунках 3.15 та 3.16.



Рисунок 3.15 — Зібраний дрон, вигляд з боку

Після завершення складання дрона було проведено тестовий запуск на низькій потужності, щоб перевірити роботу всіх його компонентів. На цьому етапі особливу увагу приділили функціонуванню електроніки, стабільності зв'язку між пультом керування та приймачем, а також точності реагування на команди. Тест включав короткочасний запуск двигунів для перевірки їхньої синхронної роботи, а також аналіз роботи автопілота та стабілізаційної системи.

Результати пробного запуску підтвердили, що всі компоненти функціонують належним чином, а налаштування дрона виконані коректно. Під час випробувань дрон продемонстрував стабільність у керуванні та точність виконання команд з пульта, що свідчить про правильність інтеграції апаратного та програмного забезпечення. Також було перевірено, як система реагує на різкі зміни положення

та можливі зовнішні фактори, такі як пориви повітря, що ще раз підтвердило надійність конструкції.

Таким чином, пробний політ став важливим етапом у верифікації роботи дрона, забезпечивши впевненість у його готовності до подальших випробувань у реальних умовах експлуатації. Це дозволило переконатися, що всі системи працюють стабільно, а дрон відповідає вимогам, які були закладені в проекті.



Рисунок 3.16 — Зібраний дрон, вигляд зверху

3.3 Розробка автономного керування FPV дроном

3.3.1 Підготовка та налаштування середовища розробки

Для автономного керування дроном використаємо модель YOLOv8. YOLOv8 — це одна з версій сімейства моделей YOLO, оптимізована для швидкого та точного розпізнавання об'єктів на зображеннях і відео. Вона відома своєю

ефективністю і гнучкістю, що дозволяє досягати високої точності при невеликій затримці.

YOLOv8 підтримує різні масштаби моделей (від компактних до великих), що дозволяє використовувати її як на мобільних пристроях, так і на потужних серверах. Завдяки інтеграції з бібліотекою PyTorch, вона підтримує прискорення на GPU та доступна для швидкого налаштування і навчання на власних даних. YOLOv8 добре підходить для додатків реального часу, таких як моніторинг відео та автономне керування.

Щоб встановити YOLOv8, потрібне Python—середовище та підтримка бібліотек для машинного навчання. YOLOv8 можна запускати як на CPU, так і на GPU, але для оптимальної продуктивності рекомендується використовувати GPU з підтримкою CUDA від NVIDIA.

Для роботи з YOLOv8 потрібен Python 3.8. Завантажити його можна з офіційного сайту <https://www.python.org/>. На сайті треба обрати версію сумісну з комп'ютером, де відбувається розробка (рисунок 3.17).

Version	Operating System	Description	MD5 Sum	File Size	GPG
Gzipped source tarball	Source release		e18a9d1a0a6d858b9787e03fc6fdaa20	22.8 MB	SIG
XZ compressed source tarball	Source release		dbac8df9d8b9edc678d0f4cacdb7dbb0	17.0 MB	SIG
macOS 64-bit installer	macOS	for OS X 10.9 and later	f5f9ae9f416170c6355cab7256bb75b5	27.7 MB	SIG
Windows help file	Windows		1c33359821033ddb3353c8e5b6e7e003	8.1 MB	SIG
Windows x86 embeddable zip file	Windows		2ec3abf05f3f1046e0dbd1ca5c74ce88	6.9 MB	SIG
Windows x86 executable installer	Windows		412a649d36626d33b8ca5593cf18318c	25.2 MB	SIG
Windows x86 web-based installer	Windows		50d484ff0b08722b3cf51f9305f49fdc	1.3 MB	SIG
Windows x86-64 embeddable zip file	Windows	for AMD64/EM64T/x64	99cca948512b53fb165084787143ef19	7.7 MB	SIG
Windows x86-64 executable installer	Windows	for AMD64/EM64T/x64	29ea87f24c32f5e924b7d63f8a08ee8d	26.2 MB	SIG
Windows x86-64 web-based installer	Windows	for AMD64/EM64T/x64	f93f7ba8cd48066c59827752e531924b	1.3 MB	SIG

Рисунок 3.17 — Список інсталяторів ядра Python 3.8

Після встановлення Python 3.8 створимо віртуальне середовище командою:

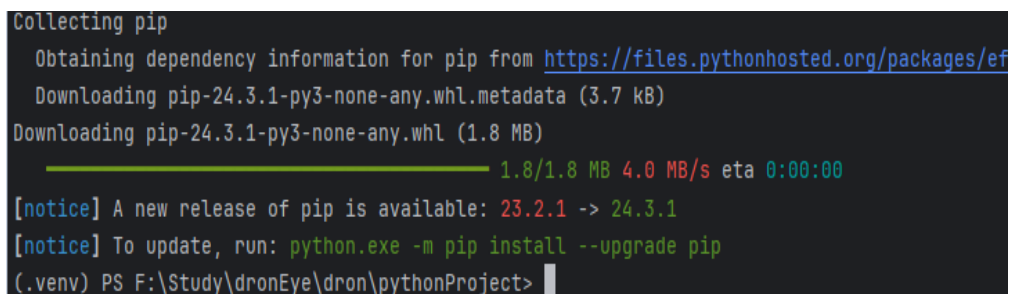
```
python —m venv yolov8_env
```

Активуємо середовище командою:

```
yolov8_env\Scripts\activate.
```

Наступним кроком оновлення `pip` і встановимо залежності командою (рисуюнок 3.18):

`pip install —upgrade pip`



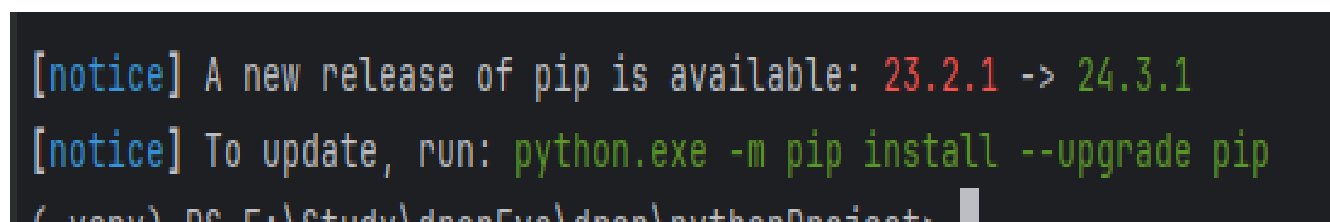
```
Collecting pip
  Obtaining dependency information for pip from https://files.pythonhosted.org/packages/ef
  Downloading pip-24.3.1-py3-none-any.whl.metadata (3.7 KB)
  Downloading pip-24.3.1-py3-none-any.whl (1.8 MB)
    ━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━ 1.8/1.8 MB 4.0 MB/s eta 0:00:00
[notice] A new release of pip is available: 23.2.1 -> 24.3.1
[notice] To update, run: python.exe -m pip install --upgrade pip
(.venv) PS F:\Study\dronEye\dron\pythonProject>
```

Рисуюнок 3.18 — Скрін шот терміналу з результатом встановлення PIP

`Pip` — це інструмент для встановлення та управління програмними бібліотеками в середовищі Python. Він дозволяє легко завантажувати та встановлювати пакунки з офіційного репозиторію Python Package Index (PyPI), а також оновлювати або видаляти їх.

`Pip` необхідний для швидкого доступу до готових рішень та бібліотек, які спрощують розробку проектів у Python, наприклад, машинного навчання, веб—розробки або роботи з базами даних. Завдяки `pip` можна автоматично налаштовувати залежності бібліотек, що значно економить час і зусилля розробників.

Далі необхідно встановити бібліотеки для YOLOv8. Виконаємо команду *`pip install ultralytics`* (рисуюнок 3.19). Ця команда автоматично встановить YOLOv8 і всі залежності, включаючи PyTorch. GPU з підтримкою CUDA, PyTorch також налаштується під нього автоматично.



```
[notice] A new release of pip is available: 23.2.1 -> 24.3.1
[notice] To update, run: python.exe -m pip install --upgrade pip
(.venv) PS F:\Study\dronEye\dron\pythonProject>
```

Рисуюнок 3.19 — Результат після встановлення пакету ultralytics

Щоб перевірити, що YOLOv8 встановлено успішно, спробуємо імпортувати його в Python командою *python import ultralytics from ultralytics import YOLO*. Якщо не виникає помилок, значить, усе встановлено коректно.

Вимоги до обладнання:

- процесор з підтримкою інструкцій AVX, хоча для великомасштабних задач потрібен потужний GPU;
- NVIDIA GPU з підтримкою CUDA (версія 11.1 або новіша);
- мінімум 8 ГБ ОЗУ, бажано 16 ГБ або більше для великих датасетів;
- мінімум 4 ГБ VRAM для базових моделей (YOLOv8n).

3.3.2 Розробка моделі комп'ютерного зору FPV дрона

Після успішного налаштування робочого середовища приступаємо до розробки коду.

В першу чергу імпортуємо усі необхідні бібліотеки та завантажимо саму модель. Для цього виконаємо наступні команди:

```
from ultralytics import YOLO
import cv2
import numpy as np
import skeleton
model = YOLO('yolov8n.pt')
```

Під'єднаємось до відеопотоку, щоб отримувати зображення з камери в реальному часі та обробляти його. Також отримаємо характеристики відео:

```
capture = cv2.VideoCapture(0)
fps = int(capture.get(cv2.CAP_PROP_FPS))
width = int(capture.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH))
height = int(capture.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT))
```

В метод VideoCapture() передаємо номер відеопотоку. Оскільки на дроні лише 1 камера, то передаємо номер потоку 0.

Наступний крок — налаштуємо параметри вихідного зображення:

```
output_video_path = 'video/detect.mp4'
fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v')
writer = cv2.VideoWriter(output_video_path, fourcc, fps, (width, height))
```

Потім створюємо нескінченний цикл в якому будемо обробляти послідовно кожен кадр окремо. Виконаємо такі дії: захопимо кадр, відправимо на обробку в модель, отримаємо результат обробки моделі. Для цього виконаємо такі команди:

```
ret, frame = capture.read()
if not ret: break
results = model(frame)[0]
classes_names = results.names
classes = results.bboxes.cls.cpu().numpy()
boxes = results.bboxes.xyxy.cpu().numpy().astype(np.int32)
```

Після отримання результатів намалюємо кожному об'єкту рамку та підпишемо цей об'єкт:

```
for class_id, box, conf in zip(classes, boxes, results.bboxes.conf):
    if conf>0.5:
        class_name = classes_names[int(class_id)]
        color = colors[int(class_id) % len(colors)]
        x1, y1, x2, y2 = box
        cv2.rectangle(frame, (x1, y1), (x2, y2), color, 2)
        cv2.putText(frame, class_name, (x1, y1 - 10),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, color, 2)
```

Після цього завантажимо оброблений кадр в файл для зберігання. Цей крок в майбутньому замінить передача кадра в автопілот. Але для поточної реалізації нам необхідно перевірити працездатність алгоритму. Для цього виконаємо команду:

```
writer.write(frame)
```

Також алгоритм передбачає додатковий режим аналізу. Цей режим передбачає пошук та аналіз розташування кінціков людей. Даний режим вміє аналізувати лише анатомію людей, але за необхідністю модель можна масштабувати і для інших систем.

Для реалізації даного режиму необхідно додати ще один шар аналізу. Для цього треба розробити функцію аналізу та малювання.

Функція малювання має наступний вигляд :

```
def draw_skeleton(image, keypoints, confs, pairs, color):
    for (start, end) in pairs:
        if confs[start] > 0.5 and confs[end] > 0.5:
            x1, y1 = int(keypoints[start][0]), int(keypoints[start][1])
            x2, y2 = int(keypoints[end][0]), int(keypoints[end][1])
            if (x1, y1) != (0, 0) and (x2, y2) != (0, 0):
                cv2.line(image, (x1, y1), (x2, y2), color, 2)
```

Це допоміжна функція, яка викликається після аналізу зображення.

Функція обробки зображення складається з таких кроків: завантаження кадра та обробка кадра моделлю, перевірка знайдених об'єктів, обробка ключових точок кінцівок, візуалізація точок та кінцівок.

Завантаження кадра та обробка кадра моделлю:

```
image = frame
if image is None: print("Error, can't download frame") return
results = skeleton_model(image)[0]
Перевірка знайдених об'єктів:
if hasattr(results, 'boxes') and hasattr(results.boxes, 'cls') > 0:
    classes_names = results.names
    classes = results.boxes.cls.cpu().numpy()
    boxes = results.boxes.xyxy.cpu().numpy().astype(np.int32)
```

Обробка ключових точок кінцівок:

```
if results.keypoints: keypoints = results.keypoints.data.cpu().numpy()
confs = results.keypoints.conf.cpu().numpy()
for i, (class_id, box, kp, conf) in enumerate(zip(classes, boxes, keypoints, confs)):
    draw_box = False
    if draw_box: class_name = classes_names[int(class_id)]
    color = colors['white']
    x1, y1, x2, y2 = box
    cv2.rectangle(image, (x1, y1), (x2, y2), color, 2)
    cv2.putText(image, class_name, (x1, y1 — 10),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, color, 2)
```

Візуалізація точок та кінцівок:

```
for j, (point, point_conf) in enumerate(zip(kp, confs)): if point_conf > 0.5:
    x, y = int(point[0]), int(point[1]) if (x, y) != (0, 0):
    cv2.circle(image, (x, y), 5, colors['blue'], —1)
    cv2.putText(image, str(j), (x + 5, y — 5), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5,
colors['blue'], 2)
    draw_skeleton(image, kp, conf, [(5, 7), (7, 9), (6, 8), (8, 10)], colors['white'])
    draw_skeleton(image, kp, conf, [(11, 13), (13, 15), (12, 14), (14, 16)],
colors['red'])
    draw_skeleton(image, kp, conf, [(5, 11), (6, 12)], colors['blue'])
```

3.3.3 Завантаження моделі автономного керування в прототип

Алгоритм роботи автономної системи керування FPV—дроном можна розділити на кілька послідовних етапів. Спочатку запускається система управління і починають працювати всі необхідні компоненти. Потім дрон отримує відеопотік від встановленої камери. Ці дані передаються для обробки моделями

комп'ютерного зору. Потім система аналізує результати обробки зображення, щоб визначити поточний стан і умови навколишнього середовища.

На основі цього аналізу вирішити, чи потрібно коригувати курс безпілота. Якщо потрібні корекції, генеруються відповідні інструкції для автопілота та передаються в систему управління. Дрон змінює траєкторію відповідно до нових інструкцій. Якщо корекція не потрібна, алгоритм повертається до поточного стану та продовжує відстеження. Цей цикл триває до отримання сигналу про закінчення роботи. Цей метод забезпечує стабільний політ і адаптується до змін навколишнього середовища, особливо до перешкод або змін траєкторій. Алгоритм автономної системи керування FPV дроном наведено на рисунку 3.20. Після ідентифікації об'єкта нейронна мережа проводить детальний аналіз, зокрема визначає його точне розташування та розмір. Якщо об'єкт знаходиться не по центру кадру, мережа генерує коригувальні інструкції для автопілота. Ці інструкції змінюють напрямок або висоту дрона, щоб перемістити об'єкт у центр зображення. При цьому система оцінює, чи потрібно їй наблизитися до об'єкта. Цей процес заснований на аналізі розміру об'єкта: якщо розмір об'єкта на зображенні поступово збільшується, це свідчить про успішне зближення, тоді як зменшення розміру вказує на більшу відстань.

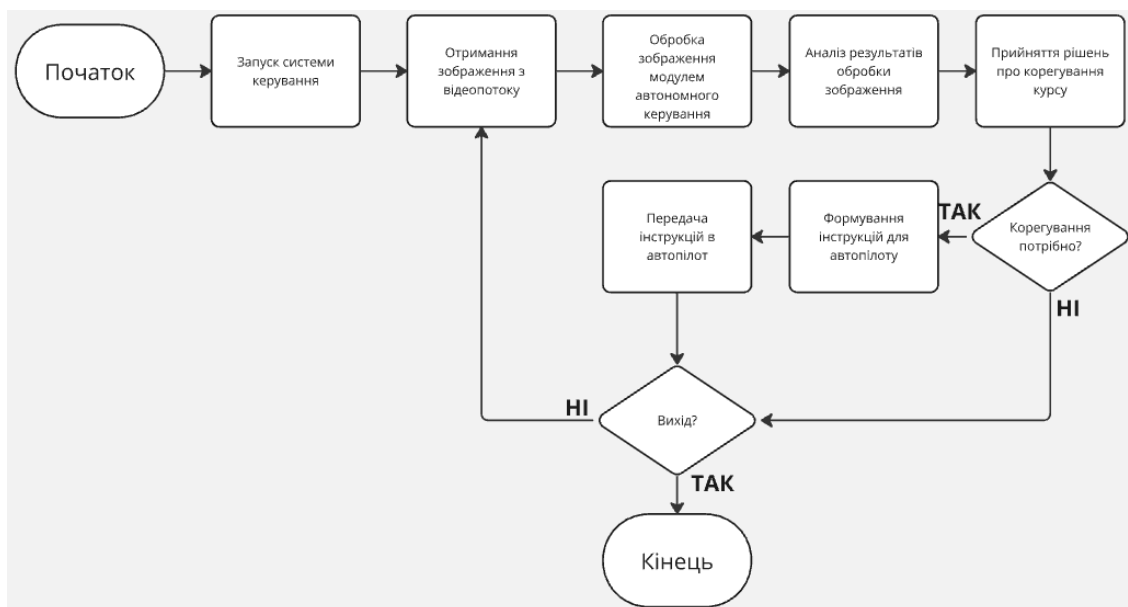


Рисунок 3.20 — Діаграма алгоритму роботи автономного керування FPV— дроном

Цей процес повторюється і повторюється. Після того, як автопілот виконає команду, мережа аналізує нові кадри, отримані від датчиків, і враховує всі зміни положення об'єкта, його динаміки і характеристик навколишнього середовища. Це дозволяє системі гнучко реагувати на зміну умов у реальному часі.

Наприклад, якщо об'єкт починає рухатися, система швидко адаптується, перебудовуючи його маршрут. Так само, якщо на зображенні з'являються нові перешкоди або змінюється освітлення, нейронна мережа буде динамічно коригувати своє рішення, щоб забезпечити стабільну роботу в різних сценаріях.

Особлива увага приділяється точності і надійності виявлення об'єктів, оскільки від цього залежить ефективність всього процесу. Щоб запобігти помилковим діям, якщо об'єкт тимчасово зникне за перешкодою, мережа використовує прогнозуючий алгоритм. Він оцінює попередній рух об'єкта та прогнозує його ймовірну траєкторію, що дозволяє продовжувати стеження навіть у складних умовах.

В результаті забезпечується безперервний зв'язок між дроном і об'єктом, мінімізується ризик втрати цілі, а система залишається ефективною навіть у ситуаціях, коли потрібна висока адаптивність.

Такий підхід гарантує плавну, безперервну взаємодію між усіма компонентами системи, що робить її придатною для різноманітних завдань.

Наприклад, у пошуково—рятувальних місіях ця технологія дозволяє швидко знаходити людей або предмети, навіть якщо є багато перешкод. Система також демонструє високу ефективність при роботі в мінливих середовищах, таких як раптова зміна погодних умов або нерівномірне освітлення. Приклад роботи автопілота показано на рисунку 3.21.

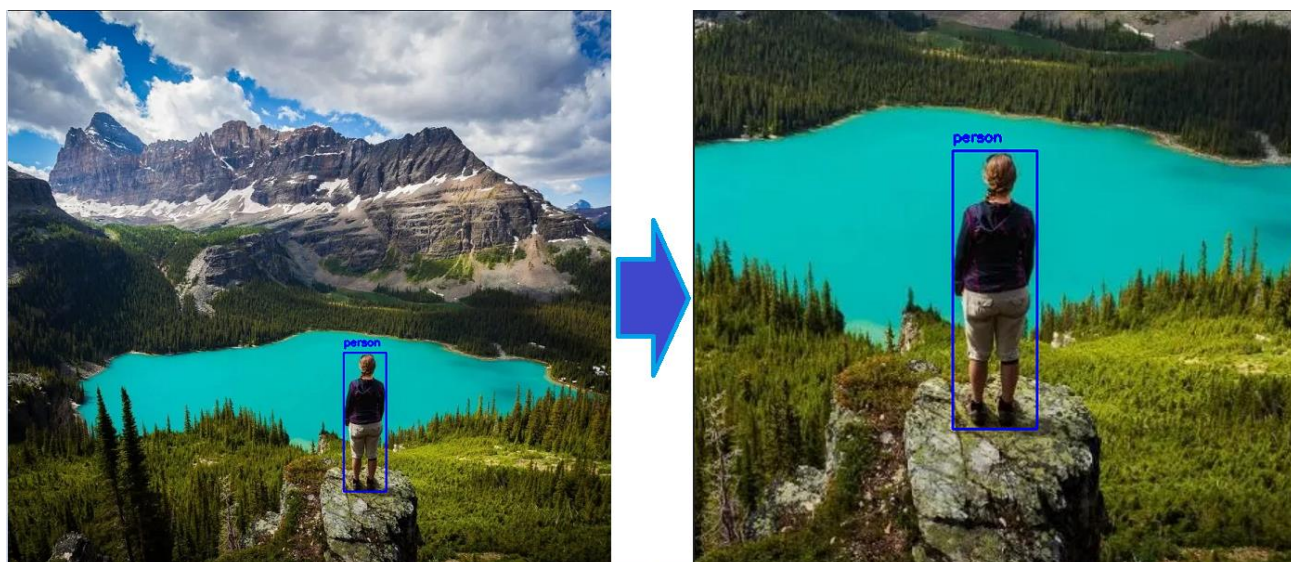


Рисунок 3.21 — Приклад роботи корегування курсу автопілотом при взаємодії зі комп'ютерним зором

4 ТЕСТУВАННЯ ПРОТОТИПА ПОВІТРЯНОГО FPV ДРОНА З АВТОНОМНИМ КЕРУВАННЯМ

4.1 Тестування прототипа та його поведінки

Для початку проведемо тест комп'ютерного зору. Дано для аналізу статичну картинку і завдання, щоб модель розпізнала автомобілі та людей. На зображенні буде ускладнення — на рекламному щиті буде зображення людини і модель має відрізнити живу людину від зображення і не відмітити рекламу. Результат тестування наведено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 — Приклад роботи з моделі комп'ютерного зору

Як бачимо — модель не обвела в прямокутник зображення людини на рекламному щиті.

Це демонструє нам те, що модель достатньо навчена, щоб не робити помилок і не приймати зображення об'єкта за реальний об'єкт.

Проведемо тест другого режиму, де модель може відрізняти кінцівки людей. Використаємо фото людини для того, щоб протестувати працездатність моделі (рисунок 4.2). Людина дала згоду на використання її фотографії.



Рисунок 4.2 — Тестування режиму розпізнавання кінцівок

На фотографії видно, як модель розпізнала обличчя людини, поставила точки на вухах, носі, очах. Також модель відобразила білими лініями руки, червоними — ноги, синіми — контури тулуба. Цей режим працює коректно, тестування пройдено успішно.

Наступним кроком тестування буде тестування швидкості обробки даних. Ця характеристика дуже важлива, адже від цього параметра залежить швидкість реакції дрона на зміну в навколишньому середовищі. Тестувати будемо в двох режимах. Спочатку тестуємо модель без детекції кінцівок. Другий тест — з детекцією кінцівок. Кожен режим буде тестуватися по 5 разів, щоб вивести середнє значення. В таблиці 4.1 буде зафіксований час обробки 1 кадра в мілісекундах.

Таблиці 4.1 — Тестування часу обробки 1 кадра

	1 тест	2 тест	3 тест	4 тест	5 тест	Середнє значення
Тестування детекції без кінцівок	56 мс	65 мс	53 мс	62 мс	59 мс	59 мс
Тестування детекції з кінцівками	93 мс	89 мс	91 мс	85 мс	96 мс	91 мс

Тестування показало, що середній час обробки кадру без визначення кінцівок становив 59 мілісекунд. Це 17 кадрів в секунду. Виявлення кінцівок зайняло в середньому 91 мілісекунду для обробки кадру зі швидкістю 11 кадрів на секунду. У реальних умовах на великих відстанях, без впливу засобів радіоелектронної боротьби, затримка між оператором і дроном може досягати 200 мілісекунд, тому результати тестів автономного керування доводять актуальність цієї розробки.

Наступним етапом тестування є перевірка моделі дрона. Під час тестування створеного FPV дрона основна увага була зосереджена на перевірці працездатності всіх систем в реальних умовах. Спочатку була проведена наземна перевірка електронного обладнання (рисунк 4.3), наприклад, надійність підключення компонентів, коректна робота автопілота та передавача відеосигналу. Потім дрон запускається в повітря та оцінюється на стійкість польоту, точність команд оператора та реакцію на зовнішні фактори, зокрема вітер.

Результати випробувань засвідчили, що дрон надійний і може ефективно виконувати поставлені перед ним завдання.

Однак визначили кілька областей, які потребують вдосконалення, наприклад потребу в оптимізації продуктивності батареї для збільшення часу польоту та покращення стабільності відеосигналу в умовах перешкод. Загалом

тестування підтвердило функціональність дрона і відповідність його розробленим технічним вимогам.

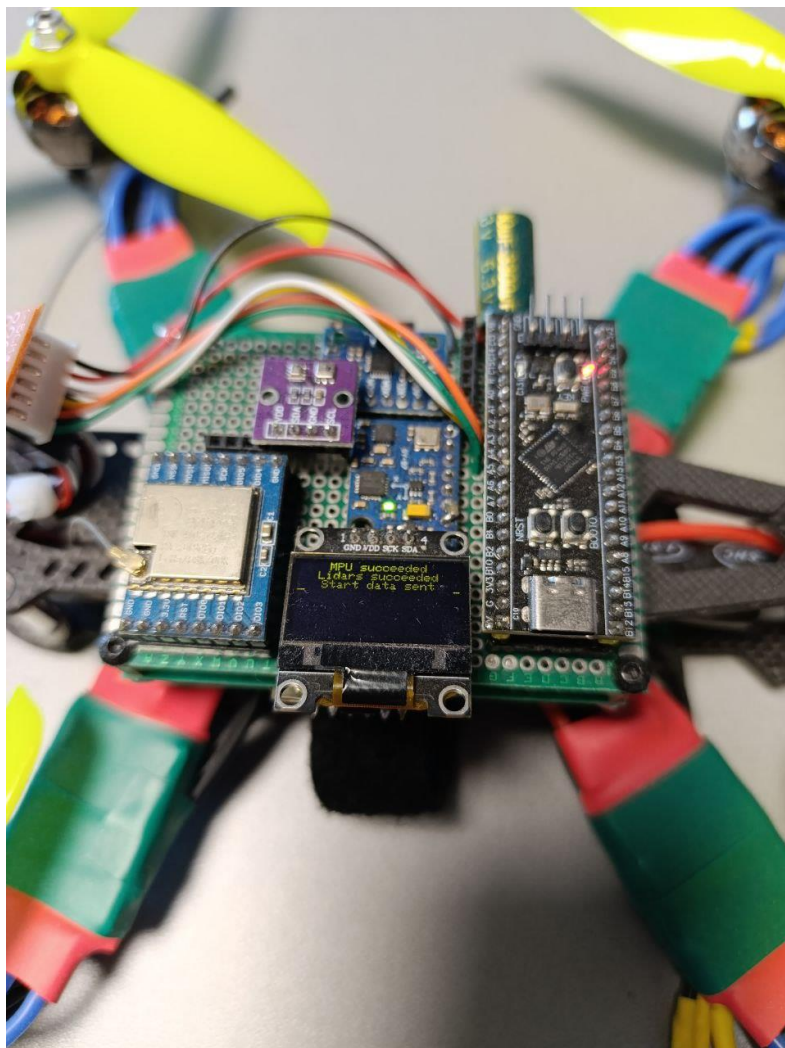


Рисунок 4.3 — Наземна перевірка електроніки розробленого дрона

Під час тестування завантаження моделі YOLOv8 у систему дрона було перевірено її інтеграцію з іншими компонентами, такими як процесори даних у реальному часі та камери. Модель завантажується через оптимізоване середовище, придатне для умов польоту БПЛА. Модель успішно ідентифікувала перешкоди, транспортні засоби, людей та інші об'єкти на маршруті та надавала відповідні дані для своєчасного прийняття рішень щодо автономного водіння. Випробування проводилися за різних умов освітлення та різних швидкостей польоту, щоб оцінити точність і стабільність алгоритму.

Під час тестування було виявлено ряд недоліків, які вимагали подальшого вдосконалення моделі. По—перше, під час роботи спостерігалось зниження продуктивності при обробці кадрів з низькою роздільною здатністю. Це може бути через слабкий сигнал від камери на значній відстані від об'єкта або через погані погодні умови. Такі проблеми вплинуть на точність розпізнавання об'єктів і, відповідно, на якість системи. По—друге, виявилось, що затримки обробки відео на малопотужних процесорах дронів іноді суттєво впливають на те, як швидко система реагує на динамічні зміни навколишнього середовища. Цей недолік особливо серйозний для сценаріїв, які вимагають адаптації на льоту, наприклад уникнення перешкод або виконання маневрів на високій швидкості.

Незважаючи на відомі обмеження, загальні результати тестування показують, що модель достатньо ефективна для виконання основних завдань у більшості стандартних операційних сценаріїв. Він керує розпізнаванням об'єктів, навігацією та виконанням заданих завдань у типових робочих умовах. Це дозволяє розглядати його як перспективний інструмент із великим потенціалом вдосконалення та адаптованістю до більш широкого кола завдань після усунення виявлених недоліків.

4.2 Порівняння з існуючими рішеннями

В Україні та за кордоном активно розробляються аналоги БПЛА з можливостями автономного керування, подібні до вже розроблених дронів FPV.

Ця сфера є надзвичайно перспективною, і багато компаній наполегливо працюють над вдосконаленням своїх технологій, щоб забезпечити високу ефективність і надійність. Зокрема, серед українських виробників, які займаються виготовленням сучасних дронів, варто виділити такі компанії, як «Дикі Шершні» та «Strike Drone Company».

Їх розробка отримала визнання завдяки високому рівню технологічності, що дозволяє виконувати завдання в складних умовах експлуатації.

Вони підходять для використання у військовій сфері, особливо в бойових умовах, а також для виконання спеціальних цивільних завдань, таких як спостереження, доставка або рятувальні операції.

Це свідчить про активний розвиток ринку дронів і зростаючу конкуренцію серед виробників, які прагнуть створювати універсальні та високотехнологічні рішення.



Рисунок 4.4 — FPV дрон компанії «Дикі шершні»

Дрони від компанії «Дикі Шершні» (рисунок 4.4) є яскравим прикладом сучасних FPV—рішень з можливостями автономного керування. Їхні безпілотники компактні та дуже маневрені, що дозволяє їм працювати на таких перешкодах, як ліси або урбанізовані території. Завдяки використанню систем штучного інтелекту, зокрема алгоритмів розпізнавання об'єктів і прийняття рішень у реальному часі, ці дрони здатні самостійно виконувати складні завдання. Наприклад, автономні

системи можуть знаходити оптимальні маршрути, щоб уникнути перешкод або швидко реагувати на зміну умов під час місії.

Крім того, безпілотники компанії орієнтовані на проведення розвідувальних завдань, коригування вогню артилерії та забезпечення інших життєво важливих операцій.



Рисунок 4.5 — Дрони від компанії «Strike Drone Company»

Компанія «Strike Drone Company» Він також надає інноваційні рішення у сфері автономного керування дронами (рис. 4.5). Їхні пристрої зазвичай мають більші розміри та розширені функції порівняно з компактними дронами FPV. Ці безпілотники призначені для виконання складних завдань, таких як доставка вантажів, евакуація обладнання та навіть нанесення ударів у бойових умовах. Завдяки інтеграції сучасних процесорів і камер високої роздільної здатності для обробки великих обсягів даних у режимі реального часу дрони «Strike Drone Company» можуть ідентифікувати об'єкти навіть на великих відстанях. Їх автономне керування базується на використанні адаптивних алгоритмів, які дозволяють змінювати параметри польоту відповідно до рельєфу місцевості та погодних умов.

Унікальність українських розробок полягає в тому, що вони активно створюються в умовах реальних потреб забезпечення обороноздатності країни. Ці обставини стали каталізатором стрімкого розвитку безпілотних технологій в Україні. Наприклад, безпілотники обох компаній широко використовуються на передовій для розвідки та нападу. Їх автономні системи мінімізують ризик оператора, а їхні можливості розпізнавання об'єктів і аналізу даних забезпечують ефективне виконання поставлених завдань.

Успіхи «Диких Шершнів» та «Strike Drone Company» показують, що українські інженери здатні створювати конкурентоспроможні продукти, які відповідають світовим стандартам. Такі дрони не тільки слугують інструментом для військових, але й мають потенціал для використання в цивільних цілях, наприклад, у сільському господарстві, логістиці, екологічному моніторингу та рятувальних операціях. Завдяки своїм технічним характеристикам, автономним функціям і можливостям адаптації до різних завдань ці аналоги відіграють важливу роль у сучасному світі дронів.

Розроблений дрон має кілька ключових переваг, які дозволяють йому бути кращим за продукцію таких відомих виробників, як «Дикі Шершні» та «Strike Drone Company». Однією з головних переваг є доступна ціна. Завдяки оптимізації виробництва та використанню якісних, але дешевих комплектуючих, вартість розробленого FPV дрона значно нижча, ніж у конкурентів. Це робить його привабливим не лише для військових підрозділів, які прагнуть мінімізувати витрати, але й для потенційних цивільних користувачів, які цінують співвідношення ціни та якості. Розроблений безпілотник надає можливість використовувати передові алгоритми комп'ютерного зору без перевищення обмеженого бюджету.

Ще однією важливою перевагою є його висока адаптивність і універсальність. Завдяки ретельному налаштуванню системи комп'ютерного зору та власно розробленому алгоритму автономного керування розроблений дрон показує високу ефективність у різних сценаріях. Він краще справляється з ідентифікацією та аналізом об'єктів у складних умовах, таких як слабе освітлення

чи безлад, ніж конкуруючі дрони. Така точність і автономність забезпечують значні переваги в практичному використанні.

Розроблені безпілотники мають великий потенціал для використання в мирний час, особливо для цивільних місій. Завдяки інтегрованим системам комп'ютерного зору його можна ефективно використовувати в сільському господарстві для моніторингу посівів, оцінки стану ґрунту та визначення ділянок, які потребують додаткової уваги. Наприклад, дрони можуть аналізувати якість рослинності та прогнозувати врожайність, що дозволить фермерам економити ресурси та підвищувати ефективність управління.

Ще один перспективний напрямок — логістика. Безпілотники були розроблені для доставки невеликих вантажів у важкодоступні місця, такі як гірські райони або райони, які постраждали від стихійних лих. Завдяки автономному управлінню та здатності уникати перешкод у реальному часі ваш дрон забезпечить швидку та безпечну доставку навіть у найскладніших умовах.

Крім того, розроблені безпілотники також можуть бути використані у сфері рятувальних операцій. Його автономні можливості пошуку та аналізу роблять його корисним для виявлення людей у лісах, горах або під завалами після землетрусів. У цьому випадку комп'ютерний зір допоможе швидко знайти людей і надати необхідну інформацію рятувальникам.

Крім того, можливість аналізувати зображення в режимі реального часу відкриває нові горизонти моніторингу довкілля. Безпілотники розроблені для моніторингу змін в екосистемах, реєстрації дикої природи, аналізу рівнів забруднення повітря чи води та виявлення несанкціонованої вирубки лісів. Це робить його незамінним інструментом для захисту навколишнього середовища.

Таким чином, розроблений БПЛА не тільки перевершує своїх аналогів меншою вартістю та технічними перевагами, але й має широкий спектр застосування в цивільній промисловості. Це робить його універсальним і перспективним рішенням для різноманітних потреб сучасного суспільства.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Комерційний та технологічний аудит науково—технічної розробки

Метою даного розділу є детальний аналіз і проведення технологічного аудиту нового виробу, зокрема мікроконтролерної системи дистанційного керування повітряним FPV—дроном. Цей дрон розроблено для роботи в складі FPV—квадрокоптера з інтегрованими алгоритмами комп'ютерного зору, які забезпечують автоматичне виявлення та супроводження цільових об'єктів. Основна увага приділена оцінці функціональних можливостей і нововведень, які втілено у цій системі. Однією з головних особливостей даного виробу є використання інноваційного методу протидії засобам радіоелектронної боротьби (РЕБ), що дозволяє значно підвищити автономність і стійкість дрона в складних умовах експлуатації.

У рамках цього розділу також проаналізовано технічні рішення, що забезпечують стійкість дрона до перешкод у роботі радіоканалу, зокрема використання алгоритмів обробки зображень і адаптивного керування.

Аналогом розробки можуть бути FPV «Rusoriz M», орієнтовна ціна 25—30 тис. гривень; FPV «Королева шершнів», орієнтовна вартість 24—32 тис. грн.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту залучають не менше 3—х незалежних експертів. Оцінювання науково—технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням п'ятибальної системи оцінювання за 12—ма критеріями, у відповідності із табл. 5.1.

Таблиця 5.1 — Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5—ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність в реальних умовах

Продовження табл. 5.1

Ринкові переваги					
2	Багато аналогів на малому ринку	Ринкові п Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно до-рівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі влас-тливості продук-ту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі влас-тливості продук-ту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі влас-тливості продук-ту на рівні аналогів	Технічні та споживчі влас-тливості продук-ту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі вла-стивості продук-ту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позити-вної динаміки	Ринок малий, але має пози-тивну динаміку	Середній ринок з позитивною	Великий стабільний ринок	Великий ри-нок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих ком-паній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практик на здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з ко-мерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне не-значне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так із комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні мате-ріали, що ви-користовуються у військово—промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно ви-користову-ються у виро-бництві

Продовження табл. 5.1

11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10—ти років	Термін реалізації ідеї від 3—х до 5—ти років. Термін окупності інвестицій більше 5—ти років	Термін реалізації ідеї менше 3—х років. Термін окупності інвестицій від 3—х до 5—ти років	Термін реалізації ідеї менше 3—х років. Термін окупності інвестицій менше 3—х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь—які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Усі дані по кожному параметру занесено в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 — Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії оцінювання	ПІБ експертів		
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
	Бали		
Технічна здійсненність концепції	3	4	3
Наявність аналогів на ринку	3	4	3
Цінова політика	2	1	1
Технічні та споживчі властивості виробу	3	3	4
Експлуатаційні витрати	4	3	3
Ринок збуту	3	3	3
Конкурентоспроможність	4	3	3
Фахівці з технічної і комерційної реалізації	3	3	4
Фінансування	4	3	3
Матеріально—технічна база	3	3	3
Термін реалізації ідеї	4	4	4
Супровідна документація	2	3	2
Сума	38	37	36
Середньоарифметична сума балів	$(38+37+36) / 3 = 37$		

За даними таблиці 5.2 можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу даної розробки. Для цього доцільно скористатись рекомендаціями, наведеними в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 — Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 — 10	Низький
11 — 20	Нижче середнього
21 — 30	Середній
31 — 40	Вище середнього
41 — 48	Високий

Як видно з таблиці, рівень комерційного потенціалу розроблюваного нового виробу можна оцінити як високий. Це пояснюється його ключовою особливістю — здатністю працювати автономно завдяки інтеграції комп'ютерного зору, що дозволяє дрону продовжувати виконання завдань навіть у ситуаціях втрати зв'язку з оператором. Така здатність є критично важливою для роботи в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ), коли зовнішні перешкоди можуть повністю блокувати передачу команд і сигналів керування.

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково—дослідної (дослідно—конструкторської) роботи

Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (5.1)$$

де M — місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p — число робочих днів в місяці, 21 днів;

t — число днів роботи розробника (дослідника).

Результати розрахунків зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 — Основна заробітна плата розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	38000	1809,52	31	56095,238
Інженер	35000	1666,67	31	51666,667
Всього				107761,90

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, розраховуються за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i \cdot K_c, \quad (5.2)$$

де t_i — норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n — число робіт по видах та розрядах;

K_c — коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками;

C_i — погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну роботу, грн./год.

C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}}, \quad (5.3)$$

де M_m — мінімальна місячна оплата праці, грн., 8000 грн. у 2024 р.

K_i — тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

T_p — число робочих днів в місяці, $T_p = 21$ дні;

$T_{зм}$ — тривалість зміни, $T_{зм} = 8$ годин.

Погодинна тарифна ставка згідно чинного законодавства у грудні 2024 року = 48 грн./год.

Розрахунки заносимо до табл. 5.5.

Таблиця 5.5 — Витрати на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Трудоміст— кість, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати на робітника грн.
Заготівельні	3	3	1,35	64,8	194,4
Слюсарно— збиральні	8	3	1,35	64,8	518,4
Налагоджувальні та контрольні	3	5	1,7	81,6	244,8
Всього					957,60

Додаткова заробітна плата розробників, які приймали участь в розробці обладнання.

Додаткова заробітна плата прийнято розраховувати як 11% від основної заробітної плати розробників та робітників:

$$З_д = (З_{о.роз} + З_{о.роб}) \cdot 11\% / 100\% \quad (5.4)$$

$$З_д = (107761,90 + 957,60) \cdot 11\% / 100\% = 11959,15 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату розробників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$Н_з = (З_{о.роз} + З_{о.роб} + З_д) \cdot 22\% / 100\% \quad (5.5)$$

$$Н_з = (107761,90 + 957,60 + 11959,15) \cdot 22\% / 100\% = 26338,63 \text{ (грн.)}$$

Оскільки для розроблювального програмного продукту не потрібно витрачати матеріали та комплектуючі, то витрати на матеріали і комплектуючі дорівнюють нулю.

Амортизація обладнання, що використовувалось для розробки в спрощеному вигляді амортизація обладнання, що використовувалась для розробки розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_8} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12} \text{ [Грн.]}. \quad (5.6)$$

де Ц — балансова вартість обладнання, грн.;

T — термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років

$t_{\text{вик}}$ — термін використання під час розробки, місяців

Розрахуємо, для прикладу, амортизаційні витрати на комп'ютер балансова вартість якого становить 39900 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства — 2 роки, а термін його фактичного використання — 1,476 міс.

$$A_{\text{обл}} = \frac{39900}{2} \times \frac{1,476}{12} = 2454,167 \text{ грн.}$$

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 4.6.

Так як вартість ліцензійної ОС та спеціалізованих ліцензійних нематеріальних ресурсів, а також спеціалізованого обладнання менше 20000 грн (Microsoft Windows 10 — 11000 грн., Liftoff FPV Drone Racing — 599 гривень як ДШП), то даний нематеріальний актив не амортизується, а його вартість включається у вартість розробки повністю. Також у дану вартість включено і підписка на використання такого нематеріального ресурсу, як IntelliJ IDEA Ultimate — 24000 грн/рік: $(24000/12) \cdot 1,476 = 2952$ грн, $B_{\text{спец. обл.}} = 14551$ грн.

Таблиця 5.6 — Амортизаційні відрахування матеріальних і нематеріальних ресурсів для розробників

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Комп'ютер та комп'ютерна периферія	39900	2	1,476	2454,167
Офісне обладнання (меблі)	40000	4	1,476	1230,159
Приміщення	1000000	20	1,476	6498,016
Всього				10182,34

Амортизація обладнання, що використовувалось робітниками, розраховується аналогічно, результати розрахунків зведено в таблицю 5.7 і враховуються при розрахунку виробничої собівартості виробу.

Таблиця 5.7 — Амортизаційні відрахування матеріальних і нематеріальних ресурсів для робітників

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання		Амортизаційні відрахування, грн.
			год.	міс.	
Комп'ютер	39900	2	3	0,0179	29,6875
Спеціалізоване обладнання (меблі)	40000	4	3	0,0179	14,8810
Приміщення	1000000	20	14	0,0833	347,2222
Всього					391,7907

Витрати на комплектуючі, що були використані на виготовлення розраховуються за формулою

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (5.7)$$

де H_i — кількість комплектуючих i —го виду, шт.,

C_i — роздрібна ціна комплектуючих i —го виду, грн.,

K_i — коефіцієнт транспортних витрат, $K_i=1,1$,

n — кількість видів матеріалів.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 5.8 без врахування транспортних витрат.

Таблиця 5.8 — Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість	Ціна за штуку, грн.
1. Кадр (рама)		
Модель: TBS Source One V4	1	1200
2. Політний контролер (FC)		
Модель: Mamba F722S Betaflight FC	1	2000
3. Регулятори швидкості (ESC)		
Модель: Mamba F50_BL32 50A 4—in—1 ESC	1	1800
4. Мотори		
Модель: iFlight XING—E Pro 2207 1800KV	4	500
5. Пропелери		
Модель: HQProp 5x4.3x3 V1S	4	25
6. FPV—камера		
Модель: Caddx Ratel 2	1	1300
7. Відеопередавач (VTX)		
Модель: TBS Unify Pro32 HV	1	1500
8. Антени для FPV		
Модель: Foxeer Lollipop 3	1	200
9. FPV—окуляри		
Модель: Skyzone SKY02X FPV Goggles	1	8000
10. Акумулятор		
Модель: Tattu R—Line 4S 1300mAh 95C LiPo	1	1200
11. Зарядний пристрій для акумулятора		
Модель: ISDT Q6 Pro 300W	1	1600
12. Радіоапаратура (пульт керування)		
Модель: FrSky Taranis QX7	1	4300
Всього		24500,00

Витрати на комплектуючі, що були використані на розробку з врахуванням транспортних витрат:

$$H = 24500 \cdot 1,1 = 26950,00 \text{ (грн.)}$$

Тарифи на електроенергію для непобутових споживачів (промислових підприємств) відрізняються від тарифів на електроенергію для населення. При цьому тарифи на розподіл електроенергії у різних постачальників (енергорозподільних компаній), будуть різними. Крім того, розмір тарифу залежить від класу напруги (1—й або 2—й клас). Тарифи на розподіл електроенергії для всіх енергорозподільних компаній встановлює Національна комісія з регулювання енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП). Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$B_e = B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, \quad (5.8)$$

де B — вартість 1 кВт—години електроенергії для 1 класу підприємства з ПДВ в 2024 році для Вінницької області за даними Енера—Вінниця, $B = 10,42$ грн./кВт;

Π — встановлена середня потужність обладнання, кВт. $\Pi = 0,3$ кВт;

Φ — фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

K_{Π} — коефіцієнт використання потужності, $K_{\Pi} = 0,8$.

$$B_e = 0,8 \cdot 0,3 \cdot 8 \cdot 31 \cdot 10,42 + 0,8 \cdot 0,3 \cdot 6,0 \cdot 10,42 = 620,1984 + 15,005 = 635,20 \text{ (грн.)}$$

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками. Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50% — 100% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$I_e = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100\%}, \quad (5.9)$$

де H_{ib} — норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$I_e = (107761,90 + 574,56) \cdot 60\% / 100\% = 65231,70 \text{ (грн.)}$$

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково—технічну інформацію та рекламу та ін. Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100% — 150% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$H_{нзв} = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.10)$$

де $H_{нзв}$ — норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$H_{нзв} = (107761,90 + 957,60) \cdot 133\% / 100\% = 144597 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково—дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково—дослідної роботи:

$$B_{заг} = 107761,90 + 957,60 + 11959,15 + 26338,63 + 10182,34 + 391,7907 + 14551 + 26950,00 + 635,20 + 65231,70 + 144597 = 409556,26 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на завершення науково—дослідної (науково—технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються $ЗВ$, визначається за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta} \text{ (грн)}, \quad (5.11)$$

де η — коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково—дослідної роботи.

Так, якщо науково—технічна розробка знаходиться на стадії: науково—дослідних робіт, то $\eta=0,1$; технічного проектування, то $\eta=0,2$; розробки конструкторської документації, то $\eta=0,3$; розробки технологій, то $\eta=0,4$; розробки дослідного зразка, то $\eta=0,5$; розробки промислового зразка, то $\eta=0,7$; впровадження, то $\eta=0,9$. Оберемо $\eta = 0,5$, так як розробка, на даний момент, знаходиться на стадії дослідного зразка:

$$3B = 409556,26 / 0,5 = 819113 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок економічної ефективності науково—технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнювальним позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково—технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку. Саме зростання чистого прибутку забезпечить потенційному інвестору надходження додаткових коштів, дозволить покращити фінансові результати його діяльності, підвищить конкурентоспроможність та може позитивно вплинути на ухвалення рішення щодо комерціалізації цієї розробки.

Для того, щоб розрахувати можливе зростання чистого прибутку у потенційного інвестора від можливого впровадження науково—технічної розробки необхідно:

- вказати, з якого часу можуть бути впроваджені результати науково—технічної розробки;
- зазначити, протягом скількох років після впровадження цієї науково—технічної розробки очікуються основні позитивні результати для потенційного інвестора (наприклад, протягом 3—х років після її впровадження);
- кількісно оцінити величину існуючого та майбутнього попиту на цю або аналогічні чи подібні науково—технічні розробки та назвати основних суб'єктів (зацікавлених осіб) цього попиту;

— визначити ціну реалізації на ринку науково—технічних розробок з аналогічними чи подібними функціями.

При розрахунку економічної ефективності потрібно обов’язково враховувати зміну вартості грошей у часі, оскільки від вкладення інвестицій до отримання прибутку минає чимало часу. При оцінюванні ефективності інноваційних проєктів передбачається розрахунок таких важливих показників:

- абсолютного економічного ефекту (чистого дисконтованого доходу);
- внутрішньої економічної дохідності (внутрішньої норми дохідності);
- терміну окупності (дисконтованого терміну окупності).

Аналізуючи напрямки проведення науково—технічних розробок, розрахунок економічної ефективності науково—технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором можна об’єднати, враховуючи визначені ситуації з відповідними умовами.

Розробка чи суттєве вдосконалення програмного засобу (програмного забезпечення, програмного продукту) для використання масовим споживачем.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (5.12)$$

де $\pm\Delta\Pi_0$ — зміна вартості програмного продукту (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково—технічної розробки в аналізовані періоди часу;

N — кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково—технічної розробки;

Π_0 — основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки, $\Pi_0 = \Pi_6 \pm \Delta\Pi_0$;

Π_6 — вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки;

ΔN — збільшення кількості споживачів продукту, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

λ — коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

p — коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту;

ϑ — ставка податку на прибуток, у 2024 році $\vartheta = 18\%$.

Припустимо, що при прогнозованій ціні 29900 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її вдосконалення, можна буде підняти її ціну на 100 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року — на 1200 шт., протягом другого року — на 1300 шт., протягом третього року на 1500 шт. До моменту впровадження результатів наукової розробки реалізації продукту не було:

$$\Delta\Pi_1 = (0 \cdot 100 + (29900 + 100) \cdot 1200) \cdot 0,8333 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,18) = 2451799,902 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_2 = (0 \cdot 100 + (29900 + 100) \cdot (1200 + 1300)) \cdot 0,8333 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,18) = 5124999,795 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_3 = (0 \cdot 100 + (29900 + 100) \cdot (1200 + 1300 + 1500)) \cdot 0,8333 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,18) = 8199999,672 \text{ грн.}$$

Отже, комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе 15776799,37 грн.

Розраховуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків $\Pi\Pi$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково—технічної розробки:

$$\Pi\Pi = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.13)$$

де $\Delta\Pi_i$ — збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково—дослідної (науково—технічної) роботи, грн;

T — період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої науково—дослідної (науково—технічної) роботи, роки;

τ — ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,05 \dots 0,15$;

t — період часу (в роках).

Збільшення прибутку ми отримаємо починаючи з першого року:

$$\text{ПП} = (2451799,902/(1+0,1)^1) + (5124999,795/(1+0,1)^2) + (8199999,672/(1+0,1)^3) = 2228909,00 + 4235537,02 + 6160781,12 = 12625227,14 \text{ грн.}$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково—технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{\text{інв}} * 3B, \quad (5.14)$$

де $k_{\text{інв}}$ — коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково—технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{\text{інв}}=2\dots 5$, але може бути і більшим;

$3B$ — загальні витрати на проведення науково—технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 2 * 819113 = \text{грн.}$$

Тоді абсолютний економічний ефект $E_{\text{абс}}$ або чистий приведений дохід (NPV , *Net Present Value*) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково—технічної розробки становитиме:

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - PV, \quad (5.15)$$

$$E_{\text{абс}} = 12625227,14 - 819113 = 11806114,62 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної науково—дослідної (науково—технічної) роботи може бути доцільним.

Для остаточного прийняття рішення з цього питання необхідно розрахувати внутрішню економічну дохідність або показник внутрішньої норми дохідності (*IRR, Internal Rate of Return*) вкладених інвестицій та порівняти її з так званою бар'єрною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну внутрішню економічну дохідність, нижче якої інвестиції в будь—яку науково—технічну розробку вкладати буде економічно недоцільно.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_e . Для цього використаємо формулу:

$$E_e = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.16)$$

$T_{ж}$ — життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_e = \sqrt[3]{(1 + 11806114,62 / 819113) - 1} = 1,489$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.17)$$

де d — середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = (0,09—0,14)$;

f — показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,5)$.

$$\tau_{\min} = 0,14 + 0,05 = 0,19.$$

Так як $E_b > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (5.18)$$

$$T_{ок} = 1 / 1,489 = 0,67 \text{ р.}$$

Оскільки $T_{ок} < 3$ —х років, а саме термін окупності рівний 0,67 роки, то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Висновки до розділу: економічна частина даної роботи містить розрахунок витрат на розробку продукту, сума яких складає 819113 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 0,67 роки.

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи було проведено огляд існуючих систем дистанційного керування дронами FPV, виявлено їх сильні та слабкі сторони та визначено ключові напрямки для вдосконалення. Зокрема, розглядаються сучасні технології, алгоритми керування та можливість інтеграції новітніх методів, таких як комп'ютерний зір, у системи керування БПЛА.

Розроблено мікроконтролерну систему дистанційного керування з використанням алгоритмів комп'ютерного зору. Система забезпечує автоматичне виявлення та супроводження цільових об'єктів у режимі реального часу, значно покращуючи автономність і точність дрона. Проаналізовано методи виявлення об'єктів, придатні для роботи в умовах змінної освітленості та наявності перешкод, що дає змогу оптимізувати алгоритми для роботи в динамічних середовищах.

Розроблено та впроваджено технологію автоматичної навігації БПЛА на основі аналізу зображення в реальному часі. Особливу увагу приділено інтеграції систем комп'ютерного зору з автопілотами для автоматичного коригування траєкторії та напрямку польоту дронів у просторі. Це дозволяє забезпечити швидку реакцію на зміну положення об'єкта, тим самим зменшуючи затримки у виконанні завдання.

Алгоритми обробки відеоінформації створені з метою підвищення точності та ефективності керування дроном. Алгоритми включають покращені процеси розпізнавання об'єктів, класифікації та відстеження, що сприяє точнішому виконанню польотних завдань. Використання цих алгоритмів дозволяє дрону досягти стабільної роботи навіть у складних умовах експлуатації.

Розроблена система пройшла повні випробування в реальних умовах експлуатації, включаючи перевірку точності супроводу цілей, стабільності передачі відео та реакції на зовнішні фактори. Результати тестування показали високу ефективність системи та підтвердили її здатність виконувати завдання з високою точністю та стабільністю.

Таким чином всі поставлені завдання виконано, а поставлена мета роботи щодо використання комп'ютерного зору для автоматичного супроводу цільових об'єктів для створення мікроконтролерної системи дистанційного керування FPV—дронами досягнута. Розроблена система має високий ступінь автономності, точності і надійності та може використовуватися в різних практичних сценаріях.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Л.В. Крупельницький, М.М. Підгорний. Доповідь на тему «Конструкція та система керування повітряним дроном типу FPV», [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/viewFile/21341/17747>

2. Л.В. Крупельницький, М.М. Підгорний. Доповідь на тему «Автономне керування повітряним дроном типу fpv», [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/viewFile/22281/18440>

3. The next era of drones will be defined by 'swarms' [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.bbc.com/future/article/20170425—were—entering—the—next—era—of—drones>

4. IoT Agenda [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/drone>

5. Дрономанія [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://dronomania.ru/blade/inductrix—fpv.html>

6. hubsan [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.hubsan.com/na/>

7. bitcraze [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://wiki.bitcraze.io/index>

8. 7 Best Drones For Education To Build, Learn To Code And Configure [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.dronezon.com/learn—about—drones—quadcopters/best—educationaldrones—kits—to—build—and—code—uavs/>

9. FLYMOD [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://flymod.net/>

10. nRF52832 Versatile Bluetooth 5.2 SoC supporting Bluetooth Low Energy, Bluetooth mesh and NFC [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.nordicsemi.com/Products/Low—power—short—rangewireless/nRF52832#infotabs>

11. Inertial Measurement Unit BMI088 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.bosch—sensortec.com/products/motionsensors/imus/bmi088/>

12. Pressure Sensor BMP390 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.bosch—sensortec.com/products/environmental—sensors/pressuresensors/bmp390/>
13. X—DREE DC 3V 200000RPM [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://www.amazon.ca/X—DREE—20000RPM—PropellerQuadcopterquadricopt%C3%A8re/dp/B096PGS8YZ/ref=sr_1_3?dchild=1&keywords=Spare+7x16+mm+coreless+DC+motor.&qid=1623410634&s=industrial&sr=1—3
14. Двигуни[Електронний ресурс] — Режим доступу: https://avisolutions.com/library/technologies/beskollektornyi_dvigatel_postoyannogo_toka/
15. Опори для двигунів[Електронний ресурс] — Режим доступу: https://www.electromaker.io/shop/product/crazyflie—20—4—x—spare—7—mmmotor—mounts_1
16. Slew Rate Controlled Load Switch [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ru.mouser.com/datasheet/2/427/sip32401a—1764311.pdf>
17. PulseLarsen Antennas W3340 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ru.mouser.com/ProductDetail/PulseLarsenAntennas/W3340?qs=l7cgNqFNU1hSX7uXLkMsda%3D%3D>
18. PMV31XN N—channel TrenchMOS FET [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://assets.nexperia.com/documents/datasheet/PMV31XN.pdf> 25. Skyworks products details [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.skyworksinc.com/en/Products/Front—endModules/RFX2411N#>
19. Anderson, C., & Gast, C. (2015). “Make: Getting Started with Drones: Build and Customize Your Own Quadcopter”. Maker Media, Inc.
20. Newcome, L. R. (2012). “Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles”. Pen & Sword Aviation.
21. McPhail, B., & Murphy, R. R. (2018). "The Evolution of First—Person View (FPV) Drone Racing and Freestyle." “IEEE Robotics & Automation Magazine”, 25(3), 20—29.

22. Sadler, A. (2020). "FPV Flight Dynamics: Mastering Acro Mode for FPV Quadcopter Drone Pilots". Independently Published.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

д.т.н., проф. О.Д. Азаров

“18” вересня 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

«Мікроконтролерна система дистанційного керування повітряним
FPV–дроном»

08–54.МКР.014.00.000 ПЗ

Науковий керівник к.т.н., доц., каф. ОТ

Крупельницький Л.В.

Магістрант групи 1КІ–23м

Підгорний М.М.

Вінниця 2024

1 Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

Підставою для розробки даної магістерської кваліфікаційної роботи є наказ ВНТУ № 310 від «17» 09 2024 року та рішення засідання кафедри обчислювальної техніки (протокол №__ від «____»__ 2024 року).

2 Мета і призначення МКР

2.1 Мета роботи — аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку зарубіжних і вітчизняних розробок у сфері автоматизованих систем керування дронами, оснащеними комп'ютерним зором, та створення програмно—апаратного комплексу для автоматичного супроводження ідентифікованих об'єктів з використанням алгоритмів обробки відеоданих у реальному часі.

2.2 Призначення розробки — система керування FPV—дроном із комп'ютерним зором призначена для автоматичного розпізнавання цільових об'єктів, їх супроводження, уникнення перешкод у динамічному середовищі, а також виконання завдань з моніторингу, розвідки та інспекції з точним визначенням положення і параметрів руху об'єктів.

3 Вихідні дані для виконання МКР

3.1 Проведення аналізу існуючих принципів і технологій дистанційного керування FPV—дронами, а також огляд сучасних систем з метою визначення їх сильних та слабких сторін і шляхів для вдосконалення.

3.2 Розробка структури та функціональної схеми мікроконтролерної системи з інтеграцією алгоритмів комп'ютерного зору, які забезпечують автоматичне виявлення та супроводження цільових об'єктів.

3.3 Впровадження технологій автоматичного донаведення дрона на цільові об'єкти шляхом аналізу зображень у реальному часі, включаючи створення алгоритмів обробки даних із камер та коригування маршруту польоту.

3.4 Розробка алгоритмів для підвищення точності обробки відеоінформації, оптимізації процесів розпізнавання та класифікації об'єктів, а також забезпечення стабільності роботи системи у складних умовах експлуатації.

3.5 Проведення тестування системи у реальних умовах експлуатації, включаючи оцінку точності супроводження об'єктів, ефективності уникнення перешкод, а також визначення економічної та технічної доцільності розробки. Надання рекомендацій щодо вдосконалення системи на основі результатів тестування.

4 Вимоги до виконання МКР

Головна вимога — використати, як основний, метод обробки даних із використанням алгоритмів комп'ютерного зору для автоматичного визначення та супроводження цільових об'єктів у режимі реального часу. Система повинна забезпечувати ефективну інтеграцію отриманих відеоданих із мікроконтролером для виконання завдань автономного керування дронами.

Реалізовані алгоритми повинні враховувати динамічні зміни положення об'єктів, змінні умови навколишнього середовища та забезпечувати точність супроводження.

Усі розробки мають відповідати вимогам енергозбереження, стабільності роботи та забезпечувати взаємодію з основними компонентами системи керування FPV—дроном.

5. Етапи МКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в таблиці А.1.

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	2	3	4	5
1	Огляд і аналіз джерел інформації	20.09.2024	04.10.2024	Розділ 1
2	Теоретичні дослідження технологій побудови та вибір засобів керування повітряним fpu дроном, пошук аналогів	05.10.2024	18.10.2024	Розділ 2
3	Обґрунтування та розробка прототипу fpu дрона, розробка моделі комп'ютерного зору	19.10.2024	01.11.2024	Розділ 3
4	Розробка і тестування прототипа	02.11.2024	16.11.2024	Розділ 4
5	Економічна частина	17.11.2024	25.11.2024	Розділ 5

6 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту подаються: пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, нормоконтроль про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

7 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора

8. Вимоги до оформлювання та порядок виконання МКР

8.1 При оформлювання МКР використовуються:

— ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— міждержавний ГОСТ 2.104—2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

— Методичні вказівки до виконання бакалаврських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» (освітня програма «Комп'ютерна інженерія»). Кафедра обчислювальної техніки ВНТУ 2022;

— документами на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ—03.02.02—П.001.01:21».

ДОДАТОК Б

Лістинг основного модулю Main

```

from ultralytics import YOLO
import cv2
import numpy as np
import skeleton
model = YOLO('yolov8n.pt')
colors = [
    (255, 0, 0), (0, 255, 0), (0, 0, 255), (255, 255, 0), (0, 255, 255),
    (255, 0, 255), (192, 192, 192), (128, 128, 128), (128, 0, 0), (128, 128, 0),
    (0, 128, 0), (128, 0, 128), (0, 128, 128), (0, 0, 128), (72, 61, 139),
    (47, 79, 79), (47, 79, 47), (0, 206, 209), (148, 0, 211), (255, 20, 147)
]
input_video_path = 'input.mp4'
capture = cv2.VideoCapture(0)
fps = int(capture.get(cv2.CAP_PROP_FPS))
width = int(capture.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH))
height = int(capture.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT))
output_video_path = 'video/detect.mp4'
fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v')
writer = cv2.VideoWriter(output_video_path, fourcc, fps, (width, height))
while True:
    ret, frame = capture.read()
    if not ret:
        break
    results = model(frame)[0]
    classes_names = results.names
    classes = results.pred[0].cpu().numpy()
    boxes = results.pred[0].xyxy.cpu().numpy().astype(np.int32)
    for class_id, box, conf in zip(classes, boxes, results.pred[0].conf):

```

```

if conf>0.5:
    class_name = classes_names[int(class_id)]
    color = colors[int(class_id) % len(colors)]
    x1, y1, x2, y2 = box
    cv2.rectangle(frame, (x1, y1), (x2, y2), color, 2)
    cv2.putText(frame, class_name, (x1, y1 - 10),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, color, 2)
writer.write(skeleton.process_skeleton_image(frame))
capture.release()
writer.release()

```

ДОДАТОК В

Лістинг допоміжного модулю skeleton

```

from ultralytics import YOLO
import cv2
import numpy as np
import os
skeleton_model = YOLO('yolov8n-pose.pt')
colors = {
    'white': (255, 255, 255),
    'red': (0, 0, 255),
    'blue': (255, 0, 0)
}
def draw_skeleton(image, keypoints, confs, pairs, color):
    for (start, end) in pairs:
        if confs[start] > 0.5 and confs[end] > 0.5:
            x1, y1 = int(keypoints[start][0]), int(keypoints[start][1])
            x2, y2 = int(keypoints[end][0]), int(keypoints[end][1])
            if (x1, y1) != (0, 0) and (x2, y2) != (0, 0):
                cv2.line(image, (x1, y1), (x2, y2), color, 2)
def process_skeleton_image(frame):
    image = frame
    if image is None:
        print("Error, can't download frame")
        return
    results = skeleton_model(image)[0]
    if hasattr(results, 'boxes') and hasattr(results.boxes, 'cls') and len(results.boxes.cls) > 0:
        classes_names = results.names
        classes = results.boxes.cls.cpu().numpy()
        boxes = results.boxes.xyxy.cpu().numpy().astype(np.int32)

```

```

if results.keypoints:
    keypoints = results.keypoints.data.cpu().numpy()
    confs = results.keypoints.conf.cpu().numpy()
    for i, (class_id, box, kp, conf) in enumerate(zip(classes, boxes, keypoints, confs)):
        draw_box = False
        if draw_box:
            class_name = classes_names[int(class_id)]
            color = colors['white']
            x1, y1, x2, y2 = box
            cv2.rectangle(image, (x1, y1), (x2, y2), color, 2)
            cv2.putText(image, class_name, (x1, y1 - 10),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, color, 2)
            for j, (point, point_conf) in enumerate(zip(kp, conf)):
                if point_conf > 0.5: # Фильтрация по уверенности
                    x, y = int(point[0]), int(point[1])
                    if (x, y) != (0, 0): # Игнорирование точек в (0, 0)
                        cv2.circle(image, (x, y), 5, colors['blue'], -1)
                        cv2.putText(image, str(j), (x + 5, y - 5),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, colors['blue'], 2)
                    draw_skeleton(image, kp, conf, [(5, 7), (7, 9), (6, 8), (8, 10)], colors['white'])
                    draw_skeleton(image, kp, conf, [(11, 13), (13, 15), (12, 14), (14, 16)],
colors['red'])
                    draw_skeleton(image, kp, conf, [(5, 11), (6, 12)], colors['blue'])

```

ДОДАТОК Г

Лістинг допоміжного модулю rule_generator

```

import cv2
import numpy as np
from ultralytics import YOLO

class DroneControlSystem:
    def __init__(self, model_path):
        self.model = YOLO(model_path)
        self.frame_center = None

    def process_image(self, image):
        height, width, _ = image.shape
        self.frame_center = (width // 2, height // 2)
        results = self.model.predict(image)
        predictions = results[0].boxes
        if len(predictions) > 0:
            best_object = predictions[0]
            object_center = self.get_object_center(best_object)
            return object_center, best_object.confidence
        return None, None

    def get_object_center(self, box):
        x_min, y_min, x_max, y_max = box.xyxy[0]
        x_center = int((x_min + x_max) / 2)
        y_center = int((y_min + y_max) / 2)
        return x_center, y_center

    def generate_instructions(self, object_center):
        if object_center is None:
            return "Object not detected, hover in place."
        x_diff = object_center[0] - self.frame_center[0]
        y_diff = object_center[1] - self.frame_center[1]

```

```

instructions = []
if abs(x_diff) > 50: # Зміщення по осі X
    if x_diff > 0:
        instructions.append("Move right.")
    else:
        instructions.append("Move left.")
if abs(y_diff) > 50: # Зміщення по осі Y
    if y_diff > 0:
        instructions.append("Move down.")
    else:
        instructions.append("Move up.")
if not instructions:
    instructions.append("Object centered, maintain position.")
return " ".join(instructions)

model_path = "yolov8n.pt"
control_system = DroneControlSystem(model_path)
cap = cv2.VideoCapture(0)
while True:
    ret, frame = cap.read()
    if not ret: break
    object_center, confidence = control_system.process_image(frame)
    instructions = control_system.generate_instructions(object_center)
    print(f"Instructions: {instructions} | Confidence: {confidence}")
    if object_center:
        cv2.circle(frame, object_center, 10, (0, 255, 0), -1)
    cv2.imshow("Drone View", frame)
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'): break
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

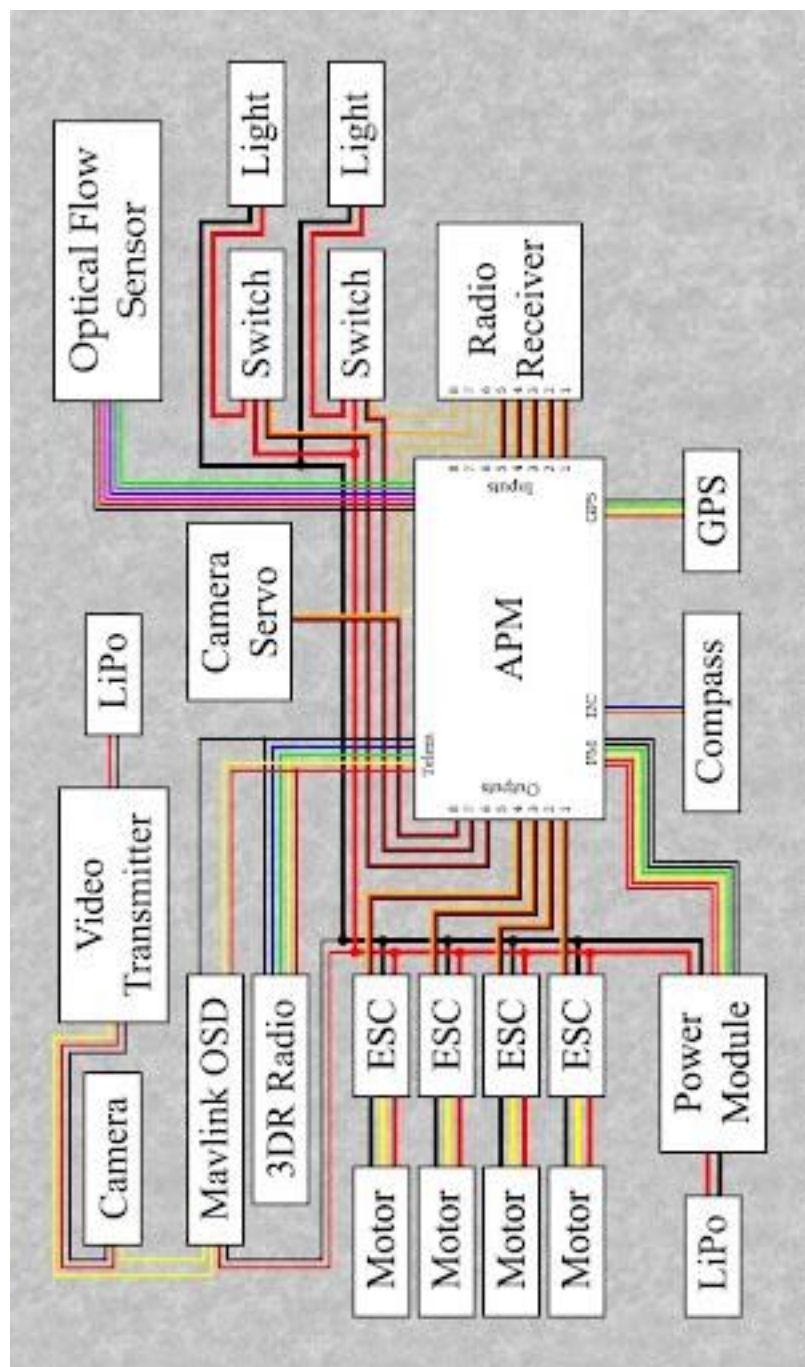
ДОДАТОК Д

Діаграма алгоритму роботи автономного керування FPV—дроном



ДОДАТОК Е

Схема підключення компонентів FPV—дроном



ДОДАТОК Ж

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Мікроконтролерна система дистанційного керування повітряним FPV-дроном

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра обчислювальної техніки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 90% Схожість 10%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____ Захарченко С.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи _____ Підгорний М.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Крупельницький Л.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)