

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри автоматики та
телекомунікацій

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

«___» _____ 2023 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БПЛА ПІД ЧАС ВТРАТИ З'ЄДНАННЯ З
ПЛОТОМ»

Виконав студент 2 курсу, групи СУАм-22
(шифр групи)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Блазаренас Іван Віталійович

_____ (Прізвище, Ім'я та По-батькові)

_____ (підпис)

Керівник доцент кафедри АТ, к.т.н.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

Ганна ТЕЛИЧКО
(підпис)

Рецензент доцент кафедри ЕТ, к.т.н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

Олександр ШТЕПА
(підпис)

Рецензент зав.каф ЕЛІН, к.т.н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

Олександр КОЛЛАРОВ
(підпис)

Нормоконтроль:

Дар'я ЖУКОВСЬКА

19.12.2023 р.

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2023 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
 (повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
 (повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
 (дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
 (підпис)

Випускна кваліфікаційна робота _____ магістра

Тема: «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО
 КЕРУВАННЯ БПЛА ПІД ЧАС ВТРАТИ З'ЄДНАННЯ З ПІЛОТОМ»

Спецчастина: «ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ АВТОНОМНОГО
 ПОЛЬОТУ ДРОНА, СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ
 МАШИННЕ НАВЧАННЯ ДЛЯ УХВАЛЕННЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ
 ВІДСУТНОСТІ ЗВ'ЯЗКУ З ОПЕРАТОРОМ»

Виконавець, студент

гр. СУАм-22

Іван БЛАЗАРЕНАС

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Ганна ТЕЛИЧКО

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Валерій ПОЦЕПАЄВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Вікторія ВОРОПАЄВА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Луцьк – 2023 р.

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Автоматика та телекомунікації

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
(шифр і назва)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри АТ

« » _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Блазаренас Іван Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БПЛА ПІД ЧАС ВТРАТИ З'ЄДНАННЯ З
ПІЛОТОМ

керівник проекту (роботи) Теличко Ганна Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.09.2023 року № 478

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Визначення критеріїв ефективності та безпеки в автономних системах керування; Рекомендації щодо вдосконалення розробленої системи

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Блок-схема рішення; ілюстрації методів фільтрації зображень; діаграма
результатів; компонентна мапа пристрою

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Теличко Г.О., к.т.н., доцент		
2	Поцепаєв В.В., к.т.н, доцент		
3	Воропаєва В.В., к.т.н., доцент		
Нормо-контроль	Жуковська Д.О., асистент	-	19.12.2023 р.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд об'єкту, як системи. Аналітичний розгляд використаних рішень автопілотування	5.11.2023	
2	Огляд потрібних середовищ й досліджень	29.11.2023	
3	Розробка імітаційної моделі	14.12.2023	
4	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві	10.12.2023	
5	Код програми	16.12.2023	

Студент

_____ (підпис)

Блазаренас І.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Теличко Г.О.

_____ (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Блазаренас Іван Віталійович «Дослідження та модернізація системи автоматичного керування БПЛА під час втрати з'єднання з пілотом»/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2023.

Пояснювальна записка: 86 стор., 42 рис., 10 табл., 25 посилань.

Об'єктом дослідження є системи управління безпілотним літальним апаратом (БПЛА) в умовах втрати з'єднання.

Мета роботи – аналіз, оптимізація та модернізація системи автоматичного керування БПЛА з метою підвищення надійності та ефективності в умовах втрати з'єднання з пілотом.

У процесі проектування розглядались ключові аспекти модернізації систем управління БПЛА, зокрема вдосконалення алгоритмів автономності та резервних механізмів. Основна увага приділялась розробці та впровадженню систем, які дозволяють БПЛА виявляти та реагувати на ситуації в разі втрати зв'язку з оператором. Результати цього дослідження можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем автоматичного управління БПЛА в різних областях застосування.

Ключові слова: БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ, АВТОНОМНЕ УПРАВЛІННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.

Перелік публікацій: Автоматизація із застосуванням штучного інтелекту у створенні чат-бота за стандартами Industry 4.0 / Г.О. Теличко, І.В. Блазаренас, Д.О. Седов // Науковий вісник ДонНТУ/ – 2022. –№ 1(8)-2(9). – С. 20-29

Модернізація системи автоматичного керування БПЛА під час втрати з'єднання з оператором/ Блазаренас І.В, Теличко Г.О.// Всеукраїнський науково-практичний форум «ТАК2023»: телекомунікації, автоматизація, комп'ютерно-інформаційні технології, 5-6 грудня 2023 р.: збірка доповідей. – ДВНЗ «ДонНТУ», м. Луцьк, 2023. – С. 144 – 147.

ABSTRACT

Blazarenas Ivan Vitaliiiovych "Research and upgrade of the UAV's automatic control system in case of loss of connection with the pilot" / Final qualification work for the degree of Master's degree in speciality 151 Automation and computer-integrated technologies." - SHEI "DonNTU", Lutsk, 2023.

Explanatory note: 86 pages, 42 figures, 10 tables, 25 references.

The object of study is the control system of an unmanned aerial vehicle (UAV) in conditions of loss of connection.

The purpose of the study is to analyse, optimise and upgrade the UAV's automatic control system in order to improve reliability and efficiency in the event of a loss of connection with the pilot.

The design process considered key aspects of modernising UAV control systems, including improving autonomy algorithms and backup mechanisms. The main focus was on the development and implementation of systems that allow UAVs to detect and respond to situations in case of loss of communication with the operator. The results of this study can be used to further improve UAV automatic control systems in various applications.

Keywords: UNMANNED AERIAL VEHICLES, AUTONOMOUS CONTROL, MODERNISATION OF THE CONTROL SYSTEM.

Publisher publication list:

Automation with the use of artificial intelligence in the creation of a chatbot according to Industry 4.0 standards / H.O. Telychko, I.V. Blazarenas, D.O. Sedov // Scientific Bulletin of DonNTU - 2022. - P. 20-29.

Modernisation of the UAV automatic control system during the loss of connection with the operator / Blazarenas I.V., Telychko H.O. // All-Ukrainian Scientific and Practical Forum "TAK2023": Telecommunications, Automation, Computer and Information Technologies, December 5-6, 2023: collection of reports - SHEI "DonNTU", Lutsk, 2023. - P.144-147.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД ОБ'ЄКТУ, ЯК СИСТЕМИ. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗГЛЯД ВИКОРИСТАНИХ РІШЕНЬ АВТОПІЛОТУВАННЯ БПЛА.....	11
1.1 Історія виникнення БПЛА.....	12
1.2 Компонентна карта пристрою	13
1.3 Методи автопілотування та їх порівняння	16
1.4 Актуальність проблеми	18
1.5 Актуальні методи автопілотування	21
Висновки до розділу 1.....	21
2 ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИБІР МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ КЕРУВАННЯ БПЛА ПІД ЧАС ВТРАТИ З'ЄДНАННЯ З ПІЛОТОМ.....	23
2.1 Математична модель	23
2.2 Методи фільтрації зображення	30
2.3 Передача й отримання даних. Шифрування.....	39
2.4 Застосування Ієрархічного методу для управління системами.....	49
2.5 Технології моделювання задач	53
Висновки до розділу 2.....	55
3 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БПЛА ПІД ЧАС ВТРАТИ З'ЄДНАННЯ З ПІЛОТОМ.....	57
3.1 Розробка алгоритму автоматичного керування БПЛА під час втрати з'єднання з пілотом	57
3.2 Ієрархічна модель системи автоматичного керування БПЛА під час втрати з'єднання з пілотом	65
Висновки до розділу 3.....	73
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві.....	80
ДОДАТОК Б – Код програми	83

ВСТУП

Спочатку безпілотні літальні пристрої були розроблені для військових цілей. Пізніше їх застосування як універсальних засобів для зондування і перевезення корисних вантажів стало широко поширеним у цивільній сфері. У магістерській роботі розглядаються аспекти використання дронів і пов'язаних з ними технологій. Ці аспекти охоплюють питання, пов'язані з передачею технологій, асоційованих з безпілотними літальними пристроями, з військової сфери в цивільну.

Безпілотні літальні апарати, більш відомі як дрони, охоплюють сучасне середовище, як загадкові фанти, проявляючи себе у різноманітних сферах. Ці сфери охоплюють фінанси, торгівлю, розваги, і освіту, кожна з яких оповита унікальною ауру небажності.

Протягом попереднього десятиліття сфера безпілотників, перебувала у стані постійного й технологічного руху, що перетворило її на сектор для злиття різних технологій. Ступінь його зростання є символічною реакцією на переважаючі технологічні тенденції і обумовлена швидкою еволюцією механізмів управління, процесами мініатюризації і революцією в автоматизації. Кульмінацією цього еволюційного континууму стало створення безпілотних літальних апаратів, які характеризуються підвищеною безпекою, зменшеною вагою, підвищеною надійністю і більшою економічною доступністю. Ці повітряні дива мають приховані можливості, полегшуючи доступ до постраждалих від стихійних лих регіонів, демонструючи маневреність, здійснюючи повітряні вилазки та несучи багатофункціональне корисне навантаження.

Основна роль в управлінні більшістю операцій лежить на операторі. Цілком природно, що численні непорозуміння можуть мати вкрай серйозні наслідки, такі як втрата об'єкта управління, його несправність або, що ще гірше, аварія. На поточний момент немає загальноприйнятого методу, який був би здатний повністю виключити вплив людського фактора в такій системі

управління. Впровадження інтелектуальних алгоритмів могло б істотно підвищити автономність такої системи і знизити ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій.

Крім того, варто врахувати, що впровадження інтелектуальних компонентів вимагає значних обчислювальних ресурсів об'єкта управління, що може впливати й мати вимогу на значні додаткові ресурси, яких, можливо, може не вистачити для забезпечення нормальної роботи всієї системи управління. Тому за таких обставин важливо знайти баланс між рівнем інтелектуалізації та можливостями керуючого ядра системи управління.

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, 25 посилань на використану літературу, 30 рисунків, 10 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 86 сторінок.

1 ОГЛЯД ОБ'ЄКТУ, ЯК СИСТЕМИ. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗГЛЯД ВИКОРИСТАНИХ РІШЕНЬ АВТОПІЛОТУВАННЯ БПЛА

1.1 Історія виникнення БПЛА

Безпілотні літальні апарати, часто іменовані як БПЛА, являють собою апарати, які не мають людського екіпажу на борту. Це є єдиним однозначним визначенням у контексті дронів, незважаючи на їхню відносну новизну і різноманіття характеристик. Попередником дронів заведено вважати повітряні кулі та повітряного змія, цілі застосування багато в чому схожі і з сьогоднішніми завданнями, які виконують сучасні БПЛА [1]. Крім розважальних цілей повітряні прототипи використовували для розвідки, передавання інформації, а також для підйому солдатів у повітря. У першій половині 19 століття повітряні змії і повітряні кулі все частіше використовували для наукових експериментів і спостереження. Початок еволюції дронів прийшов на початок 20 століття з появою дистанційно керованих і автономних літальних апаратів. Незважаючи на цей прогрес, дронам потрібен був час, щоб отримати широке визнання і знайти своє місце в сучасному суспільстві. На рис. 1.1 наведено порівняння поколінь.



Повітряний змій

Були винайдені в Китаї близько 1000 р. до н.е.

За часів династії Сун (960-1279) повітряних зміїв використовували у військових цілях для подачі сигналів, розвідки і навіть для підйому солдатів у повітря.



БПЛА

Перша модель, схожа на сучасний дрон, була створена у 1917 році.

Сфера застосування зростає з кожним днем. Великі компанії логістики впроваджують у доставку БПЛА

Рисунок 1.1 – Зіставлення прототипів XI і XX століття

1.2 Компонентна карта пристрою

Ці ранні починання поклали фундамент для різноманітного світу безпілотних апаратів, що безперервно розширюється і який ми спостерігаємо в наш час. Починаючи з повітряних куль і закінчуючи літаками з дистанційним управлінням і автономними машинами.

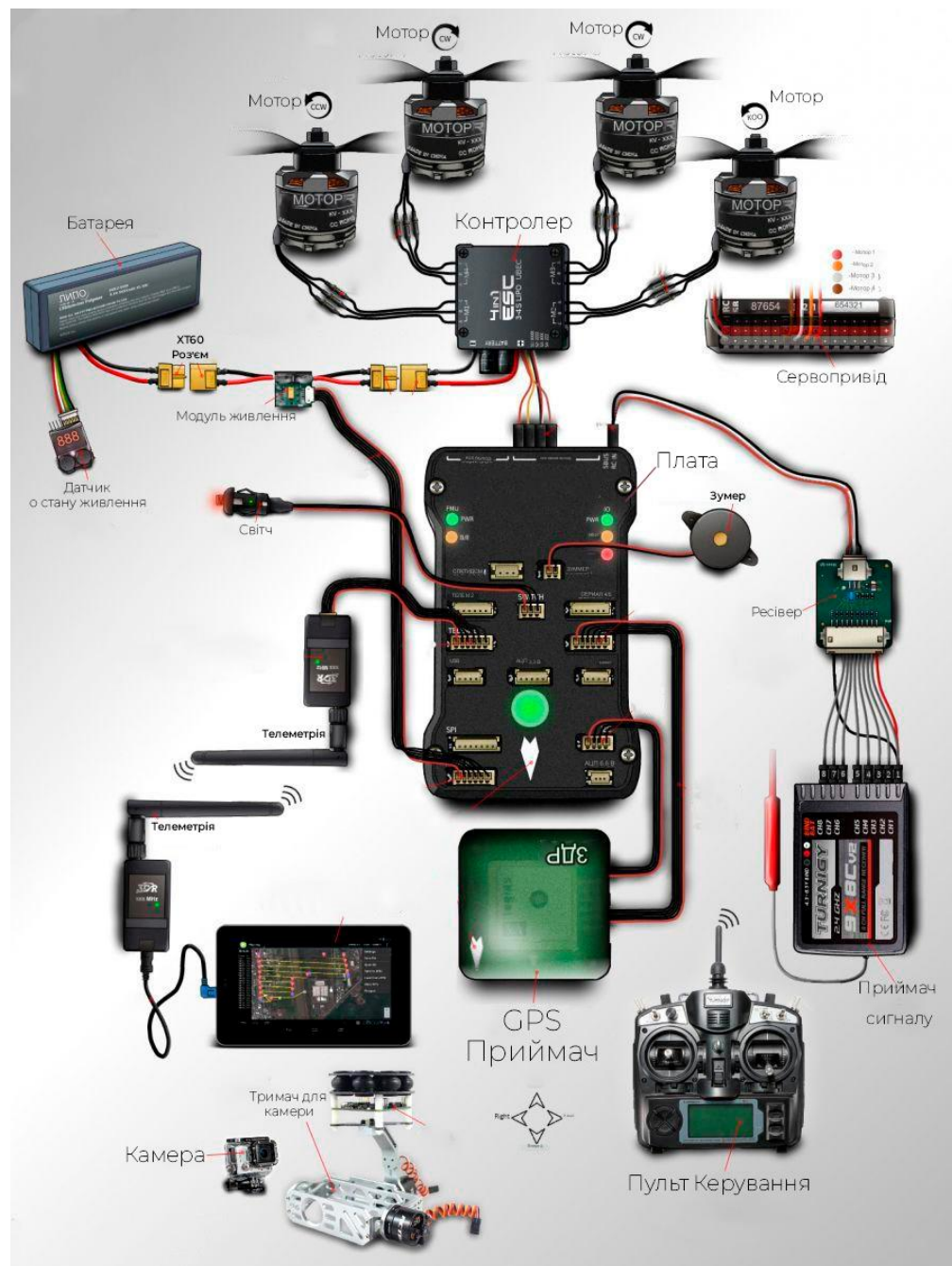


Рисунок 1.2 – Схематичне з'єднання компонентів

Звідки взялося повітряне та технологічне диво авіації? Кожне нове століття відображалось у розробці літальних апаратів, прокладаючи шлях від перших спроб до сучасних досягнень. Перші кроки в цьому напрямку були пов'язані з використанням радіочастотних хвиль. У початку 20 століття з'явився перший прототип, керований за допомогою радіохвиль [1]. Що ж до сьогодні, безпілотні літальні апарати (БПЛА) мають можливість віддаленого управління на вражаючі відстані, перевищуючи показник у 15 кілометрів. Нижче представлені основні компоненти класичного коптера, що стали невід'ємною частиною цього виняткового технологічного досягнення.

На рис. 1.2 наведено мапа компонентів й схема з'єднання. У таблиці 1.1 представлений опис компонентів.

Таблиця 1.1 Опис компонентів дрону

Компонент	Для чого потрібен
Батарея	Підтримка живлення
Мотор	Мотор генерує підтримуючу силу, необхідну для підтримки дрона в повітрі. Пропелери дають змогу дрону маневрувати і змінювати своє положення. Пропелери також відіграють ключову роль в управлінні висотою і стабілізації польоту, роблячи дрон більш стійким.
Контролер	Використовується для керування польотом, зміни напрямку, регулювання висоти, активації камери та виконання інших функцій. Контролер є інтерфейсом між людиною і дроном, забезпечуючи оперативне і точне керування.
Сервопривід	Використовується для управління кутом нахилу або поворотом камери. Це дає змогу дрону знімати відео та фотографії під різними кутами без зміни польотної траєкторії.
Датчик стану живлення	Надає інформацію про стан заряду акумулятора, що дає змогу контролювати тривалість польоту
Світч	Потрібен для увімкнення та вимкнення пристрою
Плата	Є центральним пристроєм, на якому розташовуються і взаємодіють інші компоненти дрона, як-от контролер, акумулятор, датчики і мотори. Плата виконує функцію управління і координації всіх систем дрона, забезпечуючи його стабільність і працездатність.
Зумер	Використовується для створення звукових сигналів і сигналізації про різні події, як-от початок і завершення польоту, попередження та повідомлення про стан дрона.
Ресівер	Призначений для приймання радіосигналів від пульта дистанційного керування (передавача), даючи змогу операторові керувати дроном за допомогою радіосигналів, зокрема керувати рухом, напрямком та іншими функціями польоту.

Продовження. Таблиця 1.1

Компонент	Для чого потрібен
Камера	Потрібна для візуальної складової та відеозапису, що дає змогу дрону виконувати безліч завдань, як-от фотографування, відеозйомка, спостереження, картографування та інші візуальні завдання.
Тримач камери	Потрібен для утримання і стабілізації камери під час польоту
Модуль живлення	Призначений для забезпечення електроенергією різних компонентів дрона, включно з моторами, електронікою і камерами. Він конвертує енергію з акумулятора і розподіляє її по всій системі, забезпечуючи нормальну роботу дрона.
Приймач сигналу	Необхідний для приймання команд і керуючих сигналів від дистанційного пульта
Пульт керування	Є інтерфейсом між оператором і дроном, даючи змогу операторові керувати польотом, змінювати напрямок, регулювати висоту й активувати різні функції, як-от фотографування або відеозапис. Це ключовий пристрій для управління дроном у реальному часі.
GPS приймач	Використовується для визначення точних координат і місця розташування дрона.
Телеметрія	Надає важливу інформацію про стан і параметри дрона в реальному часі, такі як висота, швидкість, напруга батареї та інші дані. Це дає змогу оператору більш ефективно керувати дроном, стежити за його роботою та забезпечувати безпеку польоту.

Сьогодні, у суспільстві БПЛА може асоціюватися з невеликими іграшковими вертольотами, які можуть підніматися у повітря під час керування оператором через джойстик. Проте, реальне різноманіття і характеристики БПЛА набагато різноманітніші.

Сфера застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) вельми широка, охоплюючи різноманітні галузі, такі як військова, аграрна, логістична, медична, наукова, кіноіндустрія, а також часто застосовуються в розважальних цілях.

Застосування дронів в нашій країні грає значну роль у досягненні економічних, логістичних і військових цілей. Завдяки іноземним прототипам, можливості та призначення дронів тільки збільшуються. З кожним днем операторів БПЛА стає більше, тим самим збільшуються і потреби в кількості пристроїв. Кількість поставок від партнерів може не збігатися з необхідною кількістю, для того, щоб мати постійну перевагу, кількість втрат дронів має бути

знижена до максимально можливого, за винятком ударних БПЛА. На рис. 1.3 представлено опис зображень за сферою використання.



Рисунок 1.3 – Порівняння цивільних та військових дронів

1.3 Методи автопілотування та їх порівняння

Сигнали, що беруть участь у передачі інформації між БПЛА і пультом управління, передаються за допомогою електромагнітних хвиль. Ці хвилі мають кінцеву швидкість поширення, що становить $2,9979 \times 10^8$ м/с [6]. У мідних і скловолоконних кабелях швидкість дорівнює зазвичай близько $2/3$ цієї швидкості.

Через кінцеву швидкість затримка виникає в будь-якій передачі, залежно від відстані між передавачем і приймачем і маршрутом, яким слідують сигнали.

Якби хвилі могли повзти по всій поверхні землі, шлях туди і назад зайняв би близько 132 мс. Поширення хвиль, які використовуються для радіо- і телесигналів (у діапазоні КВ, УКХ і частини діапазону УВЧ), зазвичай ділять на

три типи: поширення земної хвилі, просторова хвиля поширення і поширення космічних хвиль.

Перша категорія найбільш близька до "повзучого" типу поширення. Головним чином за допомогою дифракції, хвилі слідують за контуром землі і таким чином проходять за межі зорового горизонту. Однак через взаємодію з поверхневими елементами потужність сигналу послаблюється, і виняток виникає, коли присутня температурна інверсія представлено на рис. 1.4. У цьому разі діапазон розширюється на кілька сотень кілометрів, іноді у вісім разів більше дальності видимості.

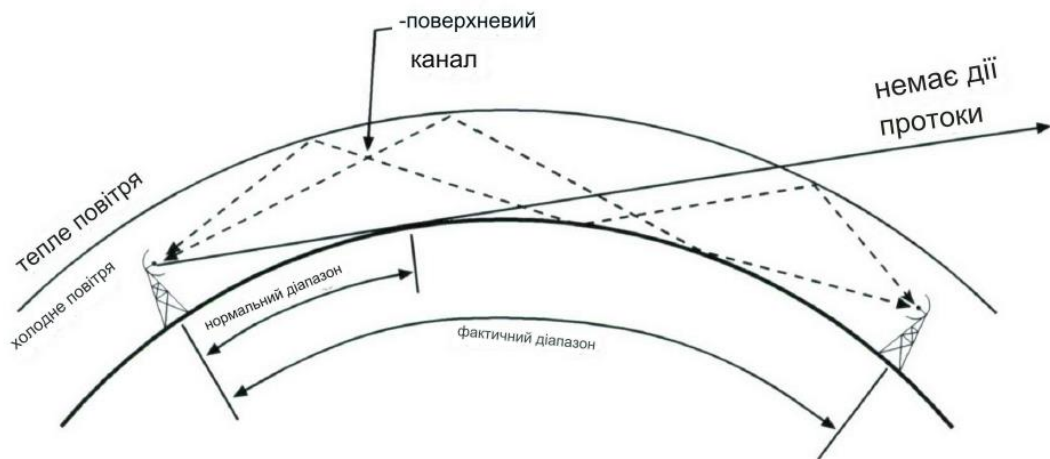


Рисунок 1.4 – Вплив температурної інверсії на поширення хвилі

У небі - поширення хвиль: сигнали залишають поверхню землі і заломлюються деякі шари іоносфери, представлено на рис. 1.5. В іоносфері є щонайменше чотири шарів на день, так звані шари D, E, F1 і F2. Вночі шари D і E менш впливаючі, а шари F1 і F2 зіллються в один шар F. Для заломлення шар F, при 150.

Найбільше значення має висота 400 км над поверхнею землі.

Заломлення в іоносфері залежить від частоти хвиль і відкут падіння. За межами критичного кута і частоти хвилі не заломлюються.

Зазвичай, існує розрив між областями, до яких можуть дістатися наземні хвилі, і небо коливається [2]. Ці області, звані зонами пропуску, можуть складатися із сотень кілометрів у довжину.

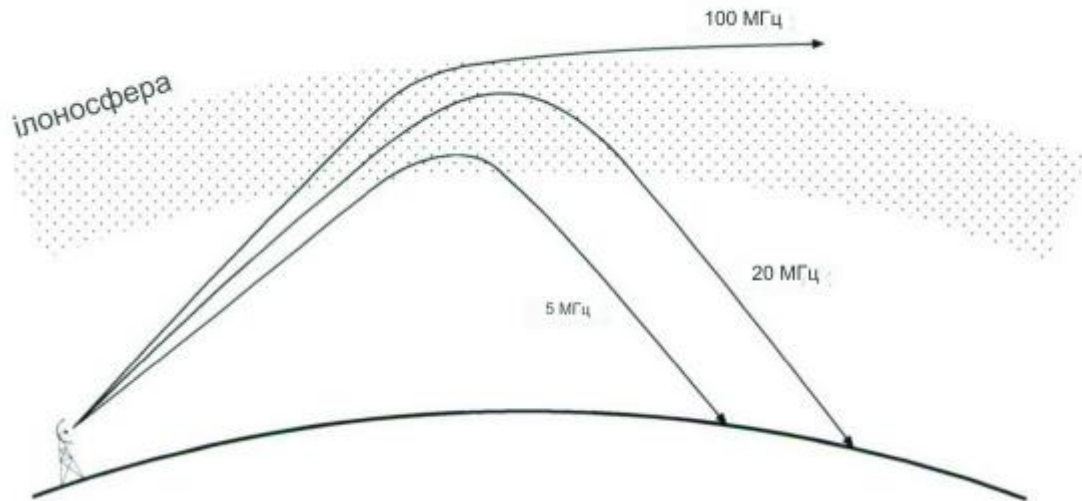


Рисунок 1.5 – Відбиття електромагнітних хвиль від іоносфери

1.4 Актуальність проблеми

Погіршення і втрата сигналу з дроном може мати серйозні наслідки і становити ризики для безпеки, польоту і втрати обладнання.

Втрата управління - коли сигнал між дроном і пультом управління обривається, оператор втрачає можливість керувати дроном. Це може призвести до того, що дрон продовжить рух за останньою відомою траєкторією, що може бути небезпечно, якщо він наближається до перешкод, будівель або інших небажаних місць.

Втрата дрона - У разі, якщо дрон йде за межі радіусу дії дистанційного керування або губиться в невідомій місцевості, існує ризик повної втрати дрона. Це не тільки може спричинити фінансові збитки, але також втрату цінних даних, якщо на борту була камера із записаним матеріалом.

Втрата сигналу може створити небезпечні ситуації, особливо якщо дрон перебуває поблизу людей, житлових зон, повітряного трафіку або інших

чутливих областей. Дрон може непередбачувано рухатися або впасти, становлячи небезпеку для оточуючих.

Провал завдання: Якщо дрон був задіяний у певній місії або завданні, втрата сигналу може спричинити невдачу виконання завдання. Наприклад, при картографуванні або пошуку і порятунку, це може призвести до неповноти даних і неефективності місії.

Фінансові втрати: Дрони та їхнє обладнання зазвичай не дешеві. Втрата дрона і пов'язаного обладнання може бути значною фінансовою втратою.

Оскільки положення і розмір зони пропуску варіюються залежно від часу доби, сезону і сили сонячних променів для надійного з'єднання GCS з БПЛА. Таким чином, затримка і втрата сигналу є частою проблемою в управлінні БПЛА.

1.5 Актуальні методи автопілотування

На сьогоднішній день традиційно методами автопілотування виступають: Зумовленого маршруту (БПЛА може бути запрограмований на виконання певного маршруту заздалегідь. Цей метод часто використовується в цивільній авіації та аграрній галузі для моніторингу та спостереження над певними територіями);

Віддалене управління: Оператор керує БПЛА за допомогою радіокерованого пульта або комп'ютерного інтерфейсу. Цей метод часто використовують у військових і розвідувальних цілях, а також для виконання складних маневрів і операцій;

Автономне управління: БПЛА обладнані датчиками і системами штучного інтелекту, які дають їм змогу ухвалювати рішення на основі зібраної інформації. Вони здатні виконати завдання, як-от навігація, уникнення перешкод і проходження заданим маршрутом без безперервного управління оператора;

Рой безпілотних літальних апаратів: Цей метод управління передбачає роботу кількох БПЛА як єдиної системи, імітуючи поведінку рою. Безпілотники в рої можуть координувати свої дії, обмінюючись інформацією, і виконувати

складні завдання колективно. В останні кілька років помітне зростання робіт, присвячених груповому управлінню автономними літальними апаратами, в яких акцент зроблено на застосуванні альтернативних методів управління);

Штучні нейронні мережі: БПЛА можуть бути навчені з використанням нейронних мереж для виконання конкретних завдань, як-от розпізнавання об'єктів, навігація в умовах обмеженої видимості або виконання маневрів у реальному часі;

Оптимізація алгоритмами: Алгоритми оптимізації, такі як генетичні алгоритми або методи стохастичної оптимізації, можна використовувати для ухвалення рішень про маршрут, швидкість та інші параметри польоту, щоб досягти оптимальних результатів.

Змішані методи: Часто застосовуються змішані методи управління, які комбінують зумовлені маршрути з можливістю коригування в режимі реального часу оператором або автономними системами.

У табл. 1.2 представлені актуальні методи автопілотування БПЛА

Таблиця 1.2 Порівняння методів автопілотування

Тип методу	Принцип дії	Переваги	Недоліки
Визначений маршрут (Waypoint Navigation)	Передбачає заздалегідь заданий маршрут, який БПЛА дотримується автоматично. Оператор програмує точки (waypoints) на карті, і БПЛА автоматично летить до кожної з них, виконуючи задані дії, як-от фотозйомка або спостереження.	Безпека; Ефективність; Автоматизація; Застосовність у різних галузях	Обчислювальна складність; Обмежена інформація; Помилкові спрацювання; Обмеженість у складних ситуаціях; Ефективність і точність
Уникнення перешкод	Багато сучасних БПЛА обладнано датчиками і системами штучного інтелекту, які дають їм змогу виявляти й уникати перешкод у реальному часі. Це дає їм змогу безпечно маневрувати в складних умовах.	Безпека; Ефективність; Автоматизація; Застосовність у різних галузях	Обчислювальна складність; Обмежена інформація; Помилкові спрацювання; Обмеженість у складних ситуаціях

Продовження. Таблиця 1.2

Слідування за об'єктом	Деякі БПЛА можуть бути налаштовані на слідування за рухомим об'єктом. Вони використовують системи комп'ютерного зору або інші датчики для визначення положення і руху об'єкта і автоматично підтримують його в кадрі.	Точне слідування; Застосовність у різних галузях;	Обмежена автономність; Залежність від об'єкта; Обмеженість у висоті та швидкості; Неефективність у деяких сценаріях; Вимоги до обладнання; Уникнення перешкод
Автономне вирішення завдань	БПЛА обладнані обчислювальною потужністю і штучним інтелектом, які дають їм змогу ухвалювати рішення й адаптуватися до мінливих ситуацій. Вони можуть виконувати завдання, такі як пошук і порятунок, без участі оператора.	Висока автономія; Ефективність і точність: Робота в небезпечних умовах	Обмежена здатність адаптації; Обмежена поінформованість
Рій безпілотних літальних апаратів	Цей метод управління передбачає роботу кількох БПЛА як єдиної системи, імітуючи поведінку рою. Безпілотники в рої можуть координувати свої дії, обмінюючись інформацією, і виконувати складні завдання колективно.	Висока автономія; Ефективність і точність; Зниження людського втручання;	Складність управління; Безпека; Пропускна здатність радіочастот; Складність програмування; Легіслативні та регуляторні обмеження; Складнощі в навчанні та обслуговуванні

1.6 Висновки за першим розділом

Історія дронів являє собою безперервний шлях технологічного розвитку, починаючи з перших експериментів на початку 20-го століття і завершуючи широким використанням у різних галузях сучасності. Дрони пройшли довгий шлях від військових застосувань до широкого спектру цивільних завдань, і їхнє майбутнє залишається вельми перспективним, надаючи нові можливості та виклики у сферах технології, науки та бізнесу. Незважаючи на великий потенціал, технічні реалії дають змогу керувати пристроєм на обмеженій відстані, зазвичай до 10 км. Втрата сигналу під час керування дроном є частою проблемою, яка може мати серйозні наслідки, включно з втратою контролю над апаратом, аваріями, потенційними загрозами безпеці та конфіденційності даних,

а також фінансовими збитками. Ця проблема підкреслює важливість розроблення надійних систем зв'язку і технічних засобів, а також дотримання суворих нормативних заходів для забезпечення безпечного та ефективного використання дронів у різних галузях. Найвірнішим рішенням є використання альтернативного джерела управління - автопілот. З усіх розглянутих способів управління були свої переваги, і недоліки в порівнянні один з одним.

Отже, мета роботи – аналіз, оптимізація та модернізація системи автоматичного керування БПЛА з метою підвищення надійності та ефективності в умовах втрати з'єднання з пілотом. Виділемо необхідні критерії використовуваного методу під час розроблення автоматичної системи керування:

1. Підвищення автономності

Ієрархічна система автопілотування на базі наявних методів дає змогу значно підвищити рівень автономності БПЛА. Це особливо важливо в умовах, коли оператори не можуть постійно контролювати кожен аспект польоту.

2 Ефективне керування в різноманітних сценаріях:

Розробка ієрархічної системи дає змогу створювати адаптивні та гнучкі автопілоти, здатні ефективно керувати БПЛА в різноманітних сценаріях. Вони можуть використовуватися як у цивільних, так і у військових завданнях.

3. Безпека польотів:

Ця система може інтегрувати методи уникнення перешкод, що підвищує безпеку польотів і знижує ризик зіткнень з об'єктами або іншими повітряними засобами.

4. Максимізація ефективності та продуктивності:

Ієрархічна система сприяє максимізації продуктивності БПЛА, що особливо актуально у сферах доставки, геодезії, моніторингу тощо.

5. Адаптація до нових технологічних рішень:

Така система може інтегрувати сучасні технології, як-от штучний інтелект, машинне навчання та нейромережі, що сприяє більш точному та швидкому ухваленню рішень.

6. Оптимізація використання ресурсів:

Ієрархічна система дає змогу оптимізувати використання ресурсів, таких як енергія і час, що особливо важливо для довгих місій і тривалих польотів.

7. Розвиток авіаційної та робототехнічної галузі:

Розробка такої системи сприяє розвитку авіаційної та робототехнічної галузей, створюючи нові можливості для інновацій та розвитку економіки.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИБІР МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ КЕРУВАННЯ БПЛА ПІД ЧАС ВТРАТИ З'ЄДНАННЯ З ПІЛОТОМ

2.1 Математична модель БПЛА

Безпілотні літальні апарати вертолітного типу часто прийнято вважати коптерами, представлен на рис. 2.1. Якщо коптер має чотири лопатсті, то його називають квадрокоптером. Якщо у нього шість лопастей, то це гексакоптер, а вісім - октокоптер і так далі. У цій статті ми розглянемо тип квадрокоптера.

Наявність чотирьох лопастей зберігає надійність керування, у разі виходу з ладу однієї лопасті, дрон здатний безпечно здійснити аварійну посадку.

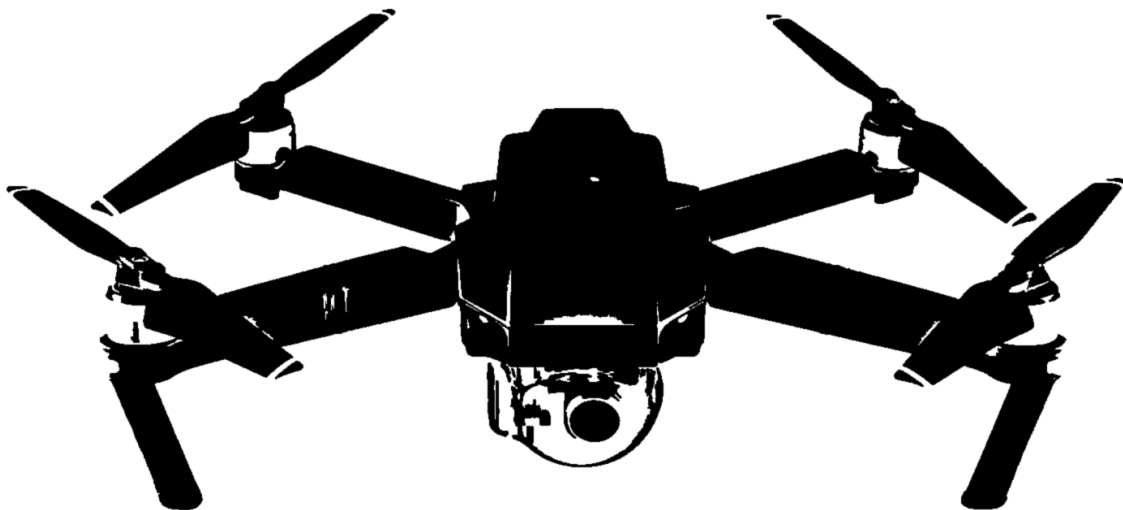


Рисунок 2.1 – Модель квадрокоптера

З огляду на це як на математичну модель, дрон можна уявити як систему диференціальних рівнянь, що описують його рух і функціонування. Ця модель містить у собі елементи керування, навігації, аеродинаміки, та обробки інформації. Модель управління дроном може бути представлена системою диференціальних рівнянь, які враховують параметри польоту, такі як кутова швидкість, прискорення і реакція на команди пілота.

Модель аеродинаміки містить рівняння, що описують взаємодію дрона з повітрям, з урахуванням параметрів.

Усі параметри об'єднуються в комплексну математичну систему, яка описує фізичні принципи та функціонування дрона в реальному часі, ґрунтуючись на внутрішніх і зовнішніх сенсорах. На рис. 2.2 відображено коптер відносно абсолютної системи координат.

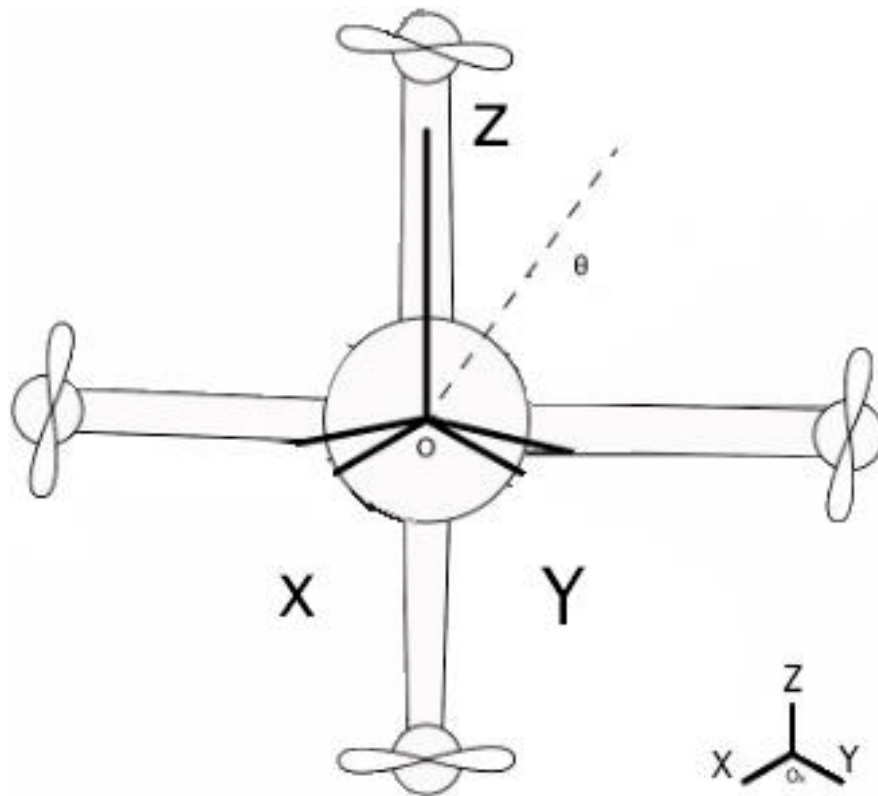


Рисунок 2.2 – Модель квадрокоптера в системі координат

Для побудови математичної моделі квадрокоптера розберемося з основними параметрами системи, у якій функціонуватиме БПЛА. На рис. 2.2 відображено коптер відносно абсолютної системи координат: абсолютної. Для правильної побудови, необхідно використовувати й інерціальну систему координат, пов'язану із землею. Позначимо вісь OX як $OXYZ$, а трійку $O_0X_0Y_0Z_0$. Осі OZ і O_0Z_0 спрямовані в бік протилежний силі тяжіння. Кожна лопать має кутову швидкість ω , будемо вважати, що парні лопаті обертаються за годинниковою стрілкою, а непарні, відповідно, проти годинникової. Для опису положення коптера нам необхідно розташовувати 3 точками. Щодо інерціальної

СКО отримаємо положення в просторі - x, y, z . Щодо пов'язаної системи координат коптера можна визначити кути крену, тангажу і рискання - φ, θ, ψ .

У такому разі оцінюватимемо вектори лінійної швидкості БПЛА - V , що відображають швидкість зміни положення в інерціальній СКЗ, і вектори кутової швидкості БПЛА - W , які природним чином визначають швидкість зміни положення БПЛА в абсолютній СКЗ.

$$V = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

де V – лінійна швидкість

$$W = \begin{bmatrix} \omega_\varphi \\ \omega_\Theta \\ \omega_\Upsilon \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Префікси позначають вісь, уздовж якої спрямована компонента вектора швидкості. Зауважимо, що лінійна швидкість V діє у відносній системі координат, тому нам необхідно скористатися матрицею переходу R .

$$R_\varphi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi) & \sin(\varphi) \\ 0 & -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

де R – матриця переходу

$$R_\Theta = \begin{bmatrix} \cos(\Theta) & 0 & -\sin(\Theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\Theta) & 0 & \cos(\Theta) \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$R_\Psi = \begin{bmatrix} \cos(\Psi) & \sin(\Psi) & 0 \\ -\sin(\Psi) & \cos(\Psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$R = R_{\varphi} R_{\Theta} R_{\Psi} \quad (2.6)$$

Зв'язок лінійної швидкості задається виразами (1.1) і (1.6), а для кутових швидкостей (1.2) и (1.6):

$$RV = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$RW = \begin{bmatrix} \varphi \\ \Theta \\ \Psi \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Другий закон Ньютона для БПЛА має вигляд:

$$F = m \frac{dv}{dt} \quad (2.9)$$

де F являє собою вектор сили, що діє на БПЛА, m - загальна маса апарата, включно з сумою центрального обладнання і лопатей групи:

$$m = m_c + 6m_v \quad (2.10)$$

Якщо підставити вектор швидкості (1.1) і кутову швидкість (1.2) до рівнянь системи БПЛА, то можна записати формули в системі апарата: Якщо використати вектор швидкості (1.1) і кутову швидкість (1.2) в рівняннях системи БПЛА, то можна виразити формули в системі апарата:

$$m\left(\frac{dv}{dt} + V \cdot W\right) = F \quad (2.11)$$

Преобразуємо в матричну форму (1.12):

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_\psi v_y - \omega_\Theta v_z \\ \omega_\psi v_z - \omega_\psi v_y \\ \omega_\Theta v_x - \omega_\psi v_x \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Оскільки наш об'єкт здатний обертатися під час польоту, ми можемо внести другий закон Ньютона для обертального руху:

$$\left(\frac{dL}{dt} + JW \cdot W\right) = M \quad (2.13)$$

де M являє собою сумарний момент обертання, L - кутовий момент, J - тензор інерції. Конструкція коптера є симетричною, осі інерції збігаються з осями СК БПЛА. Тоді тензор інерції матиме вигляд:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{2m_c R_c}{5} + 2l^2 m_v & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2m_c R_c}{5} + 2l^2 m_v & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2m_c R_c}{5} + 2l^2 m_v \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

де R представляє радіус центру, l - довжину плеча. Підставимо 2.14 у 2.15:

$$\begin{bmatrix} \omega_\varphi \\ \omega_\Theta \\ \omega_\Psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{J_y - J_z}{J_x} \omega_\Psi \omega_\Theta \\ \frac{J_z - J_x}{J_y} \omega_\varphi \omega_\Theta \\ \frac{J_x - J_y}{J_z} \omega_\varphi \omega_\Psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{J_x} \tau_\varphi \\ \frac{1}{J_y} \tau_\Theta \\ \frac{1}{J_z} \tau_\Psi \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Крім сили тяжіння, що діє на БПЛА, ми також маємо силу тяги, що діє на кожну лопать [5]. Вектор сили тяги спрямований протилежно вектору сили тяжіння, як видно з рівняння 1.3. Вектор являє собою перпендикуляр до абсолютної СКО, отже, можна зробити висновок, що компоненти кутів φ і θ - $F_\varphi = F_\theta = 0$. А компонент осі ψ сили тяги дорівнює:

$$F = \sum_{i=1}^8 b \omega_i^2 \quad (2.16)$$

де b аеродинамічна постійна. Функція рівняння показано як впливає на рух пропелерів на рис. 2.3.

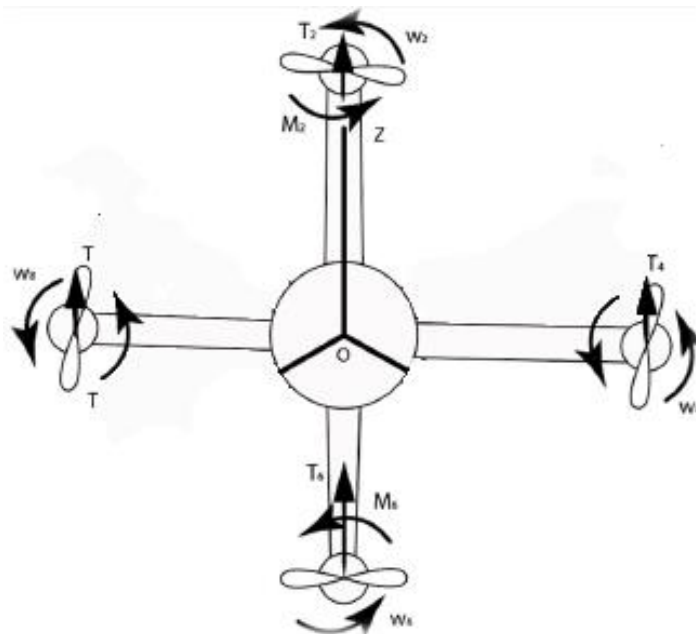


Рисунок 2.3 – Сили та крутильні моменти, що діють на БПЛА

Для внесення коригування в руху БПЛА, запишемо аеродинамічний опір:

$$F_a = c_d \frac{\rho v^2}{2} S \quad (2.18)$$

Де c_d - аеродинамічний коефіцієнт опору, S - площа поверхні апарата, ρ - густина повітря.

Маємо вигляд математичної моделі [7]:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = (\cos(\Psi) \sin(\Theta) \cos(\varphi) + \sin(\Psi) \sin(\varphi)) \frac{F}{m} \pm F_{ax} \\ y = (\sin(\Psi) \sin(\Theta) \cos(\varphi) + \cos(\Psi) \sin(\varphi)) \frac{F}{m} \pm F_{ay} \\ z = \cos(\Theta) \sin(\varphi) \frac{F}{m} - g \pm F_{az} \\ \varphi = \frac{1}{J_x} \tau_\varphi \\ \Theta = \frac{1}{J_y} \tau_\Theta \\ \Psi = \frac{1}{J_z} \tau_\Psi \end{array} \right. \quad (2.19)$$

Під час роботи з відеопотоком необхідно будемо застосовувати базові принципи обробки зображень. Зображення, що отримуємо з камери, у більшості випадків є напівтоновим. Найдрібніша одиниця зображення, піксель, містить у собі три значення, що характеризують колір цього пікселя: це інтенсивність червоного, зеленого і синього кольору. Згідно з теорією трикомпонентності, для опису кольору достатньо мати ці три значення. Використовуючи різні фільтри, методи та алгоритми, можна обробляти таке зображення, за якого аналітично можна отримати будь-яку інформацію, що цікавить.

2.2 Методи фільтрації зображення

Порошарове перетворення в зображенні вважається найпростішим методом сегментації зображення. Метод ґрунтується на обробці зображень, окремих ділянок пікселів, які відрізняються яскравістю [5].

Для чіткого розуміння візьмемо зображення неба, де є чистий фон по кольору й фрагмент, в нашому випадку – БПЛА, показано на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Фрагмент в небі

Яскравість кожного пікселя зображення порівнюється із заданим порогом, що дає змогу розділити зображення на класи та сегменти.

Різноманітне порогове перетворення являє собою:

$$y(i_1, i_2) = \begin{cases} y_0, \text{ за умови } x(i_1, i_2) \leq x_0 \\ y_1, \text{ за умови } x(i_1, i_2) > x_0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Де $x(i_1, i_2)$ - вихідна точка на вході, $y(i_1, i_2)$ - перетворена вихідна точка, x_0 - поріг, а y_0 і y_1 - нижні та верхні межі вихідної яскравості відповідно. Усі значення були розділені на дві категорії після перетворення. Значення, які є меншими за порогове значення x_0 , мають значення 255, яке є білим кольором.

Значення, які є більшими за поріг x_0 , мають значення 0, що є чорним кольором. Перетворення з кількома обмеженнями, багатопорогове перетворення та інші методи також можна використовувати для фіксації контрастних значень, представлено на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Різновид обробки зображення

Для автоматичного визначення порогового значення застосовують різні методи, засновані на аналізі гістограми вихідного зображення.

Спочатку ідея гістограмного методу припускала, що розподіли яскравості для кожного класу містять унікальний піксельний пік, і точки кордонів, що розділяють ділянки різних класів на зображенні, не мають нульової інтенсивності. Однак така ідея рідко виявляється ідеальною на практиці. На рисунку 2.6 представлено гістограму зображення $w(x)$ для двох класів зображення.

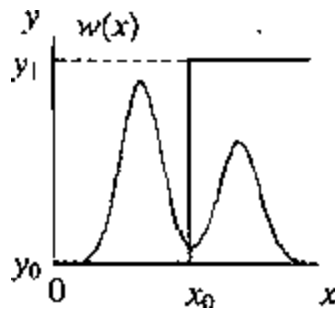


Рисунок 2.6 – Визначення початкового положення для двох класів

Оптимальний вибір дискримінаційного критерію. Для цього гістограма ділиться на кілька класів, що відрізняються за яскравістю від 0 до n (для широкого діапазону, $n=1$). Кожному класу відповідають значення відносних частот ω_0 і ω_1 . Частоти визначаються таким чином:

$$\omega_{0,1}(x) = \frac{\omega(x)}{p_{0,1}}, \text{ якщо } \begin{matrix} \omega_0 \rightarrow 0 \leq x \leq x_0 \\ \omega_1 \rightarrow x_0 + 1 \leq x \leq 255 \end{matrix} \quad (3.1)$$

Де p - це значення яскравості, яке індивідуально присвоюється кожній окремій точці. У разі двох класів, точка належить до першого або другого класу. Також ми обчислюємо математичне очікування для кожного класу:

$$\mu_{0,1}(x) = \sum_{x=0, x_0+1}^{x_0, 255} \frac{x p_{0,1}}{\omega_{0,1}} \quad (3.3)$$

Далі розраховуємо загальну та міжкласову дисперсію:

$$\delta_0^0 = \sum_{x=0}^{255} x - \mu(255) \omega(x) \quad (3.4)$$

$$\delta_1^2(x) = \omega_0(x) \omega_1(x) (\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (3.5)$$

Використовуючи вирази (3.4) і (3.5) у рівнянні нижче, ми отримуємо необхідний критерій:

$$\eta(x) = \max\left(\frac{\delta_1^2(x)}{\delta_0^2}\right) \quad (3.7)$$

Отже, гістограма порогів матиме такий вигляд, як показано на рисунку 2.7.

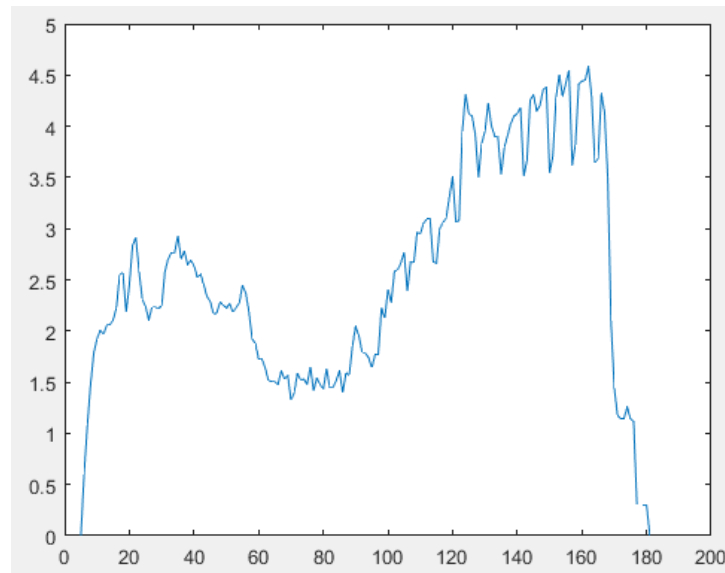


Рисунок 2.7 – Приклад широкої сегментації для n класів у логарифмічному масштабі

Бінарне відображення ґрунтується на обчисленні градієнта яскравості кожного пікселя. Той самий принцип використовується під час перетворення повнокольорового зображення на напівтонове.

Бінарне відображення засноване на обчисленні зміни яскравості кожного пікселя. Той самий принцип використовується під час конвертації кольорового зображення в чорно-біле.



Рисунок 2.8 – Відфільтроване зображення

Замінюється спадаючим методом. Цей метод успішно застосовують при явній контрастності. Алгоритм сегментації градієнтним методом такий:

Кольорове зображення перетворюється на чорно-біле.

Виявлення меж об'єктів за допомогою градієнтних операторів, таких як, наприклад, оператор Собеля [5]:

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \cdot A \quad G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot A$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (3.7)$$

Де матриці G_x і G_y являють собою сукупність матриць для розрахунку похідних за координатами x і y зображення (A). Їх застосування здійснюється за допомогою операторів Собеля.

Оператор Канні [5]. Оператор Канні схожий на оператор Собеля, з єдиною відмінністю, що він має перший етап згладжування:

$$B = \frac{1}{159} \cdot \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 2 \end{bmatrix} \cdot A \quad (3.8)$$

Отримавши кольорове зображення, застосовують порогове перетворення й отримують маску зображення, як на рис. 2.9.

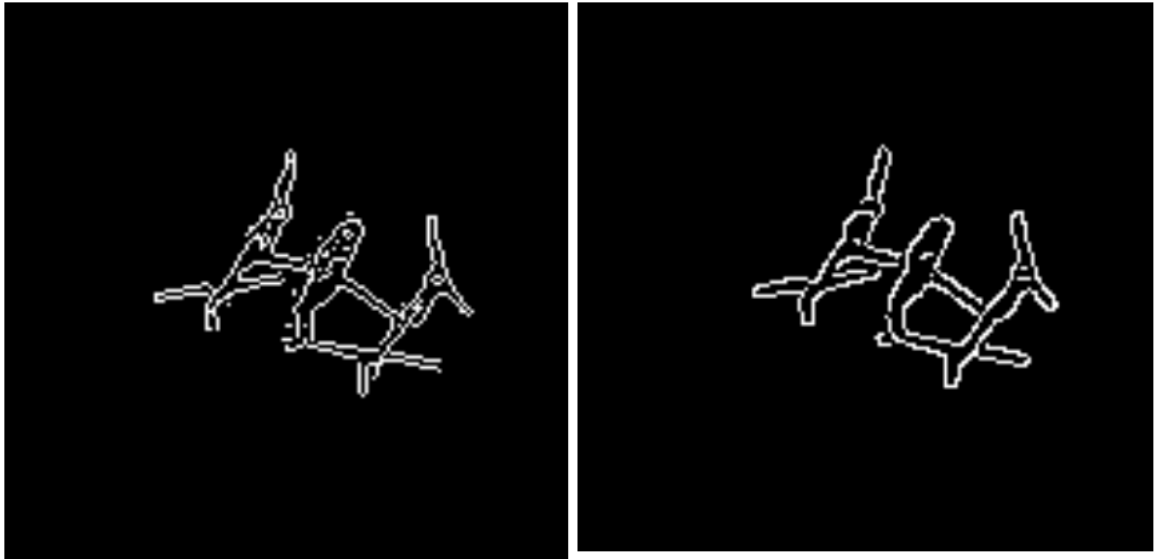


Рисунок 2.9 – Маска зображення

Потім застосовується тільки маска, отримана з оператором Канні.

Отриману маску порівнюють із вихідним зображенням, щоб виділити межі та зробити контури об'єктів чіткішими. У теорії машинного зору, цей метод називається дилатацією (розтягуванням) [5], результат представлений на рис. 2.10. Оператор Ψ застосовується як оператор дилатації, якщо:

$$\Psi(\cup X_i) = \cup \Psi(X_i), E^N \quad (3.9)$$

Де X_i являє собою елемент Евклідового простору, а E^N - Евклідовий простір.



Розділ 2.10 – Розширення контуру БПЛА

При подальшому спрацьовуванні зовнішньої маски з оригінальним зображенням, виходить реально відмінний результат.

На останньому етапі об'єкту надають його оптимальний розмір за рахунок згладжування. Цей метод називається стисливим. Оператор буде використовувати при деяких умовах, приклад на рис. 2.11.



Рисунок 2.11 – Знос корпусу безпілотної літальної апарату

У низьконавантажених системах ТЗ використовуються різні методи сегментації, наприклад, метод поділу [2]. Для цього методу використовується матриця інтенсивності світла зображення і його градієнта. Якщо взяти відповідне значення градієнта вздовж осі OZ як основну величину градієнта, то в областях зростання градієнта відбуваються заломлення, а в областях падіння - спостерігатимуться світлі ділянки. Після знаходження мінімуму функції f відбувається процес заповнення "фоном", який починається з глобального мінімуму. Щойно рівень фону досягає значення попереднього локального мінімуму. Коли дві області починають зливатися, створюється перегородка, щоб запобігти об'єднанню областей [7]. Фон продовжує підніматися до верхнього рівня, доки регіони не відокремлюються тільки вузькими перегородками, як показано на рис. 2.12.

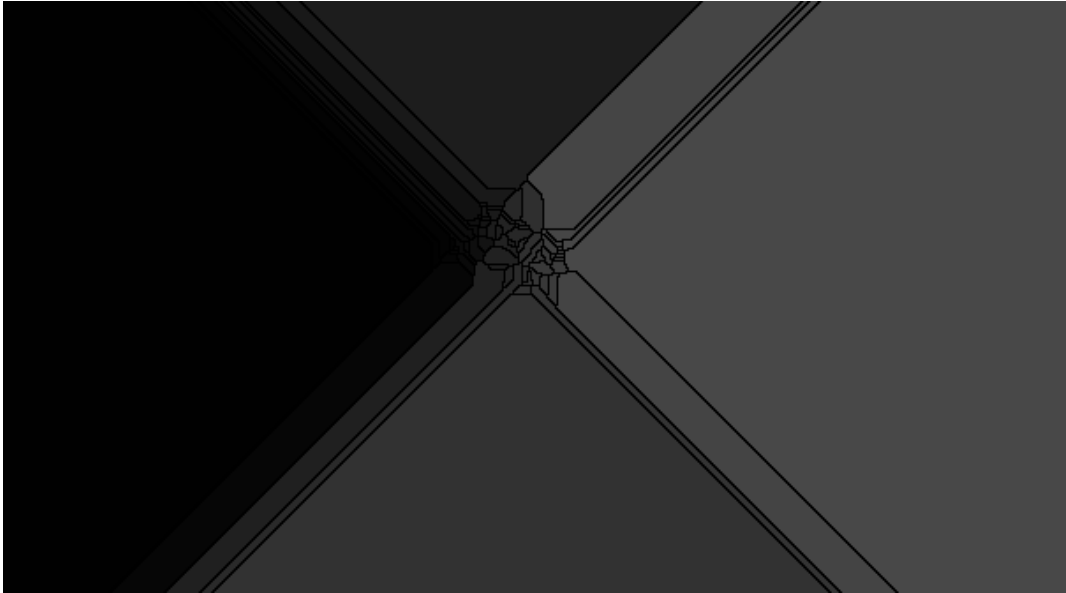


Рисунок 2.12 – Процес розбиття зображення на окремі частини

Даний метод є досить корисним у випадках, коли необхідно визначити велику кількість об'єктів на зображенні з обмеженим контуром або формою, як на рис. 2.13. У таких ситуаціях ми можемо отримати більше неперервних сегментів для подальшого аналізу.

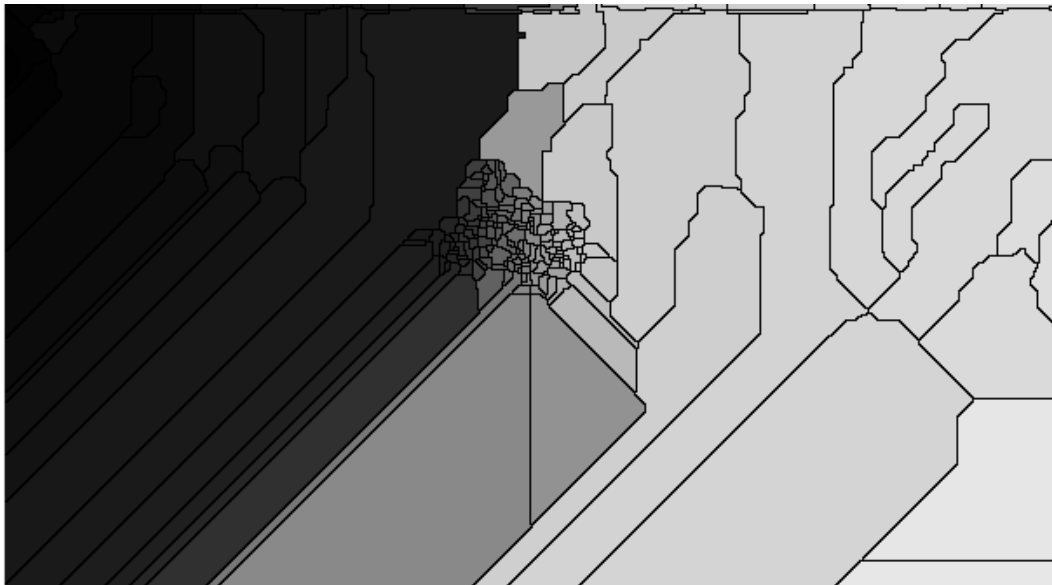


Рисунок 2.13 – Процес розділення складних зображень з обмеженими контурами або незвичайної форми на менші сегменти для подальшого аналізу

Операція обчислення нового значення пікселя з урахуванням його оточуючого середовища використовується для аналізу зображень і часто

застосовується при обробці зображень. Основною одиницею обробки є ядро. Ядро фільтра представляє собою невелику матрицю, зазвичай розміром 3x3. У цьому випадку ядро містить ключовий елемент, який накладається на піксель для обчислення нового значення.

У випадку, коли в обробці сигналу важливий певний характерний відзнака, можна використовувати метод ідентифікації об'єктів за допомогою вейвлет-перетворення. Вейвлет-перетворення є модифікацією перетворення Фур'є та дозволяє визначити принцип нелокальності Гейзенберга. Основна відмінність полягає в тому, що вейвлет-перетворення розкладає сигнал на компоненти у вигляді хвиль, які можуть бути локалізовані як у часовій, так і в частотній області.

$$F(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\Psi(a,b)(x)dx \quad (3.11)$$

Матриця сегментації в такому випадку формується за допомогою численних коефіцієнтів з використанням вейвлет-перетворення. Існують різні модифікації матриці сегментації, такі як Вейвлет Хаара, пульсація вказана на рис. 2.14, Морле, Мексиканська шапка і інші. Основна ідея сегментації полягає в розкладанні одного зображення на дві, при цьому перше зображення містить загальні ознаки зображення, а друге - деталі, які можуть бути відкинуті. Обраний метод сегментації визначає, які частини зображення вважати важливими та які можна відкинути.

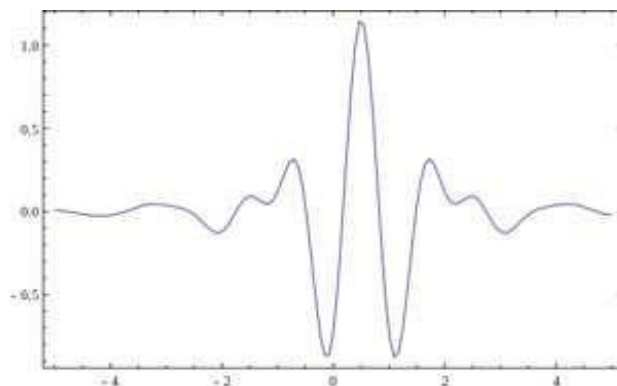


Рисунок 2.14 – «Вайвлет» перетворення

2.3 Передача й отримання даних. Шифрування

Шифрування в контексті передачі й отримання даних для дронів - це процес застосування математичних алгоритмів для забезпечення конфіденційності, цілісності та безпеки даних, які передаються між дроном і контрольним центром або іншими системами, показано на рис. 2.15. Це забезпечує захист від несанкціонованого доступу та перехоплення інформації.

Шифрування даних дрону може включати в себе застосування різних методів. Оглянемо найефективніші.

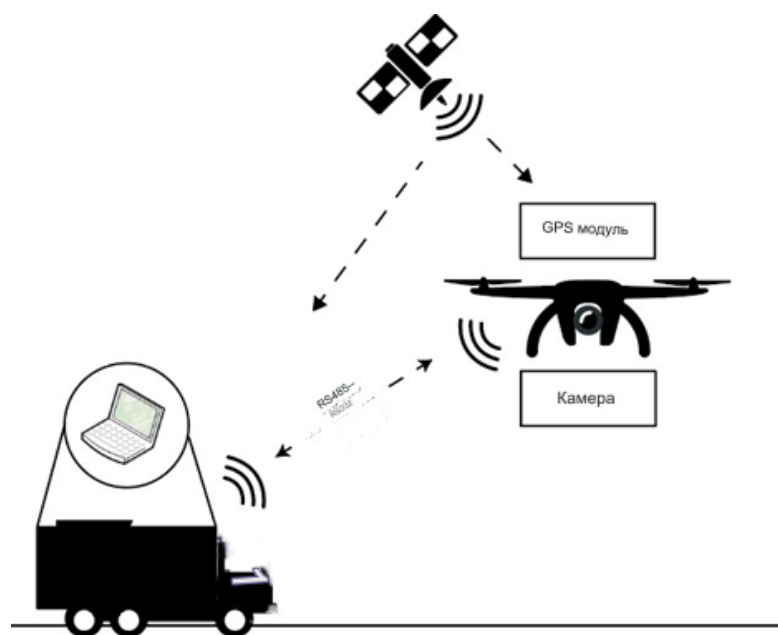


Рисунок 2.15 – Схема обміну даних при наявності наземної станції

Інтерфейс RS232 МΥК використовується для передачі даних між МКК і БПЛА. Зчитування та обробка інформації від БПЛА до МКК здійснюється за допомогою протоколів зв'язку Modbus і NMEA.

Modbus - це відкритий комунікаційний протокол, орієнтований на майстер-слейв архітектуру. Широко застосовується в промисловості для організації зв'язку між електронними пристроями. Його можна використовувати для передачі даних через послідовні лінії зв'язку RS-485, RS-422, RS-232, а також через мережу TCP/IP (Modbus TCP) [9].

Протокол Modbus вирізняється відкритістю і розширюваністю. Наразі (на момент 2014 року) випускається безліч типів і моделей датчиків, виконавчих пристроїв, модулів обробки та нормалізації сигналів тощо. Практично всі промислові системи контролю та управління мають програмні драйвери для роботи з MODBUS-мережами [11].

Необхідно зазначити, що набір команд Modbus було розроблено в 1979 році, з урахуванням потреб і обчислювальних можливостей того часу, і багато актуальних на сьогодні питань не було враховано [6]. Але слід зазначити, що опис перерахованих можливостей є частиною протоколу, що спрощує його вивчення і прискорює розробку.

Стандарт специфікує метод передачі тільки двох типів даних. Відмова від чіткої вказівки в стандарті призвела до того, що з іншими типами даних різні виробники MODBUS-пристроїв впоралися по-різному. Відмінності між виробниками ускладнили згодом зробити уточнення в офіційному документі: це вибір між внесенням невеликих виробників, незгодних з пропонованими пропаками стандарту, і можливими війнами форматів.

- Стандарт не регламентує початкову ініціалізацію системи. Призначення мережесих адрес і налаштування параметрів кожного конкретного пристрою виконуються вручну на етапі адаптації та програмування системи.

- Не передбачається передача загальних за ініціативою підлеглого пристрою (периферії). Майбутній пристрій має періодично оперувати своїми даними.

Довжина запиту обмежена, а дані можуть бути запитані тільки з послідовних регістрів. Це особливість, яка впливає на затримки і складнощі під час використання мережі, тому що для отримання даних з регістрів, розташованих далеко один від одного в адресному просторі, майстер повинен лише запитувати потрібні дані, використовуючи кілька запитів.

Не передбачається спосіб, за допомогою якого підлеглий пристрій міг би оцінити втрату зв'язку з ведучим. З періодичністю в 10 мілісекунд

високоінтегрована станція відправляє запит на читання даних БПЛА. Запит на читання подано у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Запит на читання

Адреса	Функція	Адреса першого регістра	Адреса першого регістра	Кількість регістрів	Кількість регістрів	CRC	CRC
00	03	00	6В	00	03	42	03

Під час запиту читання надходить повідомлення, вкладене в масив, представлено у табл. 2.2. У табл. 2.3 наведено відповідні текстові описи мережевих даних.

Таблиця 2.2 - Рядок відповіді на запит

Адреса пристрою	Функція коду	Кількість байтів	Отримані дані	CRC	CRC
11	03	06	N	78	67

Таблиця 2.3 - Байт даних

№	Характеристики	Байт
1	Адреса БПЛА	1
2	Адреса МУК	1
3	Рівень заряду БПЛА	1
4	Рівень заряду МУК	1
5	Проекція вектора швидкості по осі X	2
6	Проекція вектора швидкості по осі Y	2
7	Проекція вектора швидкості по осі Z	2
8	Кут повороту	2
9	Висота над рівнем моря	2
10	Швидкість підйому	2

Продовження. Таблиця 2.3

№	Характеристики	Байт
11	Швидкість зниження	2
12	Кількість супутників	2
13	Віддаленість від МҮК	2
14	Положення БПЛА (широта)	8
15	Положення БПЛА (довгота)	8

Протокол NMEA виник завдяки морським фахівцям, які спробували встановити зв'язок між супутником та кораблями, що ходили в багатьох напрямках, що позначає як National Marine Electronics Association NMEA (Національна асоціація морської електроніки).

Цей протокол був призначений для передавання ресурсів інформаційної і космічної сфери, такі як координати з GPS, температура барометра, трап, інформацію з радара, компас. І цей протокол виявився настільки корисним, що знайшов своє застосування в цивільній авіації.

Протокол NMEA – це «мозаїка» інженерної майстерності, який вражає своєю простотою та ефективністю. Усі повідомлення NMEA – це просто велика кількість даних, розділених комами, і перетворених у кодуванні. Кожне повідомлення ніяк не залежить від інших. Воно має заголовки, складені з 5 символів, де два з них – це тип, а решта три – його назва. І кожне повідомлення має поле «контрольної суми», яке перевіряє відповідність [8].

Отже, протокол NMEA – це тип мова, яка розкриває нам таємниці навігації та робить світ інженерії простішим в управлінні.

Повідомлення GGA надає інформацію про фіксоване положення.

Найпопулярніше і широко використовуване повідомлення в стандарті NMEA з інформацією про поточне фіксоване положення містить географічні координати, висоту над рівнем моря, кількість супутників, що використовуються, і тип фіксації.

У табл. 2.4 представлено розшифровку даних у форматі NMEA. Формат використовується для передавання географічних даних, як-от координати, швидкість, напрямок та інша інформація, між електронними пристроями, як-от GPS-приймачі та комп'ютери.

Таблиця 2.4 - Розшифровка даних

GGA	NMEA Заголовок
123519	UTC час 12:35:19
4807.038, N	Широта, 48 градусів 7.038 хвилин північної широти
01131.000, E	Довгота, 11 градусів 31.000 хвилин східної довготи
1	Тип рішення: StandAlone (1 - автономне рішення)
0	Немає рішення: немає фіксації (0 - немає рішення)
2	DGPS
3	PPS
4	Фіксований RTK
5	Не фіксований RTK
6	Використання даних інерціальних систем
7	Ручний режим
8	Режим симуляції
08	Кількість використовуваних супутників
0.	Геометричний фактор, HDOP
545.4	Висота над рівнем моря в метрах
46.9	Висота геоїда над еліпсоїдом WGS 84 у метрах
[порожнє поле]	Час, що минув з моменту отримання останньої DGPS спроби
[порожнє поле]	Ідентифікаційний номер базової станції DGPS

Повідомлення GSA у форматі NMEA містить загальну інформацію про супутники, що використовуються для розрахунку позиції, і значення геометричних факторів DOP (Dilution of Precision), які визначають точність обчислення позиції. Параметри DOP залежать від геометричного розташування супутників у небі. Що краще розподілені супутники в небі, то меншим є DOP, а отже, то вищою є точність позиціонування [6].

Мінімальне значення PDOP (= 1) відповідає ситуації, коли один супутник перебуває строго над користувачем, а інші три рівномірно розподілені навколо

горизонтальної площини над рівнем моря. Значення PDOP обчислюється як квадратний корінь із суми квадратів HDOP і VDOP.

Ці параметри DOP допомагають користувачеві оцінити, наскільки точними будуть його координати в поточних умовах, ґрунтуючись на розподілі супутників і геометричних характеристиках сигналу, як показано у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристика сигналів

GSA	NMEA заголовок
A	Тип вибору між 2D і 3D рішенням (А - автоматичний, М - ручний)
3	Тип рішення: 3D рішення (1 - немає рішення, 2 - 2D рішення, 3 - 3D рішення)
04,05...	PRN коди використовуваних супутників у розрахунку позиції (12 полів)
2.5	Протяжний геометричний фактор, PDOP
1.3	Горизонтальний геометричний фактор, HDOP
2.1	Вертикальний геометричний фактор, VDOP

Повідомлення RMC у форматі NMEA є рекомендованим мінімальним набором GPS даних. Це повідомлення містить основні параметри, такі як часова мітка, географічні координати, швидкість і курс. "PVT" у цьому контексті являє собою скорочення від "position, velocity, time" (позиція, швидкість, час). Розшифровка представлена у табл.2.6.

Таблиця 2.6 - Розшифровка даних у форматі NMEA

RMC	NMEA заголовок
123419	UTC час, 12:34:59
A	Статус (А - активний, V - ігнорувати)
4807.038,N	Широта, 48 градусів 07.038 хвилин північної широти
01131.000,E	Довгота, 11 градусів 31.000 хвилин східної довготи
022.4	Швидкість, у вузлах
084.4	Напрямок руху, у градусах
230394	Дата, 23 березня 1994 року

Технічне завдання для роботи БПЛА не передбачає жорстких обмежень в обчисленнях. Основне завдання БПЛА - виконати зйомку на заданій висоті в обмеженій області простору. Контролюючі системи повинні забезпечити високу стабільність і точність управління. Однак у реальних умовах, у процесі тестування та експериментів, можуть виникати непередбачувані ситуації та помилки, які можуть призвести до небажаних наслідків [15].

Такі непередбачувані ситуації та помилки можуть виникнути внаслідок різних чинників, включно з атмосферними умовами, механічними несправностями, електромагнітними перешкодами, помилками в програмному забезпеченні тощо. Для забезпечення високої надійності роботи БПЛА важливо проводити ретельне тестування та контроль якості, а також враховувати можливі сценарії та рішення для випадків, коли виникають помилки або виняткові ситуації.

Однією з найсуттєвіших проблем є втрата зв'язку між БПЛА і МҮК. У такому разі управління з наземної станції стає неможливим, що може призвести до непередбачуваних наслідків.

Іншою серйозною проблемою є поломка БПЛА або МҮК. Технічні неполадки можуть мати різноманітну природу, і для їх вирішення часто потрібен комплексний підхід. Відновлення оптимальної роботи квадрокоптера є складним завданням, і навіть втрата одного або декількох елементів не повинна призводити до повної програмної помилки. Однак, при проблемах із системою живлення або тактичним управлінням, яке є перспективним міжвиконавчим і стратегічним, можуть виникнути фатальні проблеми [6].

Крім того, необхідно враховувати можливе втручання інших літальних апаратів, супутників і навіть птахів, які можуть непередбачувано впливати на політ. Втрата зв'язку з GPS не є фатальною подією, оскільки ми все ще можемо отримувати дані з камери відеоспостереження. Однак за рахунок втрати даних про положення БПЛА в просторі, виникають труднощі при відновленні координат і кутів швидкості.

При екстреній посадці, у нас є наближені координати БПЛА. Ми не завжди зобов'язані відправляти пошукову групу, що займає певний час. Також ми можемо розраховувати на успішну посадку дрона, що може включати в себе політ над річкою, над скелею, місцевістю. Якщо пілот впорається з посадкою, це дасть нам ще більше точності в пошуку, якщо немає ніяких яскравих реперних точок або міток.

Ручне керування є одним із найкращих методів, оскільки виключає момент пошуку з даних алгоритмів. Але також потрібне певне тимчасове рішення, оскільки оператору спочатку необхідно визначити місце розташування коптера в просторі, що не завжди легко зробити з першої спроби. Керування дроном вручну - це окреме завдання, що вимагає майстерності та досвіду.

Нині жоден цивільний БПЛА не має систем екстреного повернення на базу на випадок втрати зв'язку. У більшості випадків, потужність обчислювальних ресурсів квадрокоптера обмежена і не дає змоги виконати складні розрахунки в реальному часі, необхідні для автоматичного повернення на базу в разі втрати сигналу із супутника. Однак необхідно приділяти увагу питанню "обчислювальної потужності" [7].

Незважаючи на це, важливо розуміти, що обчислювальна потужність безперервно зростає, і в майбутньому такі можливості можуть стати доступними для цивільних БПЛА. Розробники працюють над вдосконаленням апаратних і програмних рішень, щоб підвищити автономність і безпеку польотів дронів.

Сьогодні на практиці в разі втрати зв'язку з дроном, оператор може спробувати відновити зв'язок, використати інструменти для визначення координат, або спробувати керувати дроном вручну до відновлення зв'язку. Однак незважаючи на обмеження, важливо, щоб оператори були добре підготовлені і знали, як діяти в подібних ситуаціях, щоб мінімізувати потенційні ризики і переконатися в безпеці польотів.

У представленому експерименті важливо враховувати безліч факторів і обмежень. Наприклад, для успішного повернення БПЛА на базу необхідно забезпечити точне визначення його координат, як поточних, так і координат

базової станції (земної станції). Це може бути складним завданням, особливо за недоступності сигналу GPS.

Також важливо врахувати, що повернення на базу має бути безпечним і враховувати перешкоди на маршруті. БПЛА повинен бути здатний уникати перешкод і забезпечувати плавний і безпечний спуск.

У разі втрати зв'язку, управління БПЛА може бути здійснене через відеопотік з камери, однак це також вимагає високої обчислювальної потужності та надійного зв'язку [8].

Безумовно, розробка такої системи вимагає комплексного підходу, включно з математичним моделюванням, програмуванням, розробкою алгоритмів маршрутної навігації та багато іншого. Ба більше, важливо провести безліч тестів і експериментів, щоб упевнитися в надійності та ефективності системи в реальних умовах.

Подібні розробки активно ведуться у сфері безпілотних систем, і в майбутньому можна очікувати розвитку складніших алгоритмів і технологій, що дають змогу забезпечувати безпечне й автономне повернення БПЛА на базу в разі втрати зв'язку, як на рис. 2.16.

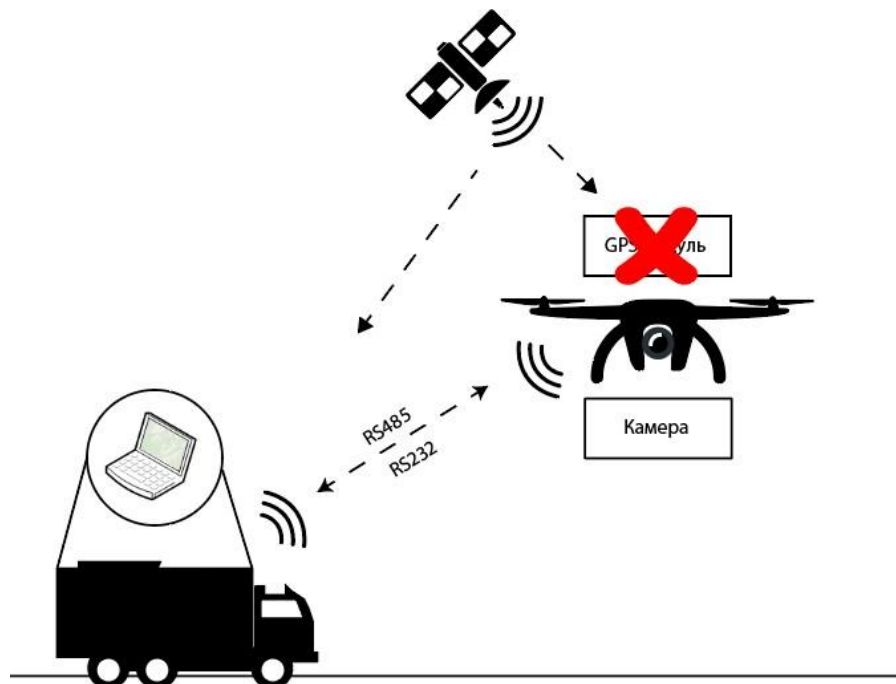


Рисунок 2.16 – Система зв'язку в разі втрати GPS-модуля

За умови втрати сигналу GPS, можна припустити, що камера на борту БПЛА зможе зафіксувати МКС (Міжнародну космічну станцію). Максимальна висота, на яку БПЛА може піднятися, становить 10 кілометрів. Кут огляду людського ока обмежений приблизно 36° і може бути відтворений камерою. Система охоплює кут від -45° до $+45^\circ$ відносно горизонту, що забезпечує широкий діапазон видимості в небесній області.

Таким чином, система здатна реєструвати і відстежувати МКС на небосхилі, що надає важливі дані для навігації в разі втрати сигналу GPS [13].

$$zone = h \cdot \tan(\alpha) \quad (2.1)$$

де h - висота підйому коптера (м), α - кут обзопа камери.

Знімок відеопотоку простіше представити у вигляді прямокутника. Тоді наша система може представити як смугу зображення прямокутника. З цього випливає, що БПЛА має зону параметрів:

$$S = (2 \cdot zone)^2 \quad (2.2)$$

Питомий радіус - це визначувана довжина поля скімера БПЛА. У табл. 2.7 представлені можливі питомі радіуси поля скімера БПЛА [14].

Таблиця 2.7 - Питомі параметри відеоспостереження БПЛА під час вимірювання кута огляду і висоти

	100 м	1000 м	2000 м	5000 м
zone, м				
10°	17.63	176.33	352.65	881.64
23°	42.45	424.475	848.95	2122.37
36°	72.65	726.54	1453.09	3632.71
2zone, м				

Продовження. Таблиця 2.7

10°	35.27	352.65	705.31	1763.27
23°	84.86	848.95	1697.90	4244.79
36°	145.31	1453.09	2906.17	7265.43
S, м²				
10°	310.91	31091.20	124364.82	777280.10
23°	1801.79	180178.87	720715.49	4504471.74
36°	5278.64	527864.05	2111456.18	13196601.13

Максимальна відстань коптера від станції становить 3 км. З таблиці видно, що нам необхідно піднятися на відстань менше 5 км, щоб охопити всю можливу зону локації коптера.

У цьому контексті необхідно виконати кілька етапів розв'язання задачі:

1.1 Перемістити коптер на достатню висоту, щоб МҮК було обов'язково видно. Політ починається з нульової точки (0,0) відносно системи координат (СК), і його координати задаються оптимальними значеннями в діапазоні [-255, 255]. Визначаємо місце розташування МҮК у відносній системі координат і абсолютних географічних координатах, що дасть нам можливість обчислити координати центру коптера в абсолютній координаті.

1.2 Визначити місце розташування коптера з МҮК. Автоматичне повернення коптера на землю без зазначення точного маршруту.

Перший метод простіший, проте в цьому разі необхідні безперервні зміни параметрів польоту, що коптер не здатний виконати під час повернення на землю. Оскільки інтелектуальна система МҮК завжди стежить за рухом коптера, має сенс керувати нею за допомогою камери і вирішити завдання повернення на етапі, коли вони можуть спілкуватися між собою.

2.4 Застосування Ієрархічного методу для управління системами

Ієрархічний метод представлений на рис. 2.17 організації відображає структурований підхід до управління та організації системи чи даних. Він ґрунтується на ідеї поділу на рівні, де кожен рівень відповідає за певні функції та взаємодії.

У такій структурі найвищий рівень управління визначає загальну стратегію та цілі системи. Кожен наступний рівень спеціалізується на деталях та виконанні певних завдань для досягнення цілей вищого рівня. Це дозволяє розбити складні завдання на менші, більш керовані елементи.

Такий підхід застосовується у багатьох сферах, включаючи управління проектами, організацію даних, розробку програмного забезпечення та управління бізнесом. Ієрархічна структура сприяє кращому розумінню та контролю системи або процесу, що дозволяє ефективніше вирішувати завдання та досягати поставлених цілей [12].



Рисунок 2.17 – Ієрархична структура

Управління високого рівня на найвищому рівні ієрархії визначає стратегічні цілі та завдання дрона. На цьому рівні приймаються рішення на основі наявної інформації про місію та поточної ситуації. На цьому рівні система перемикається на режим автономного виконання місії в разі втрати зв'язку.

На наступному рівні знаходиться управління тактичного рівня, яке виконує більш детальне управління дроном і реалізує стратегічні рішення. В автономному режимі цей рівень визначає маршрут, навігацію та безпеку польоту.

На найнижчому рівні знаходиться управління оперативного рівня, яке безпосередньо контролює рух і роботу дрона. Цей рівень дозволяє керувати кожною частиною польоту, включаючи керування моторами, камерами та сенсорами. Опис рівнів представлений у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 - Опис рівнів ієрархічної структури

Рівень	Компонент	Що виконує
Верхній	Процесор	Працює в прямій зв'язці з мікроконтролером. Формує команди в залежності від обставин, та середовища.
Середній	Мікроконтролер	Виконує обчислення і управління різними аспектами дрона, включно зі стабілізацією, навігацією і виконанням команд.
Нижчий	Пам'ять (Flash/RAM)	
	Електроніка керування моторами	Регулює потужність і швидкість моторів для точного керування тягою та орієнтацією дрона.
	Бортові датчики (гіроскопи, акселерометри)	Вимірюють кутову швидкість і прискорення для стабілізації та контролю польоту.
	Датчики живлення	Відстежують стан батареї або акумулятора і передають інформацію про рівень заряду.
	Бортовий датчик GPS	Використовується для отримання даних про місцезнаходження та координати для навігації та позиціонування.
	Компоненти зв'язку (передавачі, приймачі)	Забезпечують бездротовий зв'язок між дроном і пристроями управління, а також з іншими дронами або системами.
	Розподільник живлення	Регулює і розподіляє електроенергію від акумулятора до різних компонентів дрона.
	Вбудований датчик висоти	Надає інформацію про висоту над поверхнею для контролю висоти польоту.
	Модулі захисту та безпеки	Включають функції, як-от аварійне вимкнення, автоматична посадка і системи безпеки, щоб запобігти аварійним ситуаціям.

Така ієрархічна система, як на рис. 2.18 управління забезпечує ефективне функціонування та управління квадрокоптером на різних рівнях складності завдань, гарантуючи точне виконання місії та максимальну безпеку польотів.

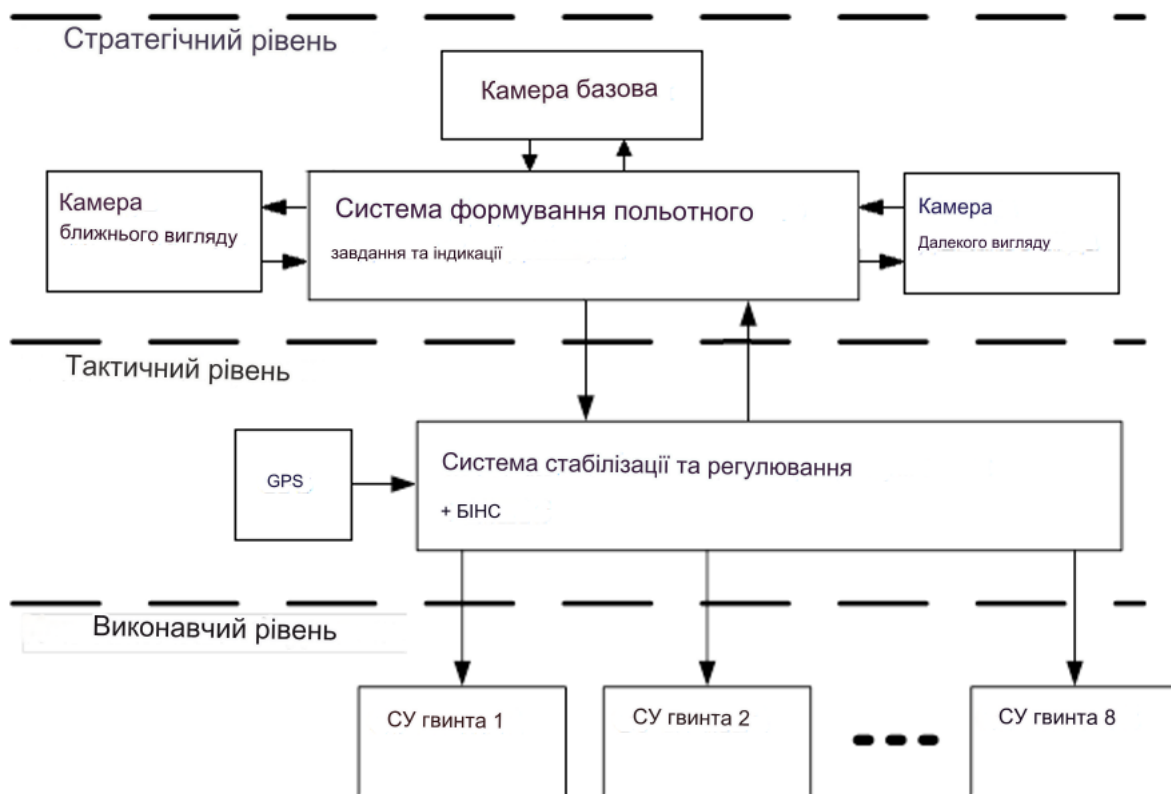


Рисунок 2.18 – Ієрархічна модель БПЛА

Розглянемо верхній рівень управління БПЛА. Для його реалізації використовується наземна станція управління, за допомогою якої здійснюється контроль над БПЛА і формуються польотні завдання. Зв'язок між верхнім і середнім рівнем управління коптером здійснюється за допомогою промислових інтерфейсів RS485 і RS232[7].

Для реалізації верхнього рівня керування БПЛА було задіяно наземну станцію керування. Приклад роботи наземної станції керування БПЛА представлено на рис. 2.19.

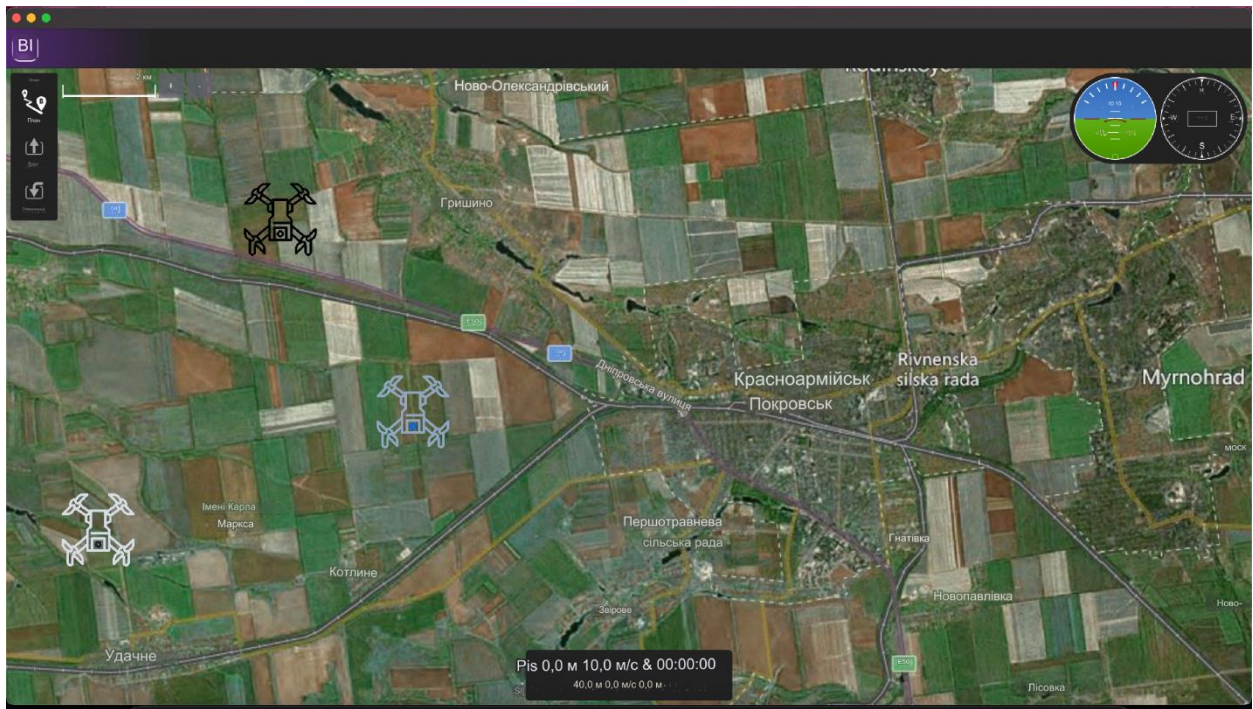


Рисунок 2.19 – Модельний вигляд наземної станції керування БПЛА

Станція дає змогу керувати БПЛА, камерами на борту БПЛА, а також відстежувати стан квадрокоптера в реальному часі.

Станція додани різноманітні функції взаємодії з електронною базою обладнання, такими як: сенсори, тискометром, далекоміром, варіометром, компасом, радаром і камерним ідентифікатором (у розмірі двох штирьків). На додачу до цього, станція обладнана ідентифікаторами заряду батарей, сигнальними засобами для управління БПЛА і наземною станцією.

Станція управління розміщується на мобільному керуючому комплексі (МКК). МКК являє собою персональний комп'ютер (ПК) і систему управління (СУ). За допомогою промислового інтерфейсу RS485 здійснюється передача локаційних даних від БПЛА до МКК (показання датчиків на борту БПЛА) і програму польоту від МКК до БПЛА (траєкторії вильоту, положення камер, керуючі дії датчиків на борту БПЛА) та програми польоту від МКК до БПЛА (траєкторії вильоту, положення камер, керуючий вплив СУ) [10].

Високоінтегрована станція також має зв'язок з навколоземними супутниками і безперервно отримує дані про своє місцезнаходження.

2.5 Технології моделювання задач

Для реалізації задачі з моделювання для отримання якісного моделювання буде використано середовище Matlab – це багатофункціональний інструмент для наукових та інженерних розрахунків, реалізації моделей. Його гнучкість і можливості дають змогу розв'язувати різноманітні задачі, починаючи від аналізу даних і створення графіків, і закінчуючи складними обчисленнями та моделюванням систем.

Історія створення Matlab почалася з необхідністю в інструменті для чисельних розрахунків і аналізу даних. Програму створив Лоуренс Шапіро наприкінці 1970-х років.

Розробник був молодим інженером, який займався обробкою електричних сигналів і вивченням спектрального аналізу. У той час доступні інструменти для цих цілей були вкрай обмежені. Це спонукало його розробити свій власний інструмент, який міг би полегшити роботу з чисельними методами і прискорити процес аналізу даних.

Так з'явилася ідея, яка згодом перетворилася на Matlab. Одним із ключових моментів у розвитку Matlab було впровадження роботи з матрицями як основним способом представлення даних і виконання операцій.

Перша версія Matlab була реалізована на Fortran'е і запустилася на комп'ютері PDP-11. Однак, основна причина успіху Matlab полягає не тільки в його можливостях, а й у тому, що його автор Шапіро відкрив вихідний код програми, що дало змогу іншим вченим, розробникам та інженерам розширювати і покращувати його функціонал, популяризуючи продукт.

З плином часу Matlab постійно розвивався і поліпшувався. Були додані нові інструменти, функції та бібліотеки, зробивши його більш універсальним і гнучким інструментом для різних галузей.

Сьогодні Matlab залишається одним із провідних інструментів для наукових та інженерних розрахунків завдяки своїй високій продуктивності, численному набору функцій і зручному середовищу розроблення, а також

широкому співтовариству користувачів, які беруть активну участь у його розвитку та вдосконаленні.

Якщо проводити пряме порівняння між MATLAB і аналогічними програмами на кшталт ROS; OpenModelica; і тд.

Середовище MATLAB надає ширший набір інструментів для моделювання динаміки дрона, створення та налаштування алгоритмів керування, аналізу датчиків і візуалізації результатів. Крім більш зручного інтерфейсу середовище розробки Simulink, вбудоване в програму, дає змогу використовувати візуалізацію даних. У нашому випадку допоможе наблизити отримані дані з моделі до реальних умов.

Ці переваги MATLAB роблять його більш підходящим вибором для моделювання та розроблення автоматичної системи керування дроном, надаючи інтегроване та гнучке середовище для роботи з певними аспектами керування та поведінки дронів.

Matlab, у контексті нашої системи управління в ситуації втрати зв'язку з дроном, надає потужні інструменти для створення комплексних моделей динаміки польоту та алгоритмів управління [9].

За допомогою Matlab можна створити математичні моделі динаміки дрона, враховуючи фізичні характеристики та поведінку в різних умовах. Це дає змогу аналізувати та симулювати поведінку дрона в разі втрати зв'язку, передбачати його рух і оцінювати можливі стратегії відновлення зв'язку або автономного керування.

Також Matlab підтримує розробку і тестування керуючих алгоритмів. Це охоплює створення й аналіз алгоритмів автоматичного керування, які дрон використовуватиме для самостійної навігації або повернення на базу в разі втрати зв'язку [9].

Завдяки можливостям моделювання, аналізу даних і розроблення алгоритмів, Matlab дає змогу досліджувати різні сценарії, створювати більш надійні системи керування та покращувати стратегії реакції дрона в критичних ситуаціях.

Висновки до розділу 2

Насамперед необхідно представити математичну модель, яка дасть змогу створити абстрактне уявлення поведінки квадрокоптера в русі за різних сценаріїв. Використовуючи математичні рівняння та моделювання, можна описати фізичні параметри, динаміку польоту, а також розробити стратегію управління в різних ситуаціях у разі втрати з'єднання. Це важливий параметр, який дає змогу передбачити й оцінити поведінку дрона в реальному світі та оптимізувати його функціональність під час проєктування автономних систем керування.

За відсутності сигналу та керуванням в автоматичному режимі дрон використовуємо фільтрація вхідного зображення - це процес оброблення зображення з використанням різноманітних методів фільтрації для покращення якості, видалення шумів, виділення певних характеристик, для перекладу в машинну мову. Цей процес відіграє ключову роль в орієнтуванні в просторі зображень як у контексті поліпшення візуального представлення, так і в підготовці даних для подальших алгоритмів комп'ютерного зору та аналізу. Усі зображення, координати й інші данні повинні бути надійно захищені від небажаного перехоплення. Це є шифрування, яке являє собою важливий механізм для забезпечення безпеки. Поєднання передачі даних із шифруванням дає змогу захистити інформацію від несанкціонованого доступу та забезпечити її конфіденційність під час передачі через різні середовища зв'язку. Це важливо для забезпечення безпеки інформації та підтримки надійних комунікацій у цифровому світі, особливо під час обміну чутливими або особистими даними.

Як рішення було використано ієрархічний метод. Цей підхід дає змогу організувати систему управління на різних рівнях, де кожен рівень відповідає за певні аспекти управління залежно від пріоритетів і ситуації. Це сприяє створенню надійної автономної системи, яка здатна адаптуватися до змінних умов без участі оператора. Ієрархічний метод дає змогу ефективно керувати дроном в умовах втрати зв'язку, забезпечуючи безпеку та повернення дрона на

базу або виконання заздалегідь заданих стратегій автономної навігації. Це важливий підхід у розробленні систем керування, що дає змогу забезпечити надійність і безпеку функціонування дрона в критичних ситуаціях. Виходячи з умов було обрано програму Matlab для реалізації моделі. Середовище являє собою широкі можливості для моделювання, аналізу даних, створення алгоритмів і розробки систем управління. Використання Matlab дає змогу в процесі роботи з даними, зробити максимально наближені результати до реальних умов.

3 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БПЛА ПІД ЧАС ВТРАТИ З'ЄДНАННЯ З ПІЛОТОМ

3.1 Розробка алгоритму автоматичного керування БПЛА під час втрати з'єднання з пілотом

За відсутності можливостей відновити з'єднання може бути використаний метод зіставлення пройденого шляху і поточного місцезнаходження дрона. Метод добре зарекомендував себе в різних галузях, таких як комп'ютерний зір, робототехніка, медична діагностика, біометрія і картографія.

Перевагою методу виступає широка сфера можливостей і доступність. На основі методу, машину можна направити на розрізнення та знаходження необхідних фрагментів зображення не тільки для повернення, а й пошуку за навченими критеріями.

Побудова програми відбувається на верхньому рівні ієрархічної системи.

Блок-схема (представлена на рис. 3.1) відображає принцип роботи системи, що базується на перевірці зв'язку з оператором. Якщо виявляється відсутність з'єднання, ініціюється робота алгоритму автономного керування.

Система використовує вхідне зображення для порівняння з уже пройденим маршрутом. Якщо виявляються схожі фрагменти, система вибирає правильний напрямок для повернення до точки, де є з'єднання з оператором. Після повернення до цієї точки система знову перевіряє наявність з'єднання з оператором. Якщо зв'язок відновлено, алгоритм призупиняється, і контроль передається оператору.

Цей підхід дає змогу системі БПЛА автоматично виявляти втрату зв'язку і самостійно виробляти рішення щодо відновлення зв'язку з оператором, що забезпечує безпеку і надійність в умовах відсутності контролю з боку оператора.

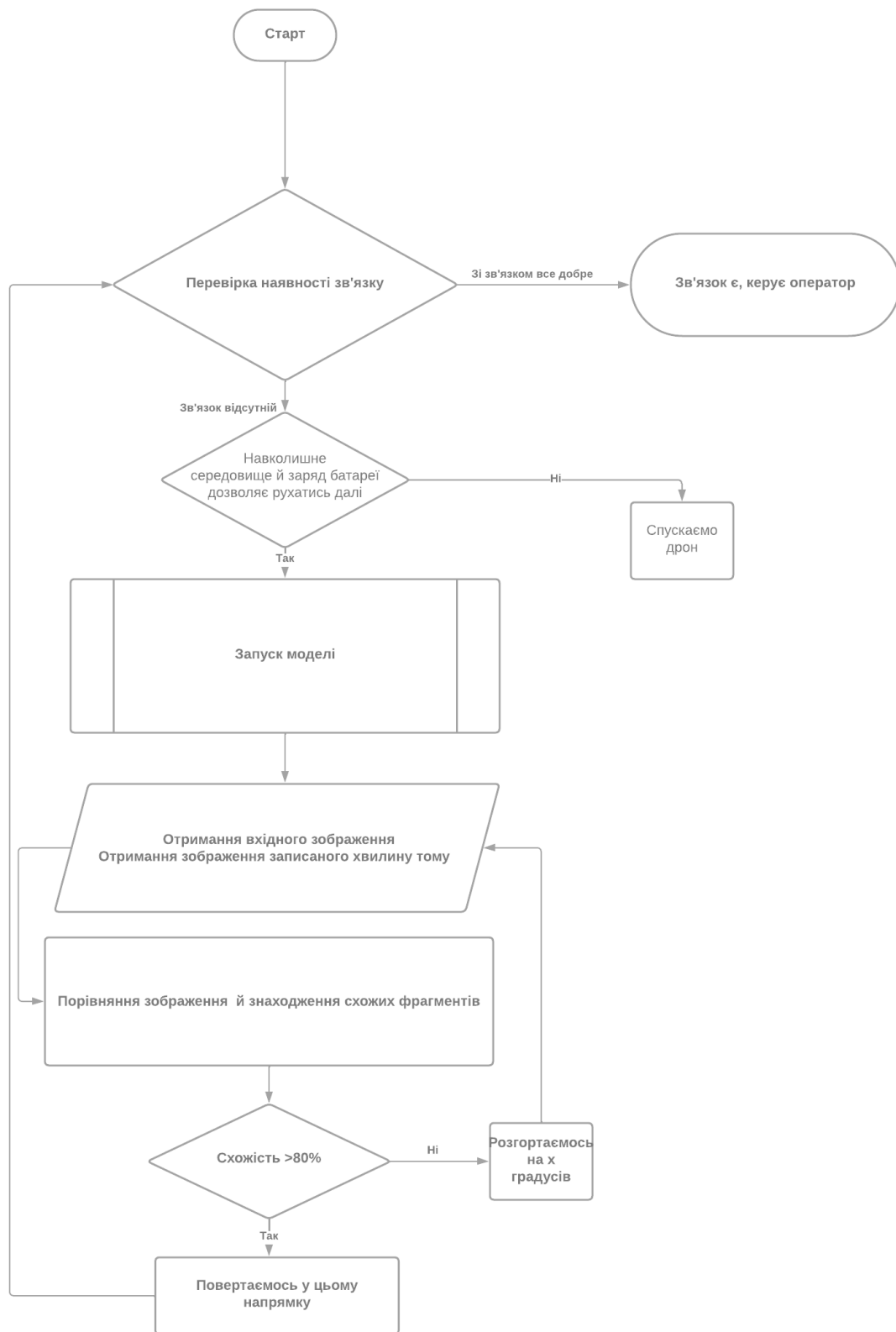


Рисунок 3.1 – Алгоритм керування БПЛА під час втрати з’єднання з пілотом

Для моделювання скористаємося бібліотекою tensorflow і мовою Python, а для фільтрації зображення сервісом Supervisely.

Сервіс Supervisely дасть змогу проводити фільтрацію зображень за необхідними фрагментами і переводити відео на зображення з певною частотою, у нашому випадку – це кожні 30 секунд. Якщо швидкість дрона висока, то час збереження з вхідного відеопотоку зображення буде меншим, і навпаки.

Якщо брати до уваги доступні моделі, швидкість шляху не перевищуватиме 20 км/год, або 5-7 м/с. Враховуючи огляд з висоти польоту і охопленням на більш ніж 180 ° велика кількість знімків не несе в собі корисності, а тільки збільшує вхідну інформацію і надалі час, для аналізу зображень.

Вхідне зображення зберігається в пам'яті на певний час, у програмі вказано значення в 30 хвилин. Обрив з'єднання може бути із затримкою, або спричинений з плином часу. Для відстеження з'єднання з оператором або станцією управління найкращим і швидким рішенням буде надсилання "зондувальних" запитів. Це може бути викликано програмою "Ping" і зазначенням адреси пульта управління. Приклад на рис. 3.2.

```
[anonymous@2ip ~]$ ping -c 10 89.185.8.24
PING 89.185.8.42 (89.185.8.42): 56 data bytes
64 bytes from CPE37042.tvcom.net.ua (89.185.8.24): icmp_seq=0 ttl=53 time=44.700 ms
64 bytes from CPE37042.tvcom.net.ua (89.185.8.24): icmp_seq=1 ttl=53 time=44.800 ms
64 bytes from CPE37042.tvcom.net.ua (89.185.8.24): icmp_seq=2 ttl=53 time=47.200 ms
64 bytes from CPE37042.tvcom.net.ua (89.185.8.24): icmp_seq=3 ttl=53 time=45.100 ms
64 bytes from CPE37042.tvcom.net.ua (89.185.8.24): icmp_seq=4 ttl=53 time=47.200 ms
64 bytes from CPE37042.tvcom.net.ua (89.185.8.24): icmp_seq=5 ttl=53 time=45.000 ms
64 bytes from CPE37042.tvcom.net.ua (89.185.8.24): icmp_seq=6 ttl=53 time=47.200 ms
64 bytes from CPE37042.tvcom.net.ua (89.185.8.24): icmp_seq=7 ttl=53 time=47.300 ms
64 bytes from CPE37042.tvcom.net.ua (89.185.8.24): icmp_seq=8 ttl=53 time=45.000 ms
```

Рисунок 3.2 – Перевірка втрати з'єднання

Відстеження з'єднання із супутником приводиться шляхом наявності відповідного сигналу на GPS модулі. За його відсутності зберігається інший тип комірки в пам'яті.

При виконанні умов того, що втрачено з'єднання з оператором, станцією управління і GPS супутником, відбувається зупинка пристрою, важливим

доповненням перед зупинкою дрона - відсутність зовнішніх негативних чинників у вигляді сильного вітру, і подібних подій.

Відстеження з'єднання із супутником приводиться шляхом наявності відповідного сигналу на GPS модулі. За його відсутності зберігається інший тип комірки в пам'яті.

При виконанні умов того, що втрачено з'єднання з оператором, станцією управління і GPS супутником, відбувається зупинка пристрою, важливим доповненням перед зупинкою дрона - відсутність зовнішніх негативних чинників у вигляді сильного вітру, і подібних подій. Для уникнення втрати дрону в невідомому напрямку рекомендується, щоб не було негативного впливу з боку навколишнього середовища. Це відзначається за допомогою зв'язки акселерометра й гіроскопа. Акселерометр вимірює прискорення в різних осях, гіроскоп в свою чергу вимірює кутову швидкість зміни орієнтації дрону в просторі. Під дією сильного вітру дрон може піддаватися поворотам, й потрібно буде задіяти більше енергії для обертання мотором, щоб компенсувати протидію. У випадку, якщо є сильний вітер краще спустити дрон, через можливу повну втрату дрона. У сильних поривах вітру зображення може вийти розмитим, співставлення буде виконано некоректно.

Пам'ять дрона має тип Micro SD, носій рекомендується використовувати понад 64 GB, виходячи з розмірів відео та високої роздільної здатності. Такі характеристики пам'яті дозволять зберігати велику кількість відеоінформації, але головним завданням пам'яті є характеристика швидкого передавання. Першочергово, щоб карта мала сучасний тип передачі даних між компонентами, що дасть змогу швидше провести компіляцію програми та сформувати правильний напрямок. Якщо розглядати випадок передачі відеопотоку тільки з метою виділити і розділити фрагменти на зображення, для можливості обробки і зіставлення за такого результату буде потрібно не більше 10 хвилин записаного матеріалу. Але головне завдання відправленого БПЛА може полягати, як і в більш тривалому накопиченні відеопотоку. Виходячи з потреб, довжину відеоматеріалу, що зберігається, можна і збільшити [16].

Для фіксування видалення відеоматеріалу можна використовувати таймер, або перевищення заданої кількості пам'яті. У разі виходу за рамки зазначених параметрів відеоматеріал видаляється для звільнення пам'яті, для нового відеопотоку.

Під час моделювання були вказані такі параметри - збереження відео до 10 хвилин, поділ зображення на фрагменти кожні 15 секунд.

Змоделюємо ситуацію фіксування розриву з'єднання, модель уже зберегла фото актуальної місцевості. Програма починає роботу з поділу зображення на фото кожні 15 секунд хрометража відео.

За основу дослідження було використано відеоматеріал, отриманий зі зйомки з дрона [3]. На цьому відео пристрій пролітає над полями, зонами посадки та висадженими деревами, які є найчастішими локаціями, де відбувається втрата зв'язку з дроном.

Ці специфічні місця відіграють важливу роль у дослідженні, оскільки вони є типовими сценаріями для втрати зв'язку із дроном. Аналіз цих місць дозволяє виявити проблемні зони, де може відбуватися втрата сигналу або з'єднання, що важливо для розробки та вдосконалення алгоритмів автономного управління дроном в умовах обмеженого зв'язку.

На рис. 3.3 показано приклад поділу зображення на фото в інтерфейсі сервісу Supervisely.

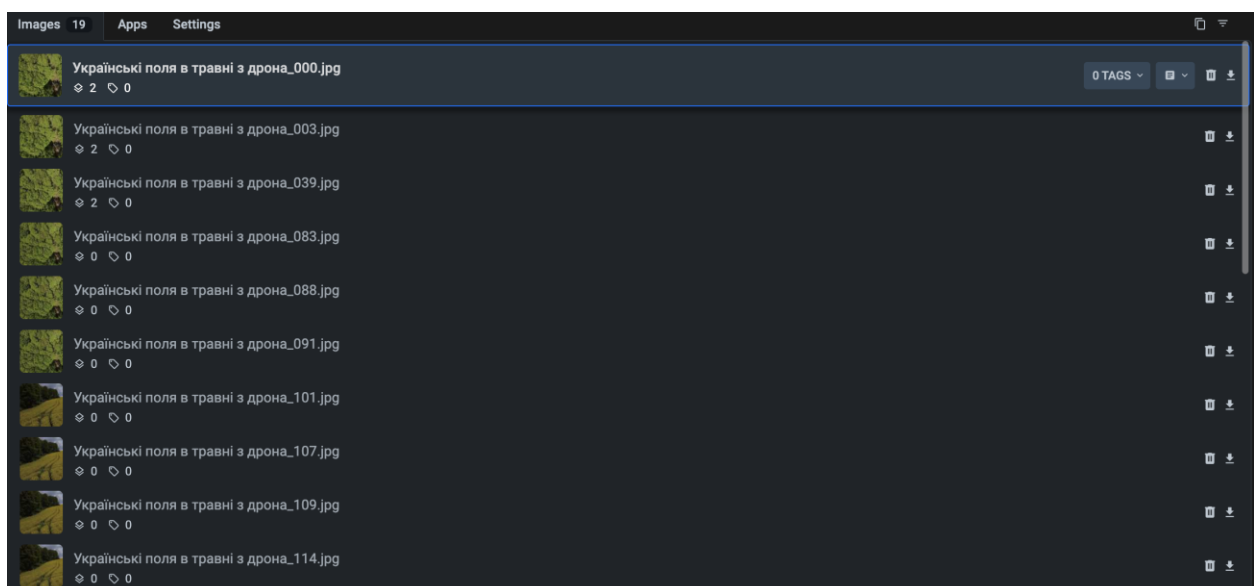


Рисунок 3.3 – Сортуння кадрів

Для порівняння буде використано сортуння за недавніми кадрами. Зображення обробляється, виділяється обриси межі пікселів об'єктів. Зіставлення вхідного, відфільтрованого та зображенням у машинному коді представлено на рис. 3.4.

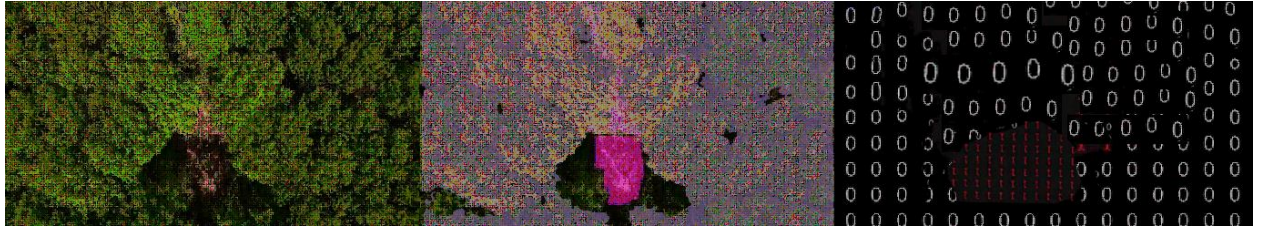


Рисунок 3.4 – Зіставлення зображень на різних етапах

Отримане вихідне зображення перетворюється на напівтонове. Виявлення меж об'єктів відбувається за допомогою градієнтних операторів.

В математичному виконанні формула має вигляд:

$$G = \sqrt{G_x + G_y}, \quad (3.1)$$

Де G_x й G_y – координати, к отриманому зображенню приймається порогове перетворення.

Отримане ядро (маска) застосовується до вихідного зображення, виділяючи межі для обведення контуру об'єкта більш виразним. У машинному зорі це зазвичай називається посиленням контурів.

Під час порівняння об'єкти, незважаючи на відмінності в габаритах, можна зіставити за рахунок згладжування. Таку функцію виконує ерозія. Ерозія використовується для децентралізації розмірів об'єкта під час зіставлення форми.

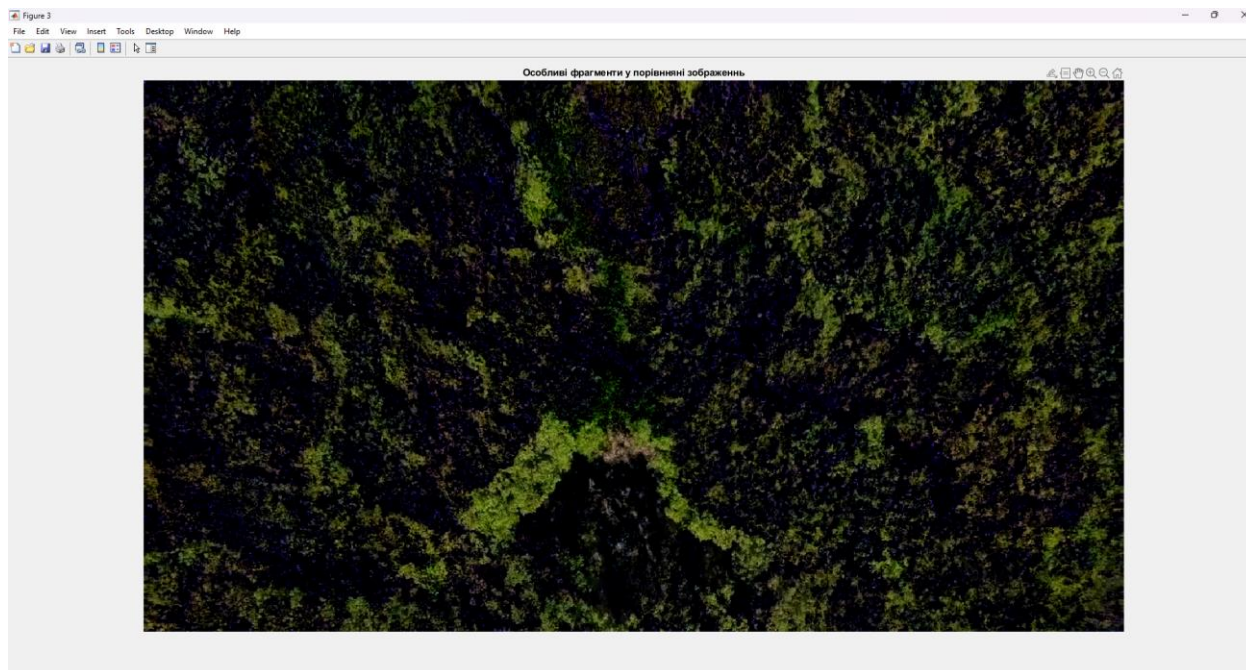


Рисунок 3.5 – Результат обробки зображення

Отримане зображення на виході, світлими ділянками виділено фрагмент, з урахуванням розтушовування країв. Повний перелік зображень на рис. 3.6. Вхідні й отримане вихідне.

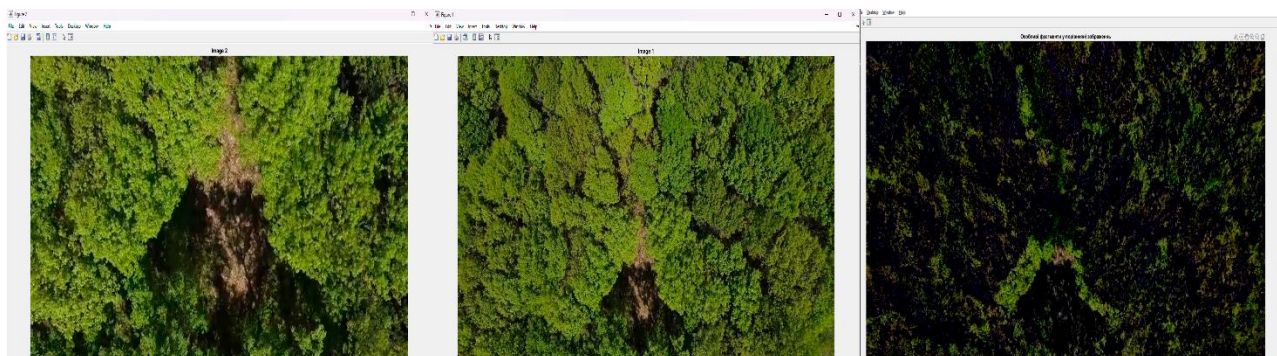


Рисунок 3.6 – Результат обробки зображення на різних етапах

Після успішного накладання з отриманням вихідних даних формується вибір правильного напрямку

Планування траєкторії часто включає в себе розробку математичної складової для обчислення бажаного напрямку між початковою та кінцевою точками траєкторії [8]. Існує низка методик для планування та аналізу

траєкторій, однак ми використовуватимемо поліноміальну форму, виходячи з обмежень.

Під час планування поліноміальної траєкторії важливо враховувати початкове та кінцеве положення.

Виведемо формулу:

$$x_{n+1} = x_n - a \nabla f(x_n), \quad (3.2)$$

Де:

x_{n+1} - точка, після обертання

x_n - поточна точка

a - градієнт функції

∇f - показник вугла обертання

Вибір правильного напрямку в цьому випадку залежить від градієнта функції. Якщо градієнт позитивний, то ми рухаємося в напрямку фрагмента, що нас цікавить, якщо негативний - у напрямку зменшення.

Цей метод використовується в контексті оптимізації та машинного навчання для знаходження оптимальних значень параметрів, максимізації або мінімізації функцій вартості або втрат.

3.2 Ієрархічна модель системи автоматичного керування БПЛА під час втрати з'єднання з пілотом

Зважаючи на міркування доступності, скористаємося викладеною ієрархічною системою для перерозподілу процесів і можливості оптимізації роботи на легкій і середній обчислювальній потужності БПЛА. Змоделюємо роботу і перерозподіл процесів у Simulink, як на рис. 3.7.

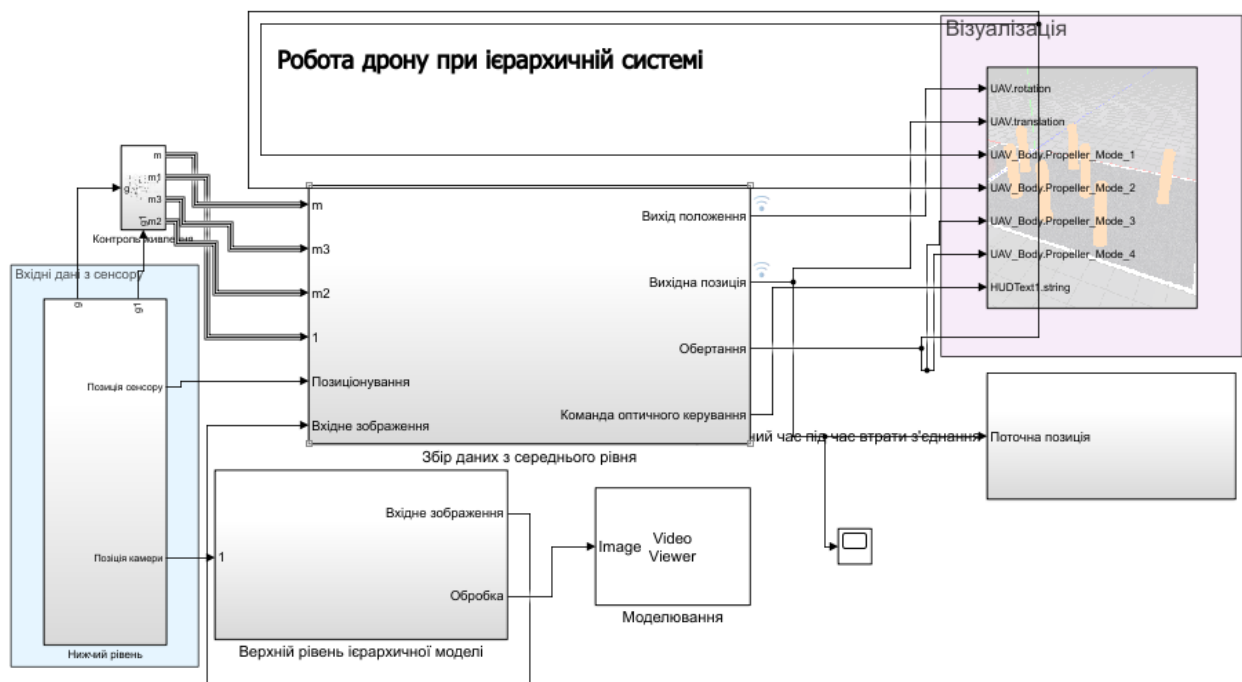


Рисунок 3.7 - Імітаційна модель ієрархічної системи

На верхньому рівні управління, який є стратегічним, відбувається формулювання основного завдання для квадрокоптера. Тут також контролюється процес відеозйомки і проводиться аналіз одержуваного відеопотоку. Важливою функцією верхнього рівня є індикація поточних даних, отриманих від датчиків БПЛА, що дає змогу оперативно відстежувати його стан і навколишнє середовище [17].

Середній рівень управління, тактичний, являє собою оперативну плату управління квадрокоптером. Тут розробляється керуюча програма для регулювання руху лопастей і забезпечується координація та узгодження дій між ними. Середній рівень також займається збором і обробкою даних, що надходять від датчиків, і виконує функції стабілізації та регулювання польоту БПЛА, забезпечуючи його стійкість і точне виконання завдання [18].

На нижньому рівні управління, який є виконавчим, здійснюється безпосереднє управління лопатями квадрокоптера. Тут керуюча програма, розроблена на середньому рівні, перетворюється на команди для лопатей, що дає змогу керувати рухом і маневруванням квадрокоптера відповідно до поставленого завдання. Нижній рівень забезпечує реалізацію всіх дій,

необхідних для виконання стратегічного завдання, згідно з тактичним планом. Приклад з виконавчого моделювання представлено на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Моделювання польоту у середовищі Simulink

Для більшого розуміння реалізованого методу ієрархічної системи побудуємо модель рухомого БПЛА в Simulink. Підсистема моделювання об'єкта створюється за допомогою вхідних даних, наведена на рис. 3.9.

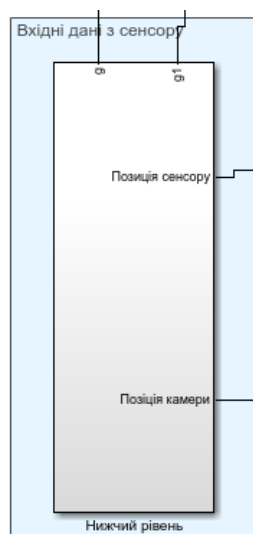


Рисунок 3.9 – Підсистема з початковими даними

Підсистема моделі об'єкта матиме кілька підсистем для представлення різних параметрів залежно від їхніх рівнянь. Мета полягає в тому, щоб створити модель, з урахуванням математичних залежностей, що дасть змогу наблизити розробку до реалістичної побудови.

Підсистема початкових, вхідних даних - ця підсистема зчитує інформацію з датчиків у разі втрати сигналу від GPS. У нашому випадку - позицію камери, і позицію сенсора.

У підсистемі ми вказуємо дані кута і напрямку роторів, що передається з бортового датчика, датчика висоти, магнітометра. Ці дані моделювання повинні враховувати ефект впливання навколишнього середовища, тому ми введемо обмеження. Насамперед складемо обмеження нуля як нижню межу в інтеграторі, який перетворює швидкість у позицію, як транспортний засіб не може опускатися нижче поверхні землі. Швидкість двигунів обмежується оборотами. У деяких квадрокоптерах ротори можуть обертатися в обох напрямках, щоб виконувати перевороти і літати догори ногами [20].

Після передавання інформації в верхній рівень, відповідний блок до нього представлений на рис. 3.10. Вхідні дані, включно із зображенням і відповідними параметрами, ретельно аналізуються й співтавляються зі взаємопов'язаними інформаційними потоками. Потім виконуються необхідні операції обробки [19].

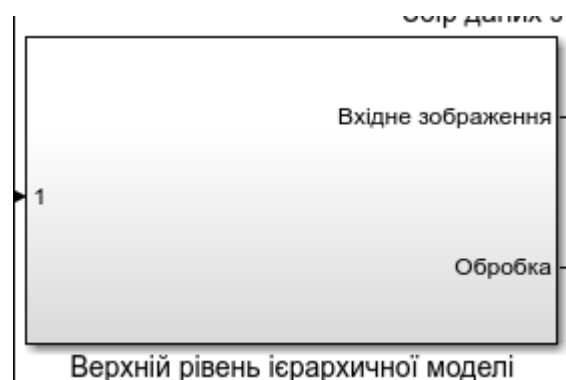


Рисунок 3.10 - Блок верхнього рівня

Середній рівень представлений на рис. 3.11 й відповідний до нього блок відповідає за збір інформації з інших блоків, нижчих рівнів. Впровадження

даних у являє собою інтеграцію на високому рівні, де кожен етап обробки є елементом злагодженої ієрархічної структури. У цьому контексті, вхідні дані, які представлені у вигляді зображення і відповідних числових параметрів, піддаються глибокому аналізу і подальшій трансформації [21].



Рисунок 3.11 – Блок відповідний до середнього рівня

Система, згідно з принципами ієрархії, деталізовано і систематично розбирається з кожним аспектом вхідних даних. Цей процес можна порівняти з будовою піраміди, де кожен рівень додає свій внесок у формування повної картини обробки [22].

Блок "візуалізації", наведений на рис. 3.12 вибудовує моделювання системи на основі картографічних даних.

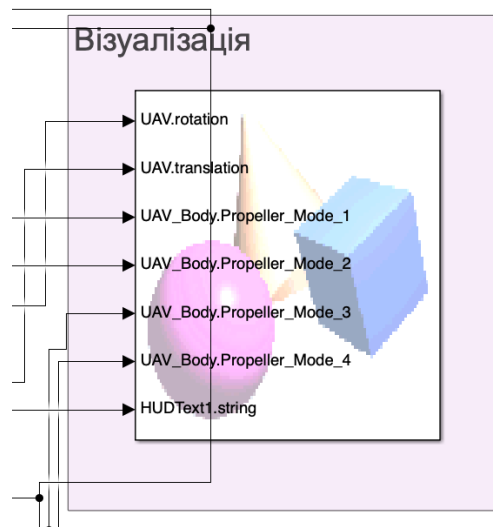


Рисунок 3.12 – Блок візуалізації

Нижчий рівень відповідає за виконання команд.

Використання ієрархічної моделі дає змогу розділити завдання на більш дрібні та більш керовані підзадачі, що полегшує розробку та налагодження системи керування дроном. Кожен рівень відповідає за свій аспект функціонування, і їхня спільна взаємодія забезпечує ефективне і доцільне використання потенціалу [23].

Графік з рис. 3.15 показує, як змінюється ефективність дрона в міру збільшення відстані польоту. На початковому етапі (ближче до точки старту) дрон може сповільнюватися через постійну необхідність аналізу навколишньої обстановки і прийняття рішень. Однак, зі збільшенням відстані, дрон набуває досвіду і стає більш ефективним у подоланні труднощів, що відображається у збільшенні швидкості прийняття рішень і аналізу [24].

Цей графік демонструє, що з плином часу і досвіду, дрон покращує свою продуктивність і здатність швидко реагувати на мінливі умови під час польоту.

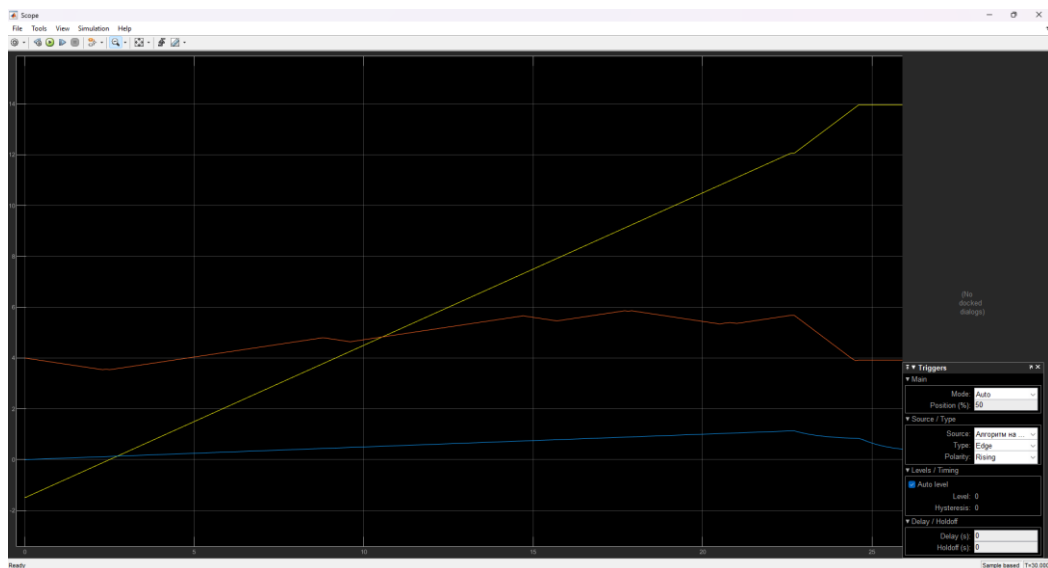


Рисунок 3.15 – Графік польоту дрона

Спробуємо зменшити кількість пересічних перешкод до семи перед моделлю дрона, результат наведен на рис. 3.16. У нашій моделі, в якості перешкод виступає модель стовпа. У реальних умовах це можуть бути дерева, погодні умови (дощ, туман, сніг).

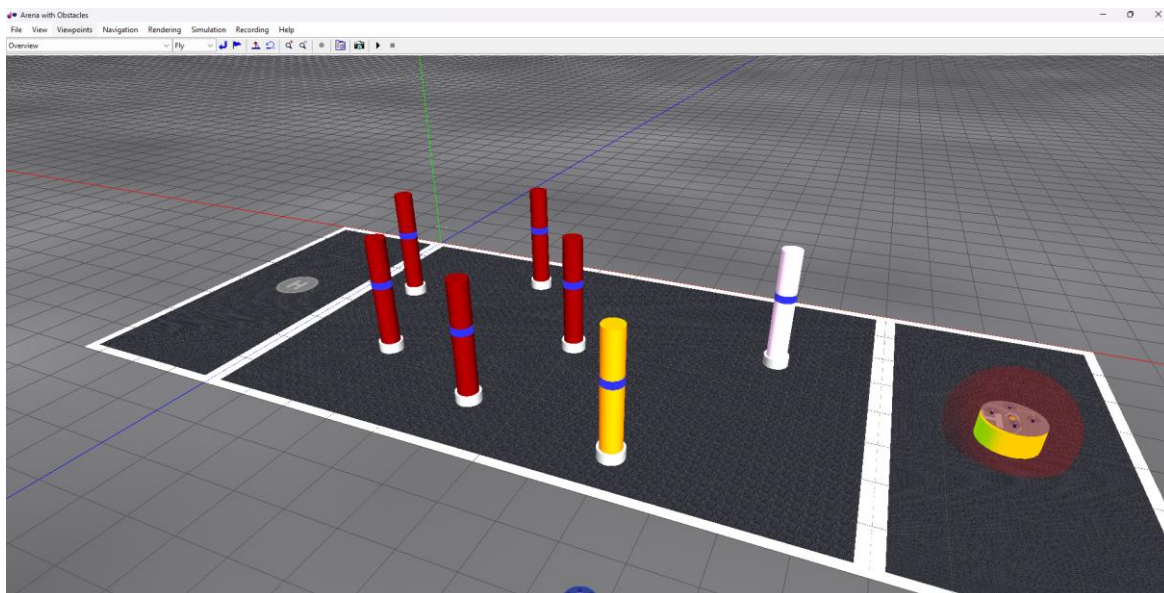


Рисунок 3.16 - Імітаційне поле з меншою кількістю перешкод

Мета даного модельного аналізу полягає в дослідженні впливу на ефективність дрона при зменшенні кількості перешкод і вплив на загальну ефективність.

Виходячи з графіка на рис. 3.17 - зміна кількості перешкод скоротило час перельоту дрону. На графіку це відобразилося в одиницях секунд, але слід враховувати і повільну швидкість польоту. Якщо розглядати реальні умови, час може вимірюватися в декількох хвилинах.

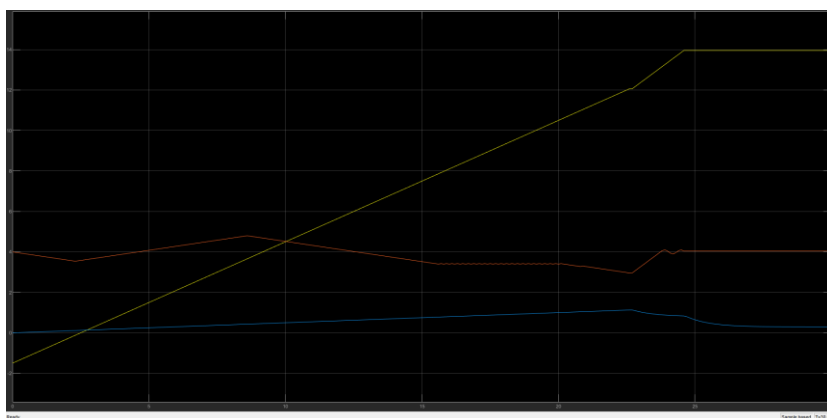


Рисунок 3.17 – Графік проходження шляху при з меншою кількістю перешкод

Для обчислення ефективності необхідно провести реальне тестування. Під час розроблення моделі враховувалися тільки сприятливі умови у вигляді гарної

якості зображення, що зберігається і порівнюється, малий вплив зовнішніх чинників на кшталт вітру, поганого освітлення, або місць, на яких була присутня велика кількість схожих фрагментів, або, навпаки, повна їхня відсутність. Але зі свого боку можу додати, що метод має великий потенціал і може мати під собою інші підстави та цілі для його застосування.

Застосування моделі показало ефективність правильного вибору напрямку у 22 з 26 випадків. У відсотковому співвідношенні - 72%.

На рис. 3.18 представлено звіт із тестування системи. Із 22 моделювань 4 були не успішними. У більшості випадків це пов'язано з розмитим зображенням, або відсутністю фрагментів для проведення зіставлення

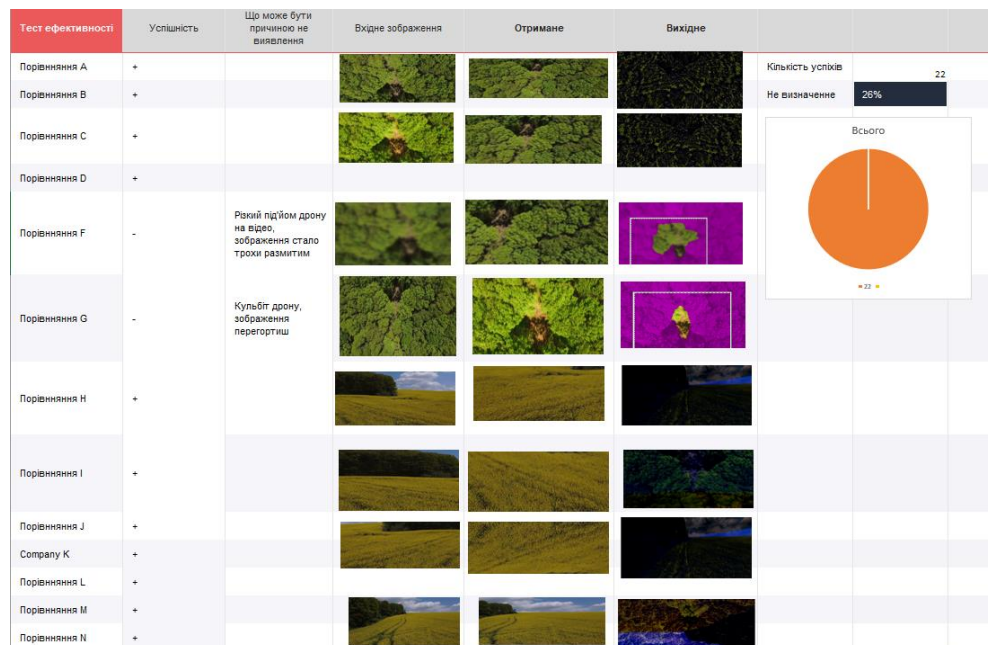


Рисунок 3.18 – Тест ефективності роботи методу

3.3 Висновки до розділу 3

У розділі було розглянуто метод зіставлення зображення для відновлення втраченого з'єднання, шляхом порівняння вихідного і збереженого раніше зображення, а також розробка імітаційної моделі. Метод є перспективним і легко впроваджуваним, на практичній основі з різних галузей, таких як комп'ютерний зір, робототехніка, медична діагностика, біометрія і картографія. Основною

перевагою цього методу є його універсальність і забезпечення повної автономності. На основі методу можна розробляти програми, спрямовані не тільки на повернення дрона до точки, а й на пошук необхідних об'єктів за навченими критеріями. Реалізація програми відбувається на верхньому рівні ієрархічної системи. Для моделювання використовувалася бібліотека TensorFlow і мова програмування Python, а для фільтрації зображень - сервіс Supervisely.

Робота алгоритму автоматизованої системи полягає в порівнянні та зіставленні вхідного зображення і на момент наявності з'єднання. Зображення обробляються, виокремлюються обриси меж пікселів об'єктів. Зіставлення вхідного і відфільтрованого зображення приводиться в напівтонове, виявлення меж об'єктів відбувається за допомогою градієнтних операторів. Отримана маска застосовується до вихідного зображення, виділяючи посилення контурів. Для децентралізації розмірів об'єкта під час зіставлення форми використовується ерозія. Після успішного накладення з отриманням вихідних даних формується вибір правильного напрямку. Для планування траєкторій було використано поліноміальну форму. Наведена ієрархічна система слугує для розвантаження процесів і їхнього ефективного розподілу між компонентами. У роботі було використано трирівневу систему. Верхній рівень служить для опрацювання інформації для формування необхідних завдань виходячи з умов. Середній рівень використовується для отримання даних з нижнього рівня. Нижній рівень - виконавчий. Наведене моделювання продемонструвало ефективність наведеної ієрархічної системи. Ефективність методу при тестуванні показало 72% при повній автономії.

ВИСНОВКИ

Історія розвитку дронів являє собою безперервний шлях технологічного прогресу, починаючи з перших експериментів на початку 20-го століття і закінчуючи широким використанням у різних галузях сучасності. Ці пристрої пройшли шлях від військового застосування до широкого спектра цивільних завдань, і їхнє майбутнє залишається вкрай перспективним, надаючи нові можливості та виклики в технологічній, науковій та бізнес-сферах. Попри значний потенціал, технічні реальності дають змогу керувати пристроєм на обмеженій відстані, зазвичай до 10 км. Втрата сигналу під час керування дроном є частою проблемою, яка може мати серйозні наслідки, включно з втратою контролю над апаратом, аваріями, потенційними загрозами безпеці та конфіденційності даних, а також фінансовими втратами. Ця проблема підкреслює важливість розроблення надійних систем зв'язку та технічних засобів, а також дотримання суворих нормативних заходів для забезпечення безпечного та ефективного використання дронів у різних галузях. Найнадійнішим рішенням є використання альтернативного джерела управління - автопілота. Для розуміння поведінки дрона створено математичну модель, що дає змогу абстрагуватися від поведінки квадрокоптера в різних сценаріях. Математичні рівняння і моделювання використовувалися для опису фізичних параметрів, динаміки польоту і розробки стратегії управління в ситуаціях втрати зв'язку. Це важливий аспект, який дає змогу передбачити й оцінити поведінку дрона в реальному світі та оптимізувати його функціональність у процесі розроблення автономних систем керування.

Було розглянуто процес фільтрації вхідного зображення. Цей процес опрацювання зображень з використанням різних методів фільтрації покращує якість, усуває шуми, виділяє певні характеристики та переводить інформацію в машинний формат. Фільтрація відіграє ключову роль в орієнтації в просторі зображень і підготовці даних для подальших алгоритмів комп'ютерного зору та аналізу.

Усі дані, включно із зображеннями та координатами, мають бути захищені від несанкціонованого доступу. Шифрування відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки інформації та підтримці надійних комунікацій у цифровому світі, особливо під час обміну чутливими або особистими даними.

У роботі для розв'язання завдань було обрано ієрархічний метод управління. Цей підхід дає змогу організувати систему управління на різних рівнях, де кожен рівень відповідає за певні аспекти управління залежно від пріоритетів і ситуації. Це сприяє створенню надійної автономної системи, здатної адаптуватися до мінливих умов без участі оператора.

Використання Matlab у роботі дало змогу максимально точно моделювати й аналізувати дані, створювати алгоритми та розробляти системи керування. Це широкий інструментарій для роботи з даними та дає змогу наблизити результати до реальних умов.

Для розв'язання було використано метод зіставлення зображення для відновлення зв'язку при втраті сигналу, що ґрунтується на порівнянні вхідного і попередньо збереженого зображення, а також розроблено імітаційну модель. Цей метод перспективний і має широке застосування в різних галузях, як-от комп'ютерний зір, робототехніка, медична діагностика, біометрія та картографія. Основною перевагою методу є його універсальність і забезпечення повної автономності. На його основі можна розробляти програми не тільки для повернення дрона в точку, а й для пошуку потрібних об'єктів за навченими критеріями.

Реалізація програми здійснюється на верхньому рівні ієрархічної системи. Для моделювання використовувалася бібліотека TensorFlow і мова програмування Python, а для фільтрації зображень - сервіс Supervisely.

Алгоритм автоматизованої системи ґрунтується на порівнянні та зіставленні вхідного зображення і зображення на момент наявності зв'язку. Зображення обробляються для виділення контурів об'єктів, потім відбувається зіставлення в напівтоновому вигляді та виділення контурів за допомогою градієнтних операторів. Отримана маска застосовується до вхідного зображення,

виділяючи посилення контурів. Для зміни розмірів об'єкта під час зіставлення форми використовується ерозія. Після успішного накладення форми формується вибір правильного напрямку за допомогою поліноміальної форми.

Для планування траєкторій використовувалася поліноміальна форма. Ієрархічна система була організована для розподілу процесів та ефективного управління ними між компонентами. У роботі використовувалася трирівнева система, де верхній рівень формує завдання, середній отримує дані з нижнього рівня, а нижній виконує завдання. Моделювання продемонструвало ефективність цієї ієрархічної системи, показавши 72% ефективності за повної автономії під час тестування. Результати цього дослідження можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем автоматичного управління БПЛА в різних областях застосування. Отже, в роботі:

- проаналізовано функціонал та недоліки систем автоматичного керування безпілотними літальними апаратами у разі втрати зв'язку з пілотом;

- визначені проблеми, зокрема у сферах безпеки та місії;

- розроблені конкретні пропозиції з модернізації системи для підвищення її автономності та управління у втраті зв'язку;

- запропоновано технічні рішення, які включають вдосконалення алгоритмів;

- розраховано очікувані позитивні наслідки вдосконалень на продуктивність БПЛА;

- описано тестування нових функцій перед впровадженням;

- вказані напрями подальшого розвитку системи для постійного покращення її функціональності.

Загальний висновок підкреслює, що впровадження запропонованих змін і модернізація системи можуть суттєво підвищити надійність та продуктивність БПЛА у випадках втрати зв'язку з пілотом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Drone Pilot's Handbook: UAVS Design, Development and Deployment / Reg Austin, 2012. — 368 с.
2. Artificial Intelligence for Robotics / Luca Marchionni and Siddhartha Shaky, 2021. — С. 128—134.
3. Українські поля в травні з дрона. (2020). URL: https://www.youtube.com/watch?v=8IM2eVdssG4&ab_channel=OleksandrKusko
[v](#)
4. Репозиторій вихідного коду. (2023). URL: <https://github.com/blazarenas/code.git/>
5. Control of Uncertain Systems: Modelling, Approximation, and Design – A Workshop on the Occasion of Keith Glover's 60th Birthday / A. Saberi, K. H. Johansson, C. T. Chou, 2007. — 387 с.
6. Control of Complex Systems: Structural Constraints and Uncertainty / Vladimir Turetsky, 2010. — 188 с.
7. Analysis and Design of Networked Control Systems / Keyou You, Qing-Guo Wang, 2015. — 204 с.
8. Fault-Tolerant Control Systems: Design and Practical Applications / Fabio Previdi, Fulvio Pasqualetti, 2013. — 256 с.
9. Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB® / Liuping Wang, Choon Ki Ahn, 2014. — С. 387—392.
10. Communication Constraints in Control Systems / Ardeshir Guran, 2013. — 13 с.
11. Practical Drone Photography: Tips & Techniques for Taking Amazing Photographs and Videos with Drones / Danny Grizzle, 2022.
12. Drones For Dummies / Mark LaFay, Wiley, 2021. — 49 с.
13. Drone Operations: A Handbook for Safe and Efficient Drone Use / Kevin Lauscher, 2021. — 12 с.
14. Commercial Drone License Guide: FAA 107 Study Guide / Grayson Johnson, 2022. — 88 с.

15. Drones: Their Many Civilian Uses and the U.S. Laws Surrounding Them / John Lincoln, 2022. — 142 c.
16. Advances in Cooperative Control and Optimization of Distributed Energy Systems / Panos M. Pardalos, Francisco A. M., 2022. — 201 c.
17. Optimal and Learning Control for Autonomous Robots / Nik Nikolyev, 2021. — 95 c.
18. Grlj CG, Krznar N, Pranjić M. A decade of UAV docking stations: a brief overview of mobile and fixed landing platforms. *Drones*. 2022;6(1):17.
19. Kanellakis C, Nikolakopoulos G. Survey on computer vision for UAVs: current developments and trends. *J Intell Rob Syst*. 2017;87(1):141–168.
20. Shin M, Kim J, Levorato M. Auction-based charging scheduling with deep learning framework for multi-drone networks. *IEEE Trans Veh Technol*. 2019;68(5):4235–4248.
21. Oubbati OS, Atiquzzaman M, Ahanger TA, Ibrahim A. Softwarization of UAV networks: a survey of applications and future trends. *IEEE Access*. 2020;8:98073–98125.
22. Haider SK, Nauman A, Jamshed MA, Jiang A, Batool S, Kim SW. Internet of drones: routing algorithms. *Tech Chall Math*. 2022;10(9):1488.
23. Hill AC, Laugier EJ, Casana J. Archaeological remote sensing using multi-temporal, drone-acquired thermal and Near Infrared (NIR) Imagery: a case study at the Enfield Shaker Village. *New Hamps Remote Sens*. 2020;12(4):690.
24. Xu J, Zeng Y, Zhang R. UAV-enabled wireless power transfer: trajectory design and energy optimization. *IEEE Trans Wireless Commun*. 2018;17(8):5092–5106.
25. Thipyopas C, Sripawadkul V, Warin N (2019) Design and development of a small solar-powered UAV for environmental monitoring application. In: 2019 IEEE Eurasia conference on IOT, communication and engineering (ECICE). IEEE, pp 316–319.

ДОДАТОК А

Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій

Метою цього розділу є аналіз небезпечних і шкідливих чинників, які можуть виникнути під час роботи інженерів і проектувальників систем безпілотних літальних апаратів.

Характеристика пристрою

Дрон має вогнебезпечні й вибухові матеріали. БПЛА середнього розміру, по типу квадрокоптера, як правило, працюють при напрузі 16.1В або 18.8В. Обслуговування пристрою доручається особам, які мають кваліфікацію, що відповідає чинним вимогам.

Квадрокоптер працює від акумуляторної батареї постійного струму 18/26 В. Під час роботи з будь-яким електроприладом може виникнути небезпека ураження електричним струмом. Під час експлуатації необхідно дотримуватися певних заходів захисту. Насамперед - це вимоги до персоналу, зайнятого роботою та обслуговуванням БПЛА. Необхідний допуск з електробезпеки залежить від того, які операції з обладнанням виконує працівник (ремонт, обслуговування, налаштування, управління, користування).

Для операторів БПЛА достатньо 1 групи допуску в електроустановках, яку присвоюють неелектротехнічному персоналу, що виконує роботи, під час яких може виникнути небезпека ураження електричним струмом. Якщо працівник виконує ремонт, обслуговування та налаштування техніки, то вимоги до допуску з електробезпеки посилюються - необхідна 3 група до 1000 В.

Визначимо силу струму, що протікає через тіло людини у випадку враження струмом від акумуляторної батареї. Напруга живлячо $U = 16 \text{ В}$. Інші вихідні дані: опір тіла людини $R_{\text{тіла}}$, кОм, опір підлоги $R_{\text{підлоги}}$, кОм, опір ізоляції гіз, кОм і опір взуття $R_{\text{взуття}}$, кОм наведені в таблиці 7.1.

$$I_{\text{л}} = \frac{U}{2R_{\text{л}} + r}, A \quad (1.1)$$

$$I = 16 / (2 * 58.4 + 700) = 0.019 A, \quad (1.2)$$

$$R_{\text{л}} = R_{\text{м}} + R_{\text{н}} + R_{\text{с}} = 0.9 + 50 + 7.5 = 57.52, \quad (1.3)$$

Визначимо силу струму, що протікає через тіло людини у випадку її дотику до частини електрокомпонентів в мережі з ізолюваною для людини, порівняємо отримані значення з допустимими. Для розрахунку задані: лінійна напруга мережі УЛ, кВ, опір ізоляції фазних проводів ($r_A = r_B = r_C = r_{\text{із}}$), ємність фазних проводів відносно землі ($C_A = C_B = C_C = C$), перехідний опір в місці замикання на землю R_K , Ом, опір тіла людини $R_{\text{тіла}}$, кОм, матеріал підшви взуття і матеріал опорної поверхні ніг (підлоги). Вихідні дані наведені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Вихідні дані

U, кВ	r, кОм	C, мкФ	R, кОм	Матеріал підшви взуття	Матеріал опорної поверхні ніг
6	50	0,050	2,0	Шкіра с.	Цегла с.

$$I_{\text{л}} = \frac{U}{R \sqrt{1 + \frac{r(r + 6R)}{9R(1 + r^2 \cdot \omega^2 \cdot C^2)}}}, \quad (1.6)$$

$$R_{\text{л}} = R_{\text{м}} + R_{\text{н}} + R_{\text{с}} = 2 + 0,1 + 50 = 52.1, \quad (1.6)$$

$$I = 6 / (52.1 * \sqrt{1 + ((140 * (50 + 6 * 52.1)) / (3 * 52.1 * (1 + 50^2 * (6^{-8} * 0.050)^2)))}) = 1.5, \quad (1.6)$$

Робота з безпілотними літальними апаратами (БПЛА) вимагає особливої уваги до електробезпеки. Забезпечення безпечної роботи з БПЛА включає в себе необхідність дотримання запобіжних заходів під час поводження з електричними компонентами, включно з батареями та зарядними пристроями. Це важливо для запобігання нещасним випадкам, пов'язаним з електроживленням, і забезпечення безпечної експлуатації БПЛА.

ДОДАТОК Б

Код програми

```

import os
import time
import glob
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import tensorflow as tf
import tensorflow_addons as tfa

from skimage import measure
from skimage.io import imread, imsave, imshow
from skimage.transform import resize
from skimage.filters import gaussian
from skimage.morphology import dilation, disk
from skimage.draw import polygon, polygon_perimeter

print(f'Tensorflow version {tf.__version__}')
print(f'GPU is {"ON" if tf.config.list_physical_devices("GPU") else "OFF" }')
CLASSES = 8

COLORS = ['black', 'red', 'lime',
          'blue', 'orange', 'pink',
          'cyan', 'magenta']

SAMPLE_SIZE = (256, 256)

OUTPUT_SIZE = (1080, 1920)
def load_images(image, mask):
    image = tf.io.read_file(image)
    image = tf.io.decode_jpeg(image)
    image = tf.image.resize(image, OUTPUT_SIZE)
    image = tf.image.convert_image_dtype(image, tf.float32)
    image = image / 255.0

    mask = tf.io.read_file(mask)
    mask = tf.io.decode_png(mask)
    mask = tf.image.rgb_to_grayscale(mask)
    mask = tf.image.resize(mask, OUTPUT_SIZE)
    mask = tf.image.convert_image_dtype(mask, tf.float32)

    masks = []

    for i in range(CLASSES):
        masks.append(tf.where(tf.equal(mask, float(i)), 1.0, 0.0))

```

```

masks = tf.stack(masks, axis=2)
masks = tf.reshape(masks, OUTPUT_SIZE + (CLASSES,))

return image, masks

def augmentate_images(image, masks):
    random_crop = tf.random.uniform((), 0.3, 1)
    image = tf.image.central_crop(image, random_crop)
    masks = tf.image.central_crop(masks, random_crop)

    random_flip = tf.random.uniform((), 0, 1)
    if random_flip >= 0.5:
        image = tf.image.flip_left_right(image)
        masks = tf.image.flip_left_right(masks)

    image = tf.image.resize(image, SAMPLE_SIZE)
    masks = tf.image.resize(masks, SAMPLE_SIZE)

    return image, masks
images = sorted(glob.glob('SemanticSegmentationLesson/dataset/images/*.jpg'))
masks = sorted(glob.glob('SemanticSegmentationLesson/dataset/masks/*.png'))

images_dataset = tf.data.Dataset.from_tensor_slices(images)
masks_dataset = tf.data.Dataset.from_tensor_slices(masks)

dataset = tf.data.Dataset.zip((images_dataset, masks_dataset))

dataset = dataset.map(load_images, num_parallel_calls=tf.data.AUTOTUNE)
dataset = dataset.repeat(60)
dataset = dataset.map(augmentate_images, num_parallel_calls=tf.data.AUTOTUNE)
images_and_masks = list(dataset.take(5))

fig, ax = plt.subplots(nrows = 2, ncols = 5, figsize=(15, 5), dpi=125)

for i, (image, masks) in enumerate(images_and_masks):
    ax[0, i].set_title('Image')
    ax[0, i].set_axis_off()
    ax[0, i].imshow(image)

    ax[1, i].set_title('Mask')
    ax[1, i].set_axis_off()
    ax[1, i].imshow(image/1.5)

    for channel in range(CLASSES):
        contours = measure.find_contours(np.array(masks[:, :, channel]))
        for contour in contours:
            ax[1, i].plot(contour[:, 1], contour[:, 0], linewidth=1, color=COLORS[channel])

plt.show()
plt.close()
train_dataset = dataset.take(2000).cache()
test_dataset = dataset.skip(2000).take(100).cache()

```

```

train_dataset = train_dataset.batch(16)
test_dataset = test_dataset.batch(16)
def input_layer():
    return tf.keras.layers.Input(shape=SAMPLE_SIZE + (3,))

def downsample_block(filters, size, batch_norm=True):
    initializer = tf.keras.initializers.GlorotNormal()

    result = tf.keras.Sequential()

    result.add(
        tf.keras.layers.Conv2D(filters, size, strides=2, padding='same',
                                kernel_initializer=initializer, use_bias=False))

    if batch_norm:
        result.add(tf.keras.layers.BatchNormalization())

    result.add(tf.keras.layers.LeakyReLU())
    return result

def upsample_block(filters, size, dropout=False):
    initializer = tf.keras.initializers.GlorotNormal()

    result = tf.keras.Sequential()

    result.add(
        tf.keras.layers.Conv2DTranspose(filters, size, strides=2, padding='same',
                                         kernel_initializer=initializer, use_bias=False))

    result.add(tf.keras.layers.BatchNormalization())

    if dropout:
        result.add(tf.keras.layers.Dropout(0.25))

    result.add(tf.keras.layers.ReLU())
    return result

def output_layer(size):
    initializer = tf.keras.initializers.GlorotNormal()
    return tf.keras.layers.Conv2DTranspose(CLASSES, size, strides=2, padding='same',
                                           kernel_initializer=initializer, activation='sigmoid')

inp_layer = input_layer()

downsample_stack = [
    downsample_block(64, 4, batch_norm=False),
    downsample_block(128, 4),
    downsample_block(256, 4),
    downsample_block(512, 4),
    downsample_block(512, 4),
    downsample_block(512, 4),
    downsample_block(512, 4),

```

```

]

upsample_stack = [
    upsample_block(512, 4, dropout=True),
    upsample_block(512, 4, dropout=True),
    upsample_block(512, 4, dropout=True),
    upsample_block(256, 4),
    upsample_block(128, 4),
    upsample_block(64, 4)
]

out_layer = output_layer(4)

# Реализуем skip connections
x = inp_layer

downsample_skips = []

for block in downsample_stack:
    x = block(x)
    downsample_skips.append(x)

downsample_skips = reversed(downsample_skips[:-1])

for up_block, down_block in zip(upsample_stack, downsample_skips):
    x = up_block(x)
    x = tf.keras.layers.Concatenate()([x, down_block])

out_layer = out_layer(x)

unet_like = tf.keras.Model(inputs=inp_layer, outputs=out_layer)

tf.keras.utils.plot_model(unet_like, show_shapes=True, dpi=72)
def dice_mc_metric(a, b):
    a = tf.unstack(a, axis=3)
    b = tf.unstack(b, axis=3)

    dice_summ = 0

    for i, (aa, bb) in enumerate(zip(a, b)):
        numerator = 2 * tf.math.reduce_sum(aa * bb) + 1
        denominator = tf.math.reduce_sum(aa + bb) + 1
        dice_summ += numerator / denominator
    avg_dice = dice_summ / CLASSES
    return avg_dice
def dice_mc_loss(a, b):
    return 1 - dice_mc_metric(a, b)
def dice_bce_mc_loss(a, b):
    return 0.3 * dice_mc_loss(a, b) + tf.keras.losses.binary_crossentropy(a, b)

```