

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет комп'ютерних наук і технологій
(повне найменування факультету)

Кафедра системного аналізу та обчислювальної математики
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

Бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка системи для обробки інформації, яка отримана
від квадрокоптера
(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи КНТ-819

Спеціальності 124 – Системний аналіз
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Інтелектуальні технології та прийняття рішень в
складних системах»

ТІМОШЕНКО І.К.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник БАХРУШИН В.Є.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ЛОЗОВСЬКА Л.І.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет _____ комп'ютерних наук і технологій
Кафедра _____ Системного аналізу та обчислювальної математики
Ступінь вищої освіти _____ бакалавр
Спеціальність _____ 124-Системний аналіз
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) _____ Основи системного аналізу
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри _____
Еліна ТЕРЕЩЕНКО _____
«09» червня _____ 20 23 року _____

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Тімошенка Іллі Костянтиновича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка системи для обробки інформації, яка
отримана від квадрокоптера
керівник проекту (роботи) д.ф.-м.н., проф., БАХРУШИН Володимир
Євгенович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «18» квітня 2023 року № 121

2. Строк подання студентом проекту (роботи) «10» червня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Система для обробки інформації, щодо
стану ліній електропередач

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) розібрати методи моніторингу, обрати методи зберігання та
обробки інформації, сформулювати задачі польоту та керування, вибір засобів
автоматизації.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

6. Консультанти розділів проекту _____

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	БАХРУШИН Володимир, д.ф.-м.н., проф.	01 березня 2023	09 червня 2023
2	БАХРУШИН Володимир, д.ф.-м.н., проф.	01 березня 2023	09 червня 2023
3	БАХРУШИН Володимир, д.ф.-м.н., проф.	01 березня 2023	09 червня 2023
4	БАХРУШИН Володимир, д.ф.-м.н., проф.	01 березня 2023	09 червня 2023
Нормоконтроль	Широкоград Д.В., к.ф.-м.н., ст. викл.	09 червня 2023	

7. Дата видачі завдання « 01 » березня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Дослідити структуру і дані реєстру	10.03.2023 – 25.03.2023	
2	Опрацювати літературу за темою дослідження	26.03.2023 – 11.04.2023	
3	Опрацювати методику дослідження	12.04.2023 – 07.05.2023	
4	Виконати розрахунки і побудувати діаграми	08.05.2023 – 16.05.2023	
5	Проаналізувати результати та зробити висновки	17.05.2023 – 26.05.2023	
6	Оформити пояснювальну записку	27.05.2023 – 05.06.2023	
7	Попередній захист дипломної роботи та отримання рецензій	06.06.2023 – 11.06.2023	
8	Захист дипломної роботи	12.06.2023	

Студент(ка)

Ілля ТІМОШЕНКО
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

Володимир БАХРУШИН
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 69с., 28 рис., 14 джерел., 1 додаток.

Об'єкт дослідження – система для обробки інформації від квадрокоптера.

Предмет дослідження – аналіз сучасних методів роботи з лініями електропередач.

Мета робота – підвищити ефективність бригад моніторингу ліній з одночасним скороченням витрат і автоматизацією всього процесу.

Методи роботи – збір елементів системи моніторингу та статистичний аналіз.

В дипломній роботі був проведений найкращої системи моніторингу ліній електропередач.

МЕТОДИ ОЦІНКИ ТА МОНІТОРИНГУ ЛЕП, ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ БПЛА, ІНЕРЦІАЛЬНА СИСТЕМА НАВІГАЦІЇ, ЗАДАЧА ПОЛЬОТУ ПО ДЕКІЛЬКАХ ТОЧКАХ, ПЕРЕДАЧА ДАНИХ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ, СИСТЕМА ОПРАЦЮВАННЯ ДАТЧИКІВ, КОМПОНОВКА СХЕМИ.

ЗМІСТ

Завдання.....	2
Реферат	4
Зміст	5
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	7
Вступ.....	8
1 Конструктивно-технічний аналіз моніторингу	10
1.1 Методи оцінки та моніторингу ЛЕП.....	10
1.2 Технічний аналіз БПЛА.....	14
1.2.1 Літаковий тип.....	14
1.3 Отримання результативної інформації під час польоту та методи зберігання та обробки інформації	18
1.4 Формування задачі обльоту.....	21
2 Функціональні завдання автоматизації.....	23
2.1 Контур навігації у просторі та на місцевості.....	24
2.1.1 Система GPS.....	24
2.1.2 Інерціальна система навігації	25
2.1.3 Задача польоту по декільках точках	26
2.1.4 Задача польоту по заданій траєкторії.....	29
2.1.5 Політ за ручним керуванням	30
2.1.6 Утримання у повітрі та стабілізації.....	30
2.2 Контур аерофотозйомки, супроводження заданої траєкторії камерою...	33
2.2.1 Польотна камера	33
2.2.2 ІЧ-камера	34
2.2.3 TOF(time of flow) – камера	35
2.2.4 Гіростабілізована платформа	36
2.2.5 Супроводження заданої траєкторії камерою	38
2.3 Процеси обробки даних	43

2.3.1	Передача даних у реальному часі.....	43
2.3.2	Зберігання та логування даних.....	45
3	Обґрунтування і вибір засобів автоматизації.....	47
3.1	Вибір літального апарату	47
3.2	Система GPS.....	49
3.3	Система ІНС та система стабілізації БПЛА.....	51
3.3.1	Гіроскоп.....	53
3.3.2	Акселерометр	54
3.3.3	Інклінометр.....	55
3.4	Вибір польотної, ІЧ та TOF камер.....	56
3.4.1	TOF камера	56
3.4.2	Вибір ІЧ камери	59
3.5	Радіозв'язок та зберігання даних	61
3.5.2	Зберігання даних	61
3.6.	Пульт керування БПЛА.....	61
3.7	Система опрацювання датчиків	64
3.8	Побудування повної принципової схеми.....	65
	Висновки.....	66
	Перелік посилань	67
	Додаток А.Код Python.....	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

CAM – камера

INR – інерційна система навігації

G – гіроскоп

IN – інклінометр

M – мотор

BMC – контролер обертів безколекторного двигуна

A – антена

GY – гіростабілізована платформа

GPS – глобальна система позиціонування

БПЛА – безпілотний літальний апарат

FPV – first person view

TOF – time of flow

ВСТУП

Лінія електропередач є основним елементом електромережі і призначена для передачі електроенергії. Зовнішні фактори можуть спричинити пошкодження або деформацію ліній електропередач, впливаючи як на опори, так і на ізолятори. Погодні умови та природні елементи не єдині винуватці цієї проблеми; несанкціоноване втручання людини також може призвести до змін або пошкодження ліній електропередач.

Моніторинг лінії електропередач важливий для оперативного виявлення та керування будь-якими коливаннями або змінами в її функціонуванні.

Моніторинг ліній електропередач можна здійснювати за допомогою двох основних варіантів.

Для проведення обстеження бригада робітників повинна фізично перебувати біля ліній електропередач та опор. Робочі проводять обстеження вручну шляхом збору інформації про стан деформації проводів, ізоляторів, опор.

Використання БПЛА в ручному, автоматичному або напіваавтоматичному режимі є засобом, за допомогою якого проводиться дослідження. Що стосується ліній електропередач, результатом такого обстеження повинні бути вичерпні дані, які дозволять оператору робити обґрунтовані висновки про стан ліній електропередач.

Використовуючи БПЛА для моніторингу ліній електропередач, можна досягти значного скорочення витрат, а також оптимізувати час і людські ресурси, необхідні для збору точної інформації про лінії електропередач. Крім того, використання БПЛА забезпечує безпеку групи спостереження.

Розвиток індустрії безпілотних літальних апаратів (БПЛА) швидко прогресує завдяки ряду переваг, яких немає в пілотованій авіації. Ці переваги включають відносно економічні витрати на виробництво та обслуговування БПЛА, а також їх здатність швидко і точно досягати місць, які або недоступні

для людей, або потребують спеціального обладнання.

Ефективне використання БПЛА тісно пов'язане з прогресом мікропроцесорної техніки, систем керування, навігації та передачі інформації.

Прогрес, досягнутий у цій галузі, дозволив виконувати автоматичний зліт, посадку та політ від початку до кінця, а також полегшив моніторинг різних поверхонь. Військові БПЛА призначені для ведення розвідки, пошуку, виявлення цілей і знищення. Як наслідок, розробка самого літака, або LA, активно ведеться в більшості промислово розвинутих країн.

В Україні майже немає випадків впровадження БПЛА для моніторингу ліній електропередач подібним методом.

Основна мета розробки системи моніторингу ліній електропередач полягає в тому, щоб підвищити ефективність бригад моніторингу ліній з одночасним скороченням витрат і автоматизацією всього процесу.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МОНІТОРИНГУ

1.1 Методи оцінки та моніторингу ЛЕП

Основною метою є отримання відповідних даних для оператора, які включають дизайн аерофотознімка, що охоплює повний політ дрона, 3D-карту відстаней (з точністю до 15 см) для накладання на аерофотоплан, а також зображення значущих точок. лінії передачі в різноманітних спектрах (ІЧ, УФ та видимий спектр). Дрон виконує автоматичну аерофотозйомку ліній електропередач під час польоту. Згодом зображення, що містять просторові координати центру фотографій і телеметричні дані автопілота, завантажуються у фотограмметричне програмне забезпечення.

Ортофотоплощина формується шляхом автоматичної трансформації та комбінування конкретних зображень.

Для підвищення точності та надійності виявлення дефектів повітряних ліній електропередач під час перевірки БПЛА в якості корисних навантажень можуть використовуватися різні вимірювальні прилади, а також цифрові камери, що працюють в оптичному діапазоні. Ці інструменти полегшують захоплення відеоматеріалів у реальному часі, інфрачервоних та ультрафіолетових зображень або хмар точок відбиття лазера (3D TOF).

Варто уважніше вивчити якості та можливості цього обладнання для дистанційного зондування повітряних ліній електропередач. Використання безпілотного літального апарату, призначеного для авіації, з передачею відео в режимі реального часу на пульт оператора особливо корисно для первинних оглядів повітряних ліній електропередач. Це необхідно для забезпечення постійного контролю за станом повітряних ліній електропередачі, а також у випадках непередбачених криз.

Незважаючи на наявність дефектів, виявити їх з висоти 200-220 м є складним завданням. Це пов'язано з обмеженою роздільною здатністю зображень відеокамери формату FullHD, які мають лише 2 мегапікселі

(1920x1080 пікселів). Для порівняння, зображення, зроблені цифровою камерою, такою як Sony RX-1, популярним вибором для зйомки БПЛА, у 12 разів більш детальні. Щоб збільшити дальність передачі понад 30 км, БПЛА потрібно літати на більшій висоті. Для відеозйомки верхніх елементів опор ЛЕП можна використовувати багатороторний безпілотний літальний апарат, оснащений камерою типу GoPro, з відстані 3-5 м. Цей метод не потребує ліфта, вертольота чи відключення напруги.

На рисунку 1 показано, що хоча ІЧ-зображення ліній електропередач за допомогою тепловізора дає зображення з хорошою чутливістю (0,1-0,3 К), збільшення мало (640x480 пікселів).

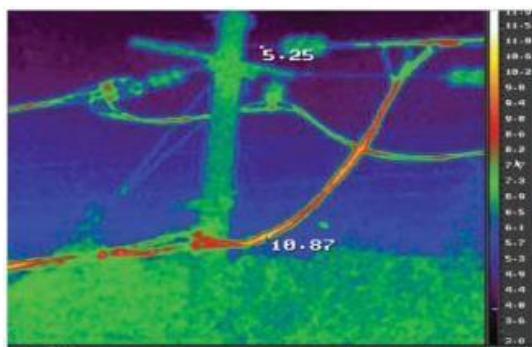


Рисунок 1.1 – Фотографія з ІЧ камери на відстані 6 метрів

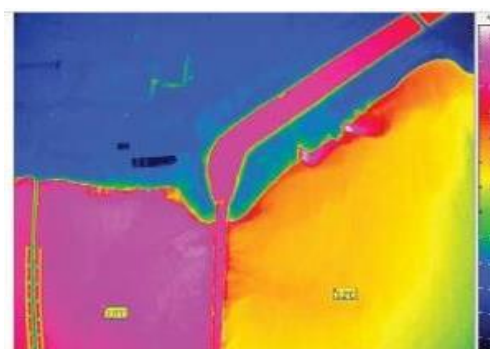


Рисунок 1.2 – Фотографія з ІЧ камери на відстані 180 метрів

Зображення, отримані інфрачервоною камерою, встановленою на БПЛА авіаційного типу, що летить на висоті 180 метрів, дозволяють виявити різні порушення, включаючи затоплення охоронних зон, руйнування опор, перегрів

великих трансформаторів або пожежі на великій території.

Представлена роздільна здатність зображення виявиться недостатньою для виявлення будь-яких порушень, які можуть виникнути в межах площі менше 1 м². Коли мова йде про зйомку компонентів лінії електропередач, найкраще використовувати безпілотний літальний апарат, оснащений тепловізором, у випадках, коли наземні методи не застосовуються.

Для отримання зображень ліній електропередач в ультрафіолетовому спектрі під час огляду можна використовувати УФ-камеру, яка працює у відповідному діапазоні [1].

Діапазон 240-280 нм, який зазвичай називають UVc, здатний поглинатися атмосферним озоном сонячного випромінювання. У результаті стає можливим візуально виявити часткові поверхневі розряди, також відомі як коронні, при природному освітленні. За допомогою УФ-камери під час зйомки можна виявити певні типи дефектів, які в іншому випадку залишилися б непоміченими (див. рис. 2).



Рисунок 1.3 – Фото ЛЕП УФ камерою для моніторингу розрядної активності

Для досягнення точних результатів необхідно переконатися, що цільова область піддається впливу протягом 5-10 секунд. У цьому вікні лічильник пульсу на пристрої може обчислити приблизне середнє значення активності розряду. Під час зйомки безперервного руху зі швидкістю 70-90 км/год певні

джерела активності розряду можуть залишитися непоміченими, тоді як інші джерела можуть давати пікові значення, які значно перевищують середні значення. Одним з рішень проблеми необхідності залишатися нерухомим під час впливу є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), зокрема багатороторних, які здатні залишатися в повітрі протягом тривалого часу.

Існує кілька обмежень щодо перевірки ліній електропередач за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які оснащені аеролазерними сканерами. Зокрема, лазерні сканери, розроблені спеціально для використання БПЛА та мають малу вагу, здатні вимірювати лише в межах обмеженого діапазону приблизно 100 метрів. Крім того, з огляду на площу поперечного перерізу існують додаткові обмеження [2].

Провід має округлу форму і може призвести до деякої дисперсії сигналу. Тому бажано робити знімки з висоти 50 метрів. Однак такий підхід неприпустимий при використанні безпілотної літальної системи типу літака. На щастя, цю проблему можна вирішити без труднощів, використовуючи багатороторні безпілотні літальні апарати, як показано на рис 1.3.

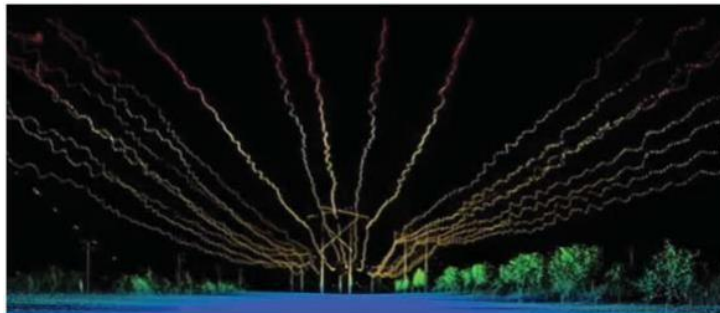


Рисунок 1.4 – Хмара точок лазерних відображень,отримане при зйомці
ЛЕП

1.2 Технічний аналіз БПЛА

Літак, як правило, складається з трьох основних компонентів: планера, основного силового двигуна та системи керування рухом по тангажу, ухилу й крену. Основна концепція польоту базується на контрасті швидкості наближення [3].

1.2.1 Літаковий тип

Літак, як правило, складається з трьох основних компонентів: планера, основного силового двигуна та системи керування рухом по тангажу, ухилу й крену. Основна концепція польоту базується на контрасті швидкості наближення.

Крило сконструйоване таким чином, щоб повітря текло як над, так і під ним, і воно рухається вперед крейсерським двигуном.

Основні переваги цього типу літака включають збільшену тривалість польоту порівняно з іншими моделями, а також відносно просту конструкцію та систему керування. Як правило, літальні апарати, побудовані за цим методом, мають енергетичне озброєння менше одиниці, що робить їх нездатними виконувати вертикальний зліт і посадку або зависати у фіксованому положенні. Ця функція має вирішальне значення для зйомки виняткових аерофотознімків на льоту[4].

1.2.2 Мультироторний тип (мультикоптер) - не є літальним апаратом з фіксованим крилом та не має планеру, та має 3 або більше двигунів[4].

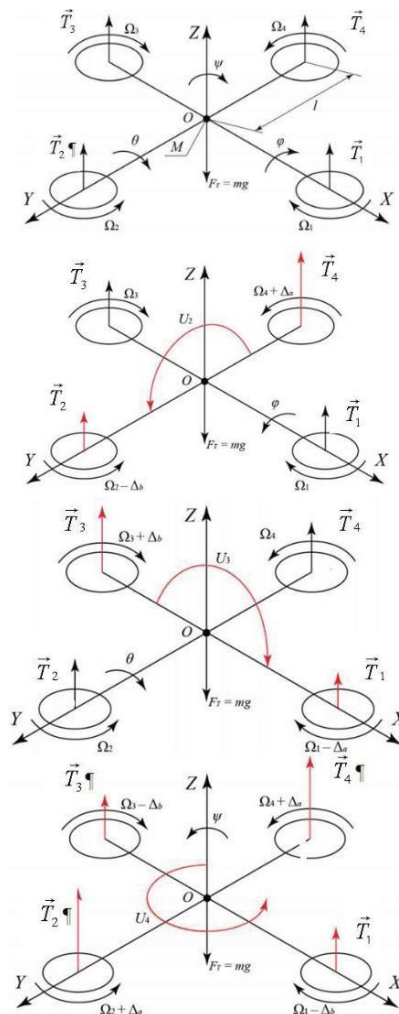


Рисунок 1.5 – Трьовимірна схема квадрокоптера

На відміну від одно- або двогвинтових машин, мультикоптери оснащені трьома і більше гвинтами постійного кроку і не мають автоматичного повороту[5].

Кожен гвинт мультикоптера працює від власного двигуна. Щоб усунути потребу в кермі, половина гвинтів обертається за годинниковою стрілкою, а інша половина – проти годинникової стрілки. Керування та рух мультикоптера здійснюється шляхом модуляції швидкості обертання пропелерів.

Щоб підняти, прискоріть обертання всіх гвинтів.

Щоб рухатися вбік, відрегулюйте гвинти з одного боку, щоб збільшити

швидкість і зменшити її з іншого.

Збільште швидкість обертання гвинтів.

Обертання в площині можна уповільнити обертанням проти годинникової стрілки.

Щоб підтримувати стабільне зависання, використовується мікропроцесорна система, яка перетворює інструкції радіоуправління в покрокові команди керування двигуном.

Для забезпечення стійкості під час польоту мультикоптер повинен мати три гіроскопічні системи, які встановлюють його кут нахилу відносно землі. У деяких випадках для передачі даних процесору використовується акселерометр, що дозволяє йому встановити абсолютно горизонтальне положення. Крім того, для підтримки потрібної висоти використовується барометричний датчик. Автоматична посадка і утримання на малій висоті полегшуються за допомогою гідролокатора або лазерного далекоміра.

Передумови створення безпілотних літальних апаратів.

Швидкість вітру може досягати максимум 15 метрів за секунду.

Температурний діапазон, включаючи нагрів батареї, становить від -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$ навколишнього середовища.

Тривалість польоту може досягати 55 хвилин.

Дальність польоту може досягати 15 кілометрів.

Цей пристрій здатний перевозити корисний вантаж вагою приблизно 3 кг.

Корисне навантаження складається з БПЛА.

Камеру, яка використовує технологію часу прольоту, можна назвати камерою TOF.

Гіростабілізована платформа містить камеру, здатну знімати зображення у видимому спектрі.

Камери, які працюють за допомогою інфрачервоної та ультрафіолетової технології.

Обладнання для радіозв'язку за допомогою телеметрії.

Акумулятор можна перезаряджати, а також може мати термозахисний кожух, який дає змогу працювати за низьких температур.

Враховуючи вимоги аерофотозйомки, включаючи зйомку з усіх типів камер, з пунктів 1.1 та 1.2.2 зрозуміло, що квадро- або гекса-мультироторний коптер у вигляді мультикоптера є найбільш підходящим варіантом через його здатність зависати, літати з високою точністю, не створюючи дуг польоту, мати високоенергетичне озброєння.

БПЛА складається з двох підсистем, а саме бортової підсистеми (БП), яка розташована на БПЛА, та стаціонарної підсистеми (СП), розташованої на стаціонарному пункті керування (КП).

Концепцію ВР можна розділити на два окремі компоненти: фундаментальну резидентну частину та набір адаптованих модулів. Резидентна частина розроблена таким чином, щоб бути максимально згуртованою з точки зору дрона, і охоплює три основні системи: управління, зв'язку та навігації.

Спершу СП створюється як юридична особа-резидент, невід'ємною складовою якої є системи зв'язку.

Здатність як демонструвати, так і керувати.

Коли мова заходить про безпілотні літальні апарати (БПЛА), системи зв'язку є важливими як для бортових, так і для стаціонарних операцій. Ці системи повинні забезпечувати надійний прийом і передачу даних, а також бути стійкими до потенційних перешкод від зовнішніх джерел. Крім того, канал зв'язку між БПЛА і центром управління повинен гарантувати безпеку інформації, що передається. Для цього необхідно виконати певні умови, включаючи обмін зашифрованою інформацією, стиснення даних, що надсилаються з БПЛА на блок управління, і здатність каналу протистояти будь-яким перешкодам.

Стаціонарна система відображення була розроблена з урахуванням інтерфейсу оператора, оскільки її метою було дозволити операторам керувати та контролювати БПЛА, а також отримувати інформацію від бортових засобів.

Бортова навігаційна система, призначена для полегшення керування

БПЛА, складається з інерціальної та супутникової підсистем, які працюють у тандемі для надання точної навігаційної інформації.

Обробка отриманої інформації, формування команд управління польотом і режимів роботи БПЛА, а також контроль роботи обладнання – це функції, які виконують бортові та стаціонарні системи управління. У ситуаціях, коли канали зв'язку недоступні, необхідно, щоб БПЛА мав можливість досягти автономності польоту за рахунок використання даних інерціальної підсистеми, а також результатів аналізу інформації від різних датчиків.

Для забезпечення оптимального виконання завдань необхідно раціонально розподілити функції управління між менеджерами систем БПЛА, враховуючи значний вплив системи управління на ефективність.

Необхідно враховувати, що положення оптимального рішення може змінюватися в залежності від зовнішніх факторів і характеру поставлених завдань. У ситуаціях, коли моніторинг необхідно здійснювати в умовах дефіциту каналів зв'язку, оптимальним рішенням буде перехід до більш високого рівня автономності. Досягнувши більшого ступеня автономності БПЛА, бортова система керування може ефективніше обробляти отриману інформацію, зменшуючи навантаження на систему зв'язку, оскільки натомість можна передавати оброблені дані.

Оптимізація бортової системи управління є важливою як для збільшення кількості, так і для підвищення якості вирішуваних завдань. Є можливість створити повністю автономний безпілотний літальний апарат (БПЛА), який може самостійно вирішувати всі завдання в автоматичному режимі. Однак незаперечним є те, що наявність грізних перешкод неминуче призведе до зростання помилок у діях БПЛА. Крім того, програмування всіх можливих ситуацій, яке передбачає навчання нейронної мережі на різноманітних навчальних зразках, є складною справою[6].

1.3 Отримання результативної інформації під час польоту та методи зберігання та обробки інформації

Системи зв'язку, які використовуються як у стаціонарних, так і в бортових установках, забезпечують надійну передачу та прийом даних, які стійкі до перешкод як для безпілотного літального апарату (БПЛА), так і для пов'язаного з ним центру керування. При цьому канал зв'язку між БПЛА і блоком управління повинен мати пріоритет безпеки передачі інформації. Щоб досягти цього, мають бути виконані певні параметри, такі як захист конфіденційності інформації, що надається, стиснення даних, які надсилаються з борту БПЛА на персональний комп'ютер, і забезпечення стійкості каналу до будь-яких активних спроб втручання.

Розроблена для полегшення інтерфейсу оператора для управління та контролю БПЛА, стаціонарна система відображення також отримує дані з бортових засобів.

Навігаційна система на борту БПЛА складається з інерціальної та супутникової підсистеми та призначена для надання навігаційних даних з метою керування транспортним засобом.

Системи управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) включають як бортові, так і стаціонарні системи. Ці системи відповідають за обробку вхідних даних, генерацію команд для управління польотом, встановлення режимів роботи та працездатності обладнання БПЛА. У ситуаціях, коли канали зв'язку недоступні, БПЛА повинен мати можливість здійснювати автономний політ за рахунок використання даних, отриманих від інерціальної підсистеми, та аналізу інформації, отриманої від різних датчиків.

Оптимізація бортової системи керування має вирішальне значення для розширення кількості та калібру завдань, які вона може виконувати. Одним з потенційних рішень є розробка повністю автоматизованого БПЛА, який зможе самостійно виконувати всі поставлені завдання. Однак важливо визнати, що за наявності значних перешкод вірогідність помилок у діях БПЛА неминуче зростає.

Аерофотоплан, представлений у вигляді кількох спектрів, накладених на

карту глибини з урахуванням координат GPS, служить цінним джерелом інформації для оператора.

Дані аерофотоплану призначені виключно для аналізу кваліфікованим оператором, а не самим дроном, що усуває необхідність будь-якої подальшої обробки отриманих даних, що ще більше спрощує керування дроном.

Коли справа доходить до застосування комерційних безпілотників, автономному польоту, як правило, краще керувати вручну. Це пояснюється тим, що комерційні рейси часто передбачають регулярний розклад і заздалегідь визначений маршрут польоту, обидва з яких можна запрограмувати та реалізувати, щоб зменшити витрати пілота. Тим не менш, ручне керування необхідне для отримання повного контролю над ситуацією.

Система надає пріоритет оперативній реакції оператора шляхом збору та передачі даних у режимі реального часу. Для цього система в основному працює в автоматичному режимі польоту на основі заданих координат. У випадках, що потребують особливої уваги оператора, система передбачає ручний режим.

Щоб досягти автономного керування безпілотником, необхідно володіти точним знанням своїх просторових координат.

У цьому контексті використовуються різні типи датчиків, включаючи одновимірні сонари, двовимірні лідари, 3D-лідари та камери глибини. На безпілотник потрібно встановити додатковий комп'ютер, який буде оперативно зчитувати інформацію з цих датчиків, будувати тривимірний план навколишнього середовища та прокладати в ньому безпечну траєкторію.

Існують різні категорії, за якими можна класифікувати інформацію, що передається або приймається БПЛА.

Телеметричні дані містять стан підсистеми, GPS-координати, висоту, швидкість і напрямки.

Сигнал для контролю положення БПЛА.

Сигнал керування, який використовується для наведення камер на гіростабілізовану платформу.

З камер передаються відеосигнали в реальному часі.

Класифікація даних на основі типу зберігання також є звичайною практикою.

Дані, які потребують реєстрації та збереження, включають сигнал відеокамери та телеметрію[7].

1.4 Формування задачі обльоту

Кінцевою метою використання безпілотних літальних апаратів для фотозйомки є створення аерофотоплану визначеної території з накладанням фотографій і відео. Ця методика дозволяє оцінити стан ліній електропередач. Обов'язки, які має виконувати система, можна встановити, використовуючи пункти 1.1–1.3 для створення вичерпного списку завдань.

Оператор несе відповідальність як за підйом, так і за утримання заданої висоти.

Побудова маршруту польоту може здійснюватися як в автоматичному, так і в ручному режимі.

Акт вертикального зльоту без допомоги будь-якої підготовленої поверхні під ним.

Оператор має можливість вибрати між двома режимами зйомки, ручним або автоматичним. Після вибору потрібного режиму оператор повинен переконатися, що вибір правильний під час роботи в дистанційному режимі.

Початок польоту та початок зйомок на основні камери знаменують собою початок починань.

Щоб отримати повне картографування, необхідно зупинитися біля опор ЛЕП і переконатися, що вони сфотографовані з відповідних ракурсів.

Підтвердження про прибуття на контрольно-пропускний пункт.

Наступним кроком є посадка на рейс до наступного вказаного місця. Цей

процес буде повторено після п'ятого по сьомий кроки.

У разі або завершення польоту, або виникнення помилки, необхідно повернутися до початкової точки вильоту [7].

2 ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Призначення:

- Створення аерофотоплану та використання техніки аерофотозйомки.
- Виходячи з територіальних ситуацій в Запоріжжі оператор повинен мати можливість вибрати необхідний режим польоту за певним маршрутом.

Якісні показники прив'язки знімків до реальних координат наступні:

- Акт проведення аерофотозйомки передбачає зйомку зображень з висоти від 5 до 180 метрів на максимальній відстані 15 кілометрів. Щоб відповідати технічним і експлуатаційним вимогам, необхідно враховувати певні показники.

- Максимальна вага, яку може витримати ця система, становить 3,5 кг.
- Курсова камера може передавати відеотрансляції на відстань до 15 кілометрів.
- Нерозвинена ділянка землі, де немає обладнання, потребує системи зльоту та посадки.
- Необхідно записувати та реєструвати інформацію мінімум дві години.

З перерахованих вище завдань можна виділити наступні пункти на функціональні підпункти для завдань автоматизації.

Шаблон руху як через просторову навігацію, так і через місцевість.

Виклик польоту над кількома місцями.

Мета — проходження заданим шляхом під час польоту.

Ручний режим дозволяє керувати польотом.

Підвішений у повітрі.

Під час аерофотозйомки стежить за траєкторією камери, стежачи за тим, щоб контур зображення відповідав заданому шляху.

Схема зв'язку, яка працює миттєво. Акт запису та зберігання даних, а також реєстрації телеметричної інформації.

2.1 Контур навігації у просторі та на місцевості

Вирішальним аспектом моніторингу ліній електропередач є навігація безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у космічному просторі. Завдяки здатності БПЛА швидко рухатися в трьох вимірах, система управління повинна виконувати навігаційні функції протягом короткого проміжку часу, зводячи до мінімуму ймовірність неправильного збору даних.

Для виконання цього завдання було визначено, що будуть використовуватися дві основні навігаційні системи, зокрема інерціальна навігаційна система (INS) і глобальна система позиціонування (GPS).

2.1.1 Система GPS

Глобальна система позиціонування, також відома як GPS, — це набір радіоелектронних інструментів, які дозволяють користувачеві визначати своє поточне положення та швидкість.

Рух об'єкта на поверхні або в атмосфері можна відстежувати за допомогою прикріпленого до нього GPS-приймача. Цей приймач приймає та обробляє сигнали від супутників GPS для визначення місцезнаходження цілі. Для забезпечення точності роботи системи GPS і моніторингу орбіт супутників в інфраструктуру системи включені наземні центри управління.

Щоб визначити своє положення, GPS-приймач вимірює час, який потрібен сигналам супутників GPS, щоб досягти його.

Система GPS має кілька суттєвих недоліків, найпомітнішим з яких є низьке проникнення та потужність сигналу. Це означає, що перешкоди можуть суттєво затримувати або послаблювати сигнал GPS до такої міри, що сигнал може бути відсутнім у міських умовах. Крім того, якість сигналу GPS може

бути скомпрометована, якщо поблизу є сигнали, що працюють на частоті 1200 МГц.

2.1.2 Інерціальна система навігації

Метод інерціальної навігації використовується для визначення координат і параметрів руху таких об'єктів, як кораблі, літаки та ракети, без використання зовнішніх орієнтирів чи сигналів, використовуючи автономні властивості інерції тіла для керування рухом.

Основна концепція інерціальної навігації полягає в ідентифікації прискорення та кутових швидкостей об'єкта за допомогою різноманітних пристроїв і приладів, усі з яких встановлені на борту рухомого об'єкта. Після збору цих даних визначаються координати об'єкта, курс, швидкість, пройдена відстань та інші відповідні точки даних. Крім того, цей процес відіграє вирішальну роль у визначенні необхідних параметрів для стабілізації об'єкта та забезпечення автоматизованого керування його рухом. Це досягається за допомогою наступних кроків:

Акселерометри - це датчики, які вимірюють лінійне прискорення.

Пристрої, які є гіроскопічними за своєю природою, можуть повторювати систему відліку на об'єкті, що може бути виконано за допомогою платформи, яка є гіростабілізованою. Це дозволяє визначати кути повороту та нахилу об'єкта та використовується як для контролю руху, так і для стабілізації.

Обчислювальні пристрої, які зазвичай називають комп'ютерами, використовують інтеграцію прискорення для визначення різних параметрів руху, таких як швидкість і координати об'єкта.

Незважаючи на більш високу вартість в порівнянні з GPS, відсутність залежності від зовнішніх орієнтирів компенсує основний недолік BINS.

2.1.3 Задача польоту по декільках точках

Після активації цього режиму літак встановить призначену початкову точку та негайно почне свій маршрут польоту до неї, лише з незначними змінами, якщо це необхідно.

Алгоритми, які використовуються для навігації в цьому конкретному режимі, зосереджені навколо підтримки положення літака. Як показано на супровідному малюнку, траєкторія польоту йде за траєкторією, яка в кінцевому підсумку веде до повернення літального апарату до вихідної початкової точки. Удосконалення цих алгоритмів досягається за рахунок точного розрахунку заданої відстані до точки тиску - також відомої як радіус керування - і відповідного коригування курсу літака, коли він наближається до цієї точки. Після досягнення точки наступну точку маршруту можна встановити відповідно до ваших уподобань.



Рисунок 2.1 – Обліт БПЛА заданих точок

Стрілками відзначені місця активації режиму повернення і напрямок польоту.

Формування задачі керування

Щоб налагодити самоврядний контроль безпілотників, необхідно вирішити чотири завдання.

Щоб точно визначити місцезнаходження дрона в космосі, слід розглянути два методи. Перший передбачає використання GPS-приймача для обчислення точних координат. Крім того, алгоритм SLAM може бути використаний для обробки відеопотоку дрона та визначення координат на борту. Рекомендується використовувати обидва методи, щоб отримати як глобальні, так і локальні координати дрона.

Створіть повну карту середовища дрона, використовуючи різні датчики, такі як стереокамери, лідари та камери глибини.

Побудуйте шлях, що веде до наступної точки, одночасно розробляючи відповідне завдання для системи управління дроном.

Після досягнення безпечної висоти політ продовжується до призначеної точки «Додому».

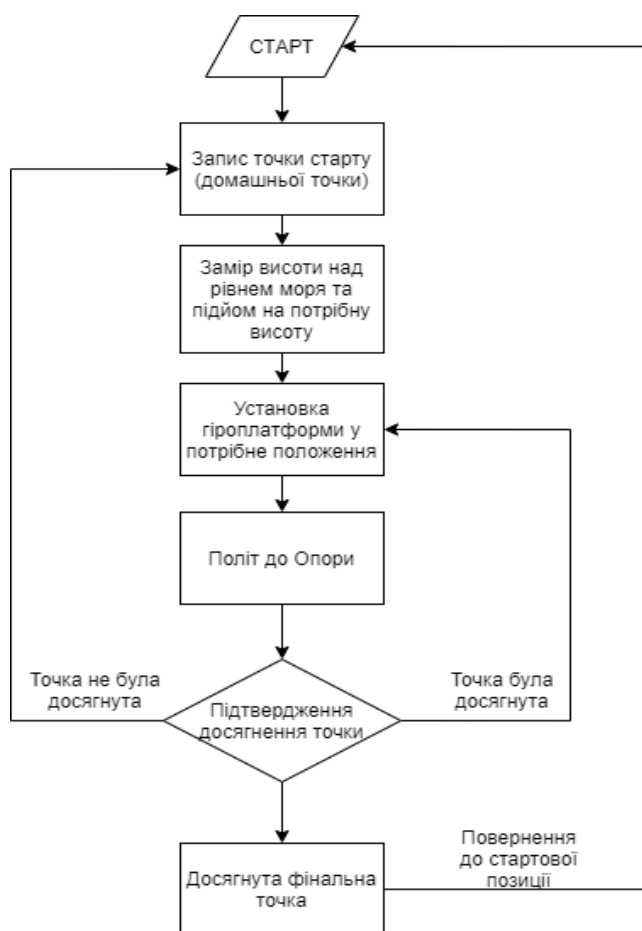


Рисунок 2.2 – Алгоритм польоту по точкам

Приклад 1. Дані точки 7 опор ЛЕП 330кВ з заданими координатами опор на карті без перешкод, що можуть займати польоту дрону.



Рисунок 2.3 – Аерофотоплан 7-х опор на карті

Точка 1 є стартовою позицією, а точка 7 - фінішною. Початковою метою є підняття ЛЕП на висоту, яка визначається оператором та підтримується дроном протягом польоту з урахуванням висоти над рівнем моря. Кожна ЛЕП має свою власну висоту опори, яка повинна бути врахована при піднятті.

0,4-1 кВ	0,5	40-50	8-9	6-7
6-10 кВ	1	50-80	10	6-7
35 кВ	3	150-200	12	6-7
110 кВ	4-5	170-250	13-14	6-7
150 кВ	5,5	200-280	15-16	7-8
220 кВ	7	250-350	25-30	7-8
330 кВ	9	300-400	25-30	7,5-8
500 кВ	10-12	350-450	25-30	8
750 кВ	14-16	450-750	30-41	10-12
1150 кВ	12-19	-	33-54	14,5-17,5

Рисунок 2.4 – висота опори ЛЕП в залежності від напруги



Рисунок 2.5 – Вид з дрону на лінію ЛЕП 330 кВ

2.1.4 Задача польоту по заданній траєкторії

Політ уздовж визначеної траєкторії по суті такий самий, як і політ точка-точка, за винятком того, що політ уздовж траєкторії дозволяє враховувати складніші маневри, а не просто слідувати ламаній кривій, що з'єднує точки маршруту.

Проблема формування менеджменту.

Щоб налагодити незалежне управління безпілотниками, в організаційному процесі необхідно виконати п'ять завдань.

Щоб точно визначити місцезнаходження дрона в тривимірному просторі, існують два основні методи. Перший і найпоширеніший підхід – використання GPS-приймача, який може надати глобальні координати місцезнаходження дрона. Крім того, можна розрахувати координати на борту самого дрона, використовуючи алгоритм, який обробляє відеопотік. Для оптимальної точності рекомендується використовувати обидва методи разом, оскільки це забезпечить як глобальні, так і локальні координати місцезнаходження дрона.

Щоб побудувати карту середовища дрона, необхідно використовувати такі датчики, як камери глибини, стереокамери та лідари.

Побудуйте шлях до наступної точки та розробіть відповідне завдання для системи керування дроном, а також побудуйте карту глибини для полегшення польоту по тривимірній траєкторії.

Після досягнення безпечної висоти політ продовжується до призначеної точки «Додому».

2.1.5 Політ за ручним керуванням

Коли для режиму польоту встановлено цей конкретний параметр, будь-яка зміна, внесена до джойстиків крену, тангажу та повороту на панелі керування, призводить до пропорційної зміни обертів відповідних двигунів. Середнє значення цих обертів двигуна корелює з поточним положенням джойстика газу. З іншого боку, режим ручного керування дозволяє оператору вирішувати завдання навігації та управління за допомогою панелі управління дрона та відео з камер курсу. Метою цього режиму є вирішення проблем навігації та польоту, які не можуть бути вирішені автоматизацією.

Моніторинг дрона в реальному часі дозволяє негайно виправляти помилки в автоматизованих процесах.

2.1.6 Утримання у повітрі та стабілізації

В якості алгоритму автоматичної стабілізації кутів літального апарату використовується пропорційно-інтегральний PI-каскад, застосований до кожної з осей обертання (крен, тангажу, ристання)[5].

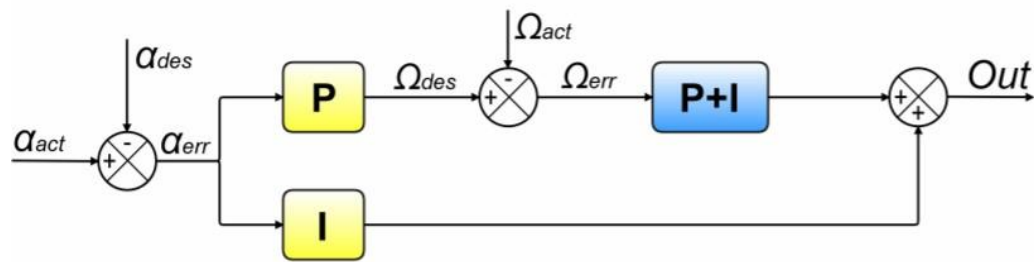


Рисунок 2.6 – PI каскад для реалізації режиму

α_{act} - поточний кут, що надходить з ІВС в градусах;

α_{des} - бажаний кут в градусах;

Ω_{act} - поточна кутова швидкість обертання навколо осі α в градусах / с;

Ω_{des} - бажана кутова швидкість обертання навколо осі α в градусах / с; $\alpha_{err} =$

$\alpha_{des} - \alpha_{act}$ - поточна помилка кута α в градусах;

$\Omega_{err} = \Omega_{des} - \Omega_{act}$ - поточна помилка кутової швидкості обертання навколо осі α ;

Out - вихідний сигнал ШИМ (мс), що подається на мікшер сигналів відповідно з конфігурацією літального апарату (число двигунів, наприклад, 3, 4 або 6).

Далі вивчислюється бажана загальна швидкість повернення для даної помилки угла по формулі

$$\Omega_{des} = k_a \alpha_{err},$$

де a – пропорційний коефіцієнт посилення по углу. Бажана кутова швидкість порівнюється з поточною та вивчислюється помилкою повної швидкості[5].

Режим утримання потрібен для фото/відеозйомки з деякою витримкою кадру. Це потрібно для наступних випадків:

- УФ камери, щоб отримати середнє значення кадру, а немоментальне
- Зйомки панорами опори
- Зависання для того, що оператор мав час проаналізувати трансляцію відео у реальному часі[5].

Утримання в повітрі мультикоптера відбувається завдяки обертанню всіх моторів з однаковою швидкістю. У даному режимі також використовується пропорційно-інтегральний РІ-каскад, за виключенням того, що у якості тепер виступає висота a , а у вашому Ω виступає вертикальна швидкість aa .

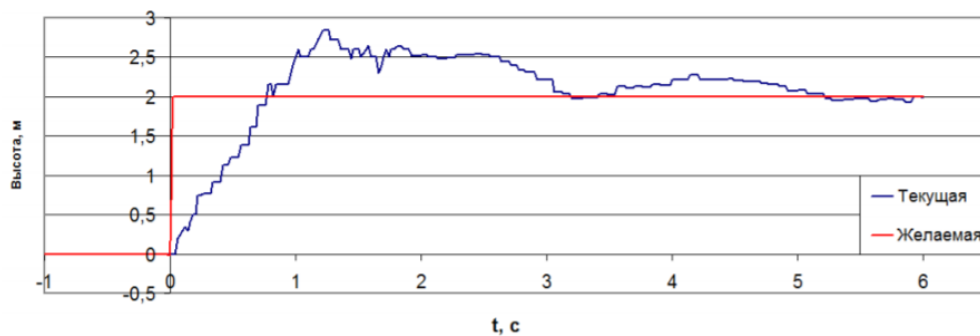


Рисунок 2.7 – графік стабілізації дрону по висоті

Положення та нахил кожної частини квадрокоптера відстежується за допомогою гіроскопів. Задача гіроскопа - показати нахил та кут відносно нульової точки в момент польоту БПЛА.

2.2 Контур аерофотозйомки, супроводження заданої траєкторії камерою

Контур аерофотозйомки складається з набору камер для конкретного випадку, розміщених на гіростабілізованій платформі.

2.2.1 Польотна камера

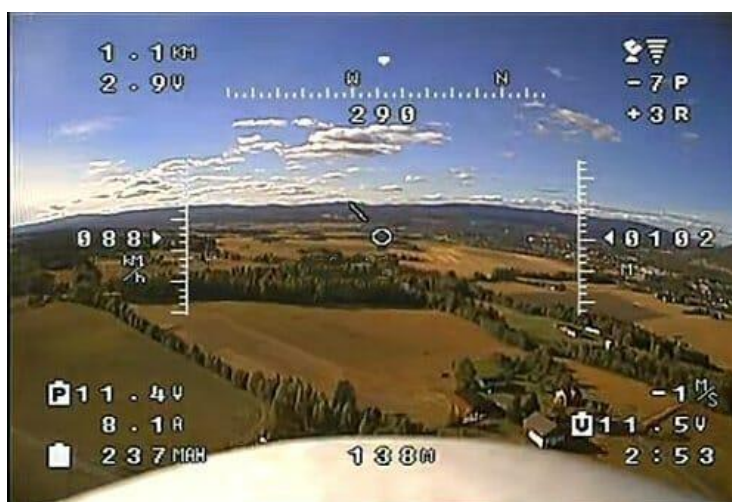


Рисунок 2.8 – Вид з First Person View камери

Система радіокерування не тільки керує моделлю літака, але й отримує сигнал і інформацію в режимі реального часу від моделі через доданий радіоканал відео.

Пілот керує моделлю літака без прямого спостереження, натомість покладаючись на пристрої відображення для перегляду зображення, знятого відеокамерою.

Щоб створити ілюзію присутності пілота в кабіні, можна використовувати різні пристрої, такі як монітори, телевізори та відеоокуляри. Ця техніка використовується для досягнення більш захоплюючого досвіду польоту для пасажирів і підвищення реалістичності салону літака.

До оснащення обладнання для польотів FPV можна підходити з двох

різних напрямків: FPV малої дальності та FPV дальньої дії. У Low Range FPV використовується стандартний набір FPV, який містить передавач відеосигналу, який працює на низькій потужності, що дозволяє вам літати в межах діапазону типового передавача радіокерування. З іншого боку, Long Range FPV вимагає більш потужних передавачів або підсилювачів потужності, як для контрольного обладнання, так і для передачі відеосигналу від моделі. Деякі любителі змогли досягти вражаючої дальності 40-100 км для своїх FPV польотів.

Для дальніх польотів FPV зазвичай використовуються наземні станції. Ці станції зазвичай складаються зі штатива, який підтримує високоспрямовану антену, яка передає команди з панелі керування на літак. Крім того, різноспрямована антена використовується для прийому сигналів від радіопередавача.

Розширення радіусу дії сигналу радіоуправління досягається шляхом введення додаткового підсилювача сигналу в передавач апаратури радіоуправління перед подачею його через вузькоспрямовану антену. Однак недоліком цього методу є те, що антена повинна бути спрямована на літак, що вимагає від оператора відволікти свою увагу від пілотування. Для вирішення цієї проблеми використовуються системи стеження за антенами (FPV Antenna tracker). Деякі користувачі також встановлюють невеликі контрольні монітори, безпосередньо підключені до приймача відеосигналу на цих станціях.

2.2.2 ІЧ-камера

Оптико-електронний пристрій, який використовується для візуалізації температурного поля та вимірювання температури, відомий як тепловізор або інфрачервона камера. Цей пристрій працює в основному в інфрачервоному сегменті електромагнітного спектру, при цьому теплові зображення створюються як прямий результат зміни спектрів власного випромінювання тіл,

коли вони нагріваються до короткохвильового діапазону.

Принцип роботи тепловізора заснований на перетворенні інфрачервоного випромінювання у випромінювання видимого світла. Інтервали довжин хвиль, на яких працюють тепловізори, визначаються інтервалами довжин хвиль в області максимальної енергії випромінювання об'єкта спостереження при відповідних параметрах прозорості атмосфери. Ці інтервали зазвичай коливаються від 3,5 до 5,5 мкм або від 8 до 13,5 мкм. Сучасні тепловізори здатні реєструвати різницю температур у десяті і навіть соті частки градуса та створювати якісні зображення. Піросенсор сенсора приладу фокусується вигнутою лінзою Френеля, а отриманий сигнал обробляється мікропроцесором, який потім перетворює його в цифрові дані для подальшого аналізу [8].

2.2.3 TOF(time of flow) – камера

Time-of-flight камера (англ. Time-of-flight camera (ToF camera)) — Ця конкретна відеокамера має здатність генерувати те, що зазвичай називають далеким зображенням.

Ці пристрої призначені для створення плоского зображення, яке містить інформацію про відстань між екраном і окремими точками спостереження, представлену у вигляді пікселів. Розрахунок глибини та відстані виконується за допомогою технології, відомої як вимірювання часу польоту (ToF). Ця технологія використовує алгоритми, які нагадують ті, що використовуються в інших пристроях.

При застосуванні в радіолокаційних системах світловий імпульс використовується для створення зображення дальності. Хоча це зображення схоже на зображення радара, воно відрізняється тим, що не використовує радіочастотні хвилі.

Використання лазерної камери ToF, оснащеної можливостями швидкого стробування, тепер дозволяє оцінювати глибину з роздільною здатністю, яка перевищує міліметровий поріг. Ця технологія працює через швидку послідовність подій, починаючи з короткого лазерного імпульсу, спрямованого на місце події. У свою чергу, надчутлива камера CCD відкриває свій швидкий затвор лише на кілька сотень пікосекунд. Коли затримка між лазерним імпульсом і відкриттям затвора збільшується, серія двовимірних зображень записується та аналізується для створення тривимірної реконструкції сцени[9].

2.2.4 Гіростабілізована платформа

Засобом стабілізації положення об'єкта, що транспортується, щодо його носія є гіростабілізована підвіска. Зазвичай використовується для стабілізації відео та камер, цей стабілізуючий пристрій також відомий як вішалка для стедікавів.

Розташування датчика положення знаходиться в безпосередній близькості від камери всередині пристрою. Його основною функцією є реєстрація поточного кута нахилу по відношенню до горизонту. Мікроконтролер керує двигунами підвіски гіроскопа, які відповідають за спрямування камери (а також датчика) під певним кутом. Ці завдання виконуються неодноразово та безперервно багато разів кожну секунду. Це дозволяє оператору регулювати та маніпулювати рухом стедікама в будь-якому бажаному напрямку, забезпечуючи при цьому камеру завжди рівний огляд горизонту.



Рисунок 2.9 – Типовий гіростабілізований підвіс для камери

Гіростабілізовані платформи бувають двох основних типів – з кроковими двигунами та з безщітковими двигунами. Хоча крокові гіростабілізовані платформи є відносно недорогими та можуть стабілізувати важкі об’єкти, вони мають повільний час реакції на коливання. З іншого боку, платформи з безщітковими двигунами можуть коригувати своє положення сотні разів на секунду, надаючи їм високу чутливість до коливань і коливань. З цієї причини безщіткові моторні платформи є оптимальним вибором для стабілізації.

2.2.5 Супроводження заданої траєкторії камерою

Під час польоту основна мета безпілотного літального апарату, який використовується для моніторингу ліній електропередач, полягає в утриманні цільового об'єкта, будь то опора чи дріт, у полі зору камери під певним кутом. Режими супроводу цілі можна розділити на дві категорії: інтелектуальні та неінтелектуальні. Різниця між ними базується на ступені гнучкості в регулюванні положення камери під час аерофотозйомки.

Щоб відстежити шлях камери, можна використовувати неінтелектуальні методи. Ці методи включають фіксацію камери під певним кутом до землі, що часто використовується на БПЛА літального типу, або фіксацію камери в напрямку руху курсу. Ця система надійна, проста в налаштуванні та не має ризику виходу з ладу системи стабілізації. Однак разом із його перевагами є помітні недоліки, такі як неможливість повертати камеру та сильна залежність від погодних умов, які можуть заважати стабільності зображення.

Існує кілька методів підтримки, які вважаються розумними, наприклад:

Використання технологій обробки зображень дозволяє відстежувати рухомий візуальний тег.

Підтримуючи постійний радіус і фіксуючи камеру в одній точці, можна літати по круговій схемі.

Камерою, розташованою на гіростабілізованій платформі, можна керувати трьома основними параметрами.

На даний момент існують програмні додатки, які дозволяють обробляти відеопотік за допомогою алгоритмів машинного відстеження. Ці інструменти мають можливість ідентифікувати візуальні шаблони, які відповідають конкретним об'єктам у відеоконтенті.

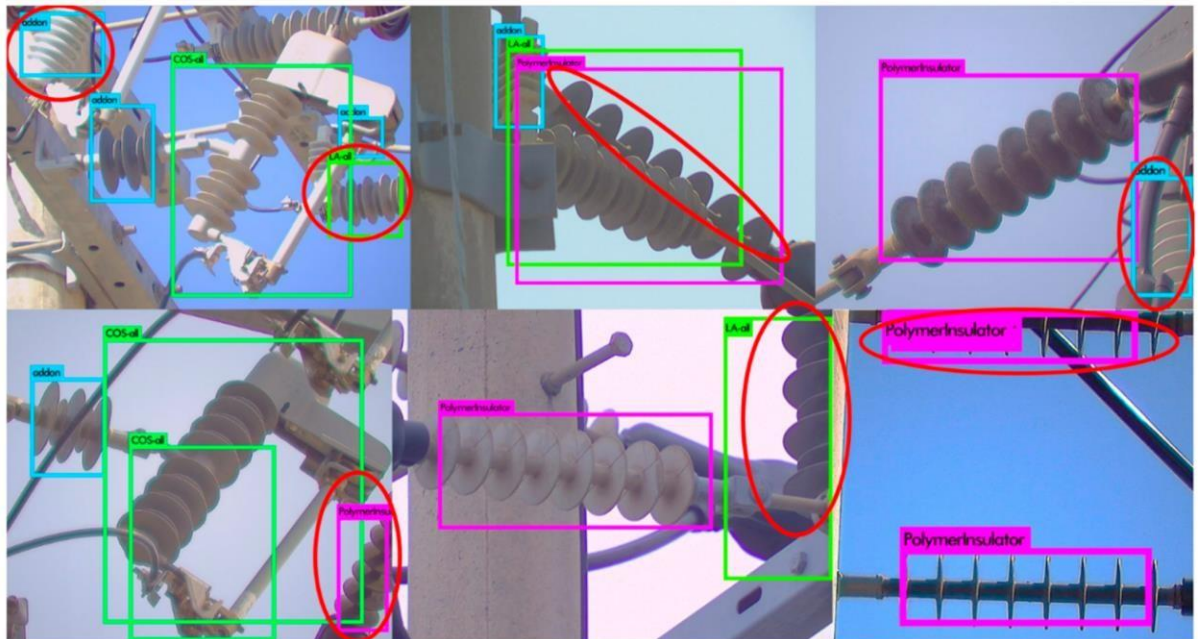


Рисунок 2.10 – автоматичне розпізнавання деталей ЛЕП за допомогою технологій машинного зору

Однією з головних переваг використання технологій машинного зору є швидкість, з якою вона може точно визначити ідеальну точку для фотографування без участі оператора, а також її здатність автоматично ідентифікувати видимі об'єкти.

Через високі вимоги до ресурсів для обробки відеопотоку в режимі реального часу необхідні передові апаратні технології, зокрема:

Для конкретного сценарію необхідно мати одну або кілька камер, цифрових або аналогових, оснащених відповідною оптикою.

Програма, призначена для створення фреймів для аналізу.

Для обробки значних обсягів даних протягом обмеженого періоду часу процесори використовують або DSP (процесори цифрових сигналів), або процесори загального призначення з безліччю уніфікованих ядер.

Щоб зменшити вплив сонячних променів, для освітлення використовуються спеціальні джерела світла.

У режимі інтелектуального керування камерою на платформі керують шляхом підведення проводів до кожної опори. Коли БПЛА досягає кожної

опори, він зменшує швидкість і знімає відео або фотографії ізоляторів і опор. Система машинного зору розпізнає та розрізняє кожен об'єкт, що дозволяє точно виявляти та записувати.



Рисунок 2.11 – Виділення ключових частин для аерофотографування за допомогою машинного зору

Управління камерою через застосування інерціальної навігаційної системи.

У разі використання інерціальної навігаційної системи для керування камерою системою відліку є БПЛА. Камера TOF забезпечує вимірювання відстані як до землі, так і до сусідніх об'єктів. Щоб навігація ANN працювала ефективно, необхідна система датчиків, яка може швидко й точно отримувати відстань до точки фіксації, а також відстань до землі та нахилу.

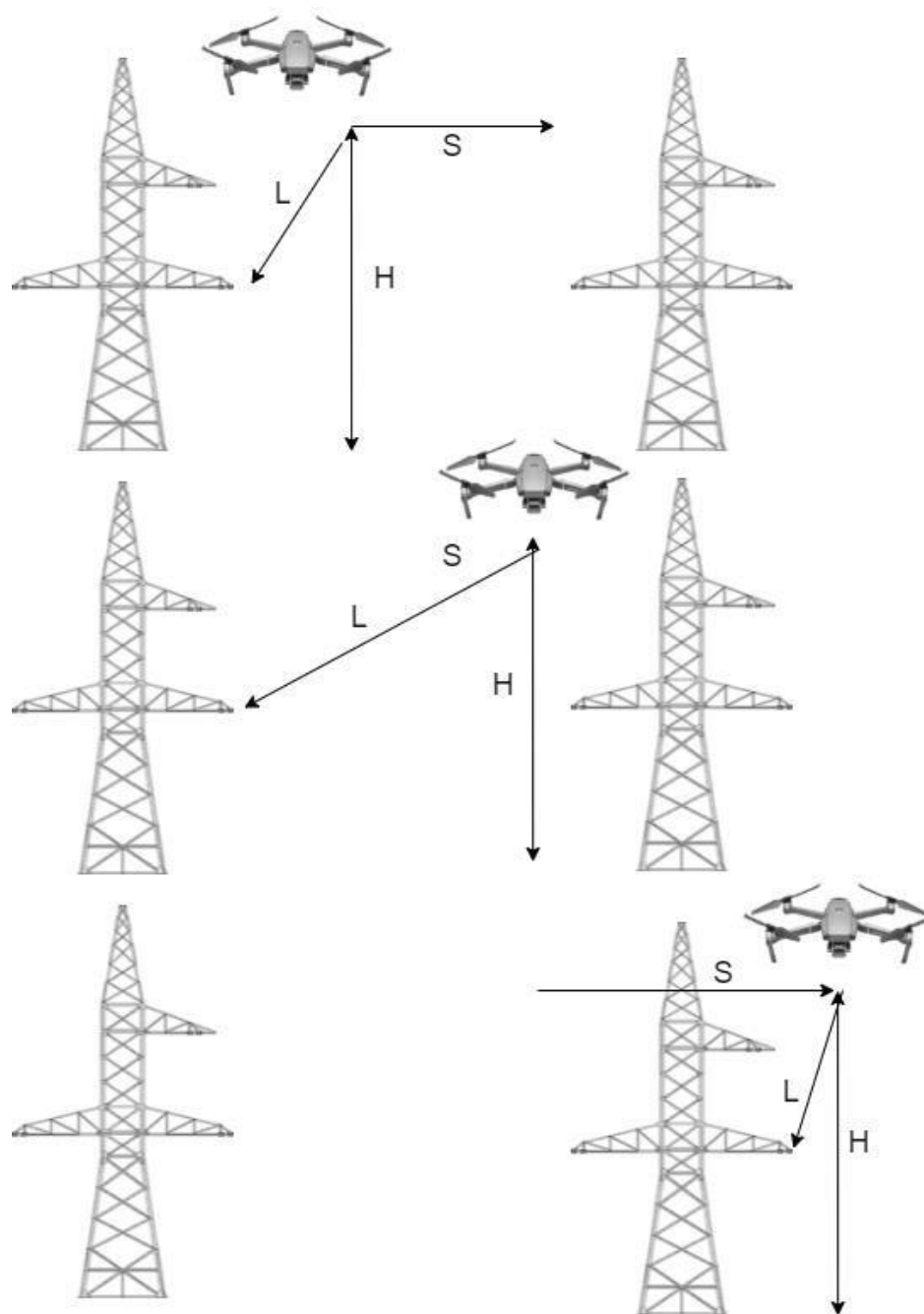


Рисунок 2.12 – Політ БПЛА з фіксацією точки, заданною оператором[6]

H – висота, отримана від датчика висоти

S – зміщення БПЛА відносно опори

L – відстань до опори, отримана з TOF камери

У польоті БПЛА з фіксованою точкою інклінометр відіграє вирішальну роль, встановлюючи точку відліку для дрона під час польоту під кутом

відносно землі. Кінцевий кут розраховується шляхом визначення співвідношення L і H , а також враховується зміщення вздовж вектора S . Важливо зазначити, що отриманий кут не є продуктом нахилу коптера до землі, а натомість є результатом невідповідностей між сигналом інклінометра та отриманим кутом.

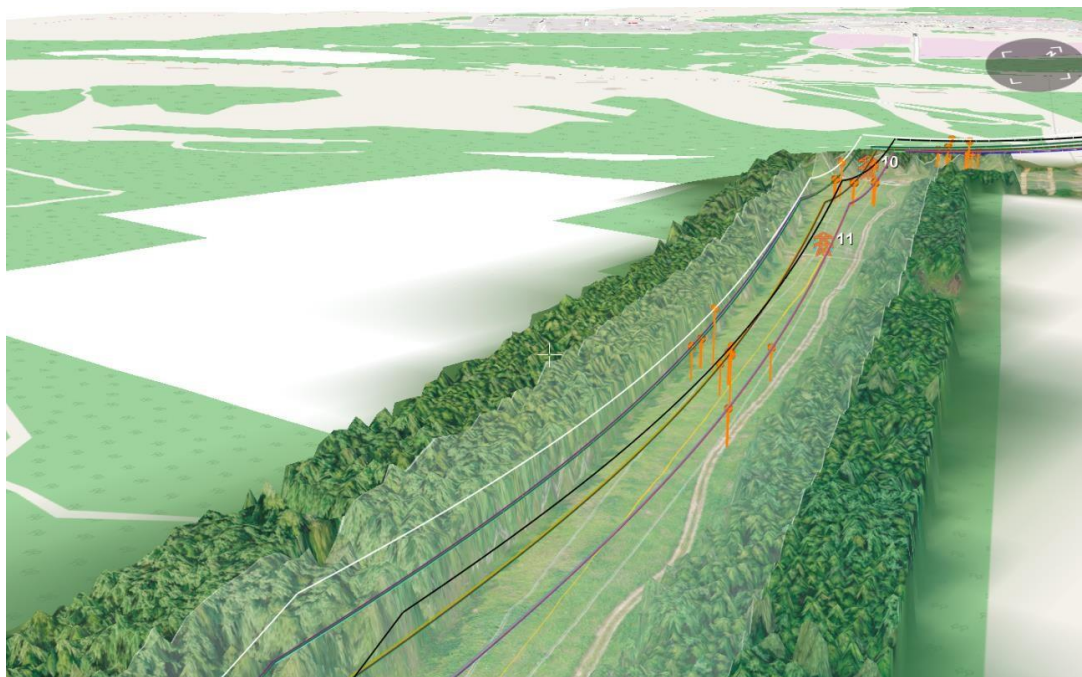


Рисунок 2.13 – Карта глибин з відмітками доступних точок фіксації

Режим ручного керування камерою. При використанні ручного режиму керування камерою оператор виконує дії в режимі реального часу з панелі керування. Це передбачає перетворення відхилення джойстиків на панелі керування в певні положення на гіростабілізованій платформі. Оператор відповідає за керування безпілотником у цьому режимі, використовуючи панель керування дроном і передачу відео з камер курсу для навігації та керування пристроєм. Метою режиму ручного керування є вирішення проблем, які можуть виникнути під час роботи.

Система автоматизації дрона не може вирішити проблеми з навігацією та польотом у реальному часі або виправити будь-які помилки, зроблені автоматизацією.

2.3 Процеси обробки даних

Під час польоту БПЛА створює значну кількість даних, які класифікуються на телеметричні, екстрені, сигнальні та камерні дані.

Створення фотоплану шляхом обробки даних є завданням оператора, а не дрона, тому перевантажувати обчислювальні можливості бортового комп'ютера під час польоту безглуздо. Основними функціями, які виконуються під час польоту, є передача даних оператору в режимі реального часу, зберігання даних і обробка даних з камери TOF для забезпечення автономної навігації та керування БПЛА.

Обробка даних для автопілота в режимі реального часу здійснюється бортовим мікрокомп'ютером.

2.3.1 Передача даних у реальному часі

Пілот БПЛА використовує пристрої виведення відео, такі як монітори, телевізори та відеоокуляри, для перегляду зображення, знятого бортовою відеокамерою.

Що стосується обладнання для дистанційного польоту, існує два різних типи: FPV і LongRange FPV. Перший передбачає використання стандартного комплекту, який включає передавач відеосигналу з малою потужністю, що дозволяє літальному апарату літати в діапазоні типового передавача радіоуправління. Однак для тривалих поїздок необхідні підсилювачі потужності та потужніші передавачі як для контрольного обладнання, так і для передачі відеосигналів від моделі. За оптимальних умов і достатньої потужності передавача можна досягти дальності передачі 42-100 км.

Для дальніх польотів FPV часто використовуються наземні станції. Ці

станції зазвичай складаються зі штатива з фіксованим кріпленням.

Пульт управління літальним апаратом подає команди на вузьконаправлену антену, а різноспрямована антена приймає сигнали від відеопередавача.

Розширення діапазону радіосигналу керування може бути досягнуто шляхом додавання підсилювача сигналу від передавача радіокеруючого обладнання та передачі його через високоспрямовану антену. Однак цей підхід має серйозний недолік, оскільки він вимагає від пілота відвернути увагу від польоту літака, щоб вручну відрегулювати напрямок антени. Цей недолік можна подолати за допомогою систем відстеження антени FPV, які призначені для автоматичного відстеження напрямку антени та усувають цю проблему.

Для цивільного використання існує ряд основних частот, які підходять для передачі відео в реальному часі.

Таблиця 2.1 – Переваги та недоліки частот

Частота	Переваги	Недоліки	Діапазон
900МГц	Низькочастотний сигнал краще долає перешкоди	Великий розмір антени, може конфліктувати з GPS	Для середнього діапазону
1.2ГГц	Висока дальність прийому/передачі	Відносно невелика пропускна спроможність	Для дальнього діапазону

Продовження таблиці 2.1

2.4ГГц	Велика пропускна спроможність, найчастіше використовується	Невисока проникна здатність в складних умовах	Для середньої дистанції або далекої зі звичними умовами
5.8ГГц	Найбільша з доступних пропускних спроможностей, невеликі антени	Низька проникна здатність в складних умовах	Для близької та середньої дистанції

Для вирішення проблеми зв'язку було обрано системи 2.4 ГГц та 5.8 ГГц, як достатні для вирішення поставлених задач.

2.3.2 Зберігання та логування даних

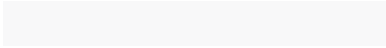
Для підтримки швидкого та надійного зберігання даних камери, журналу телеметрії та службової інформації вкрай важливо мати рішення для зберігання, яке відповідає цим вимогам. Наразі існує два основних способи зберігання значних обсягів двійкових даних: жорсткі диски та твердотільні накопичувачі (SSD). Однак жорсткі диски мають істотний недолік, який полягає в тому, що вони дуже вразливі до механічних пошкоджень. Навпаки, твердотільні накопичувачі можуть витримувати перевантаження 600 ГБ або більше, що робить їх надійнішим варіантом.

Система складається з трьох камер, має роздільну здатність 2048x1536 і частоту зйомки 30 кадрів в секунду. Це означає, що для зйомки години відео

буде потрібно 204,5 ГБ пам'яті без урахування інших факторів, таких як службова інформація, журналювання та операційні системи. Крім того, для підтримки пропускної здатності потрібне максимальне навантаження.

Швидкість 42,40 Мб/с.

Враховуючи два згаданих параметри, ідеальним вибором буде твердотільний накопичувач (SSD) мінімальної ємності 1 ТБ.



3 ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Використовуючи набір датчиків, стає можливим точно визначити тривимірне положення та швидкість БПЛА під час руху.

Гіроскоп — це пристрій, який використовує принципи кутового моменту, щоб підтримувати свою орієнтацію навіть під впливом зовнішніх сил.

Акселерометр — це пристрій, який вимірює прискорення, тобто зміну швидкості з часом. Він зазвичай використовується в різних програмах, таких як смартфони, ігрові контролери та фітнес-трекери, для виявлення руху та орієнтації.

Барометр, який також зазвичай називають висотоміром, — це прилад, який використовується для вимірювання атмосферного тиску.

Модулі GPS – це пристрої, які використовують супутникові технології для визначення місцезнаходження, висоти та швидкості.

Інклінометр - це прилад, який використовується для вимірювання кута нахилу або нахилу поверхні.

У додатку можна знайти принципову схему БПЛА. Виходячи з пункту 2. Функціональні задачі автоматизації можна вибрати засоби автоматизації, що підходять до виставлених параметрів.

3.1 Вибір літального апарату

Виходячи з поставленого завдання до системи керування був проведений аналіз готових комерційних платформ, що доступні на ринку. Було обрано 5 передові платформи для порівняння, а саме Matrice 200/210, Matrice 300 RTK, Matrice 30T, AGRAS T20, Phantom 4 RTK.

Порівняння було в основних характеристиках, які потрібні для виконання

завдань з аиконання перевірки стану ліній електропередач.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Название	Час у повітрі, хв.	Максимальна швидкість, км/ч	Макс дистанція польоту, км	Маса, кг	Висота польоту, м	Допустима швидкість вітру, м/с
2	Matrice 200/210	38	83	7	3.8	7000	10
3	Matrice 300 RTK	55	82	15	18.5	7000	12
4	Matrice 30T	41	82	8	3.7	500	12
5	AGRAS T20	55	28	15	24.5	2000	10
6	Phantom 4 RTK	30	60	10	10	6000	14

Рисунок 3.1 – таблиця порівняння критичних характеристик дронів

Усі дрони мають свої переваги. Наприклад AGRAS T20 має найбільшу вантажопідйомність у розмірі 25 кг. Цей дрон зараз використовується в аграрній сфері. А дрони типу Matrice 30T та Phantom 4 RTK використовується на передовій.

Для нашої системи було обрано саме Matrice 300 RTK, так як він має найкращі критичні показники: час у повітрі, максимальна швидкість та допустима швидкість вітру. Також модель 300 RTK має зручне розташування камер та можливість інтегрування користувальницькі установки апаратного забезпечення.



Рисунок 3.1 – зовнішній вигляд MATRICE 300 RTK

DJI Matrice 300 RTK є комерційною ітерацією їхньої існуючої технології. Основною перевагою цієї конкретної платформи є її здатність включати інтерфейс із зовнішніми сторонніми модулями. Цей дрон продається як універсальна професійна платформа.

Усі характеристики дрона:

- Макс. передача сигналу: 15 км
- Макс. час польоту: 55 хв
- Маса 18.5 кг
- Максимальна злітна вага 27 кг
- Робоча температура: -20 ° C ... + 50 ° C
- Гаряча заміна акумуляторів
- Система управління станом БПЛА
- Дальність передачі сигналу 15 км
- Триканальна передача відео 1080p
- Автопереключення в режимі реального часу 2.4 / 5.8ГГц
- Макс. час польоту 50 хв
- Макс. швидкість зниження 7 м / с
- Висота польоту 7000м
- Допустима швидкість вітру 12 м / с
- Макс. швидкість 23 м / с [12]

3.2 Система GPS

Для впровадження системи GPS було обрано датчик APMA.467855.028, виготовлений в Україні та сертифікований для використання в БПЛА.

Основне призначення приймача - постійне встановлення та забезпечення поточних навігаційних параметрів навігаційного об'єкта за допомогою сигналів, отриманих від ГЛОНАСС, GPS, SBAS та інших супутніх функціональних

доповнень, які будуть оперативно доставлені до обладнання споживача. .

За призначенням приймач надає такі функції:

Сигнали, що передаються через SNS, приймаються та обробляються.

1- GPS/SBAS, L1 (C/A-код);

2- ГЛОНАСС L1 (СТ-код);

- автоматичне безперервне визначення трьох координат (широти, довготи, висоти), часу, курсу та швидкості;

видачу в апаратуру споживача поточних координат в системі координат WGS-84, ПЗ-90, СК-42, СК-95;

- видачу навігаційних даних з частотою 1, 2, 5, 10 Гц;

- оцінювання точності визначення координат;

- Інтерфейс - RS-232[6]

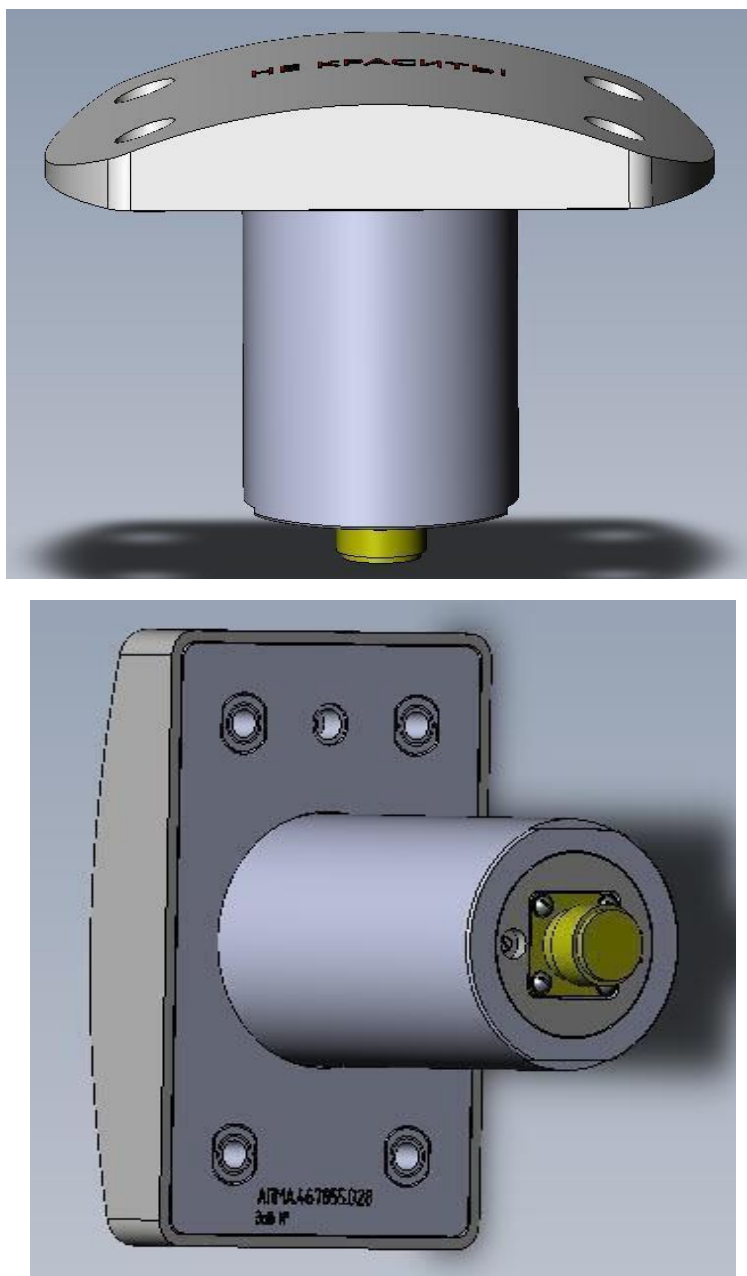


Рисунок 3.3 – GPS прийомник

3.3 Система ІНС та система стабілізації БПЛА

Для впровадження системи ІНМ був обраний інерційний модуль STIM300, який був розроблений компанією Sensor AS і підтримує технологію SPAN компанії NovAtel Inc., високоефективну систему, яка об'єднує інерційні та супутникові технології. Модуль STIM300 складається з трьох компонентів.

Пристрій включає в себе набір з трьох стабільних акселерометрів, трьох інклінометрів і високоточного MEMS-гіроскопа.

Характеристики:

Діапазон напруги живлення становить від 18 до 30 вольт.

Інтерфейс зв'язку між пристроями RS-232.

Гіроскопи та акселерометри малошумні, придатні для комерційного використання.

Цей пристрій має невеликі розміри та легку конструкцію, розміри 39 x 45 x 22 мм у довжину, висоту та ширину та важить лише 55 грамів.

Вхідна потужність для цього пристрою охоплює широкий спектр, починаючи від 5 вольт постійного струму.

Швидкість виведення даних може досягати 125 разів на секунду або 125 Гц.

Система може похвалитися високим рівнем надійності з помітно довгим середнім часом роботи до будь-яких збоїв.

Завдяки використанню протоколу зв'язку RS-232 і системі калібрування, яка забезпечує нульовий дрейф, інерційний модуль SPAN STIM300 є надійним варіантом.



Рисунок 3.4 – датчик інклінометру STIM 300

3.3.1 Гіроскоп

Основними вимогами до гіроскопа у розглядаємій системі управління стабілізацією є:

- Мала вага
- Висока швидкість реакції на зміну кута
- Уніфікований інтерфейс (RS-232, Ethernet)
- Точність вимірювання $<0.5\%$
- Роздільна здатність не менше 12 біт

Для тесту гіроскопу можна використовувати бібліотеку Python `smbus`.

SMBus (System Management Bus) - це протокол, який використовується для зв'язку між компонентами на платі. У Python існує модуль `smbus`, який дозволяє взаємодіяти з пристроями, що використовують SMBus, через Python.

Модуль `Smbus` надає інтерфейс для зчитування та запису даних на SMBus з використанням Python. Для взаємодії з пристроєм на SMBus, вам потрібно знати його адресу на шині, а також реєстр, з яким ви хочете взаємодіяти.

У додатку А я написав код, який тестує гіроскоп. Для надання реальних даних тесту потрібне реальне підключення до гіроскопу. Нажаль на даному етапі роботи я не маю доступу до елементів системи.

Цей код є прикладом використання бібліотеки `smbus` для зчитування даних з пристрою, підключеного до I2C шини.

Спочатку ініціалізується зв'язок з I2C шиною за допомогою об'єкту `SMBus` з параметром 1, що вказує на номер шини.

Встановлюється адреса пристрою `DEVICE_ADDRESS`, за допомогою якої будуть здійснюватися зчитування даних.

Визначаються адреси регістрів, з яких будуть зчитуватися дані - `GYRO_XOUT_H` та `GYRO_XOUT_L`.

Оголошується функція `read_word`, яка зчитує два байти даних з регістру, складає їх у 16-бітне слово та повертає значення.

У циклі виводимо швидкість обертання по осі X в градусах за секунду, яку зчитує датчик. Кожен вивід буде відображати нове значення швидкості обертання, зчитане з датчика.

Для вирішення цієї задачі був обраний 3-х осьовий гіроскоп Gaui GUEC GU-344.

Характеристики:

Інтерфейс -	RS-232
Вага -	35 грам
Робоча напруга -	4-6В
Роздільна здатність	14 біт
Дрейф нуля -	не більше 0.39 за 60хв
Діапазон робочих температур -	від -40 до +80 °С



Рисунок 3.5 – гіроскоп GU-344[10]

3.3.2 Акселерометр

Щоб створити точне завдання керування для двигунів безпілотної літального апарату, важливо використовувати датчик акселерометра для оцінки прискорення.

Вибір додаткового акселерометра не має сенсу в системі керування польотом DJI A3, оскільки акселерометр вважається її невід’ємною складовою.

3.3.3 Інклінометр

У системі квадрокоптера інклінометр несе вирішальну відповідальність за підтримку абсолютного нуля, встановленого системою. У той час як гіроскоп і компенсуючий гіроскоп вимірюють кут відносно квадрокоптера, інклінометр вирівнює плоску траєкторію, паралельну земній поверхні, і усуває будь-які неточності в показаннях гіроскопів.

Щоб вирішити цю проблему, було прийнято рішення використовувати інклінометр.

ZET 7154.

Характеристики:

Інтерфейс	RS-232
Вага	315 грам
Діапазон робочих температур	від -40 до +80 °C
Робоча напруга	9-24В
Діапазон вимірювань	15° до +15°
Дрейф нуля	не більше 0.045 за 60хв



Рисунок 3.6 – Інклінометр ZET 7154[11]

3.4 Вибір польотної, ІЧ та TOF камер

Основною вимогою до всіх камер є підключення через інтерфейс Ethernet. Це потрібно для того, щоб в реальному часі передавати дані з камер до головного комп'ютера, де проходить трансляція даних по радіоканалу до оператора[13].

3.4.1 TOF камера

Вибираючи камеру TOF, слід враховувати два важливі фактори: діапазон сканування карти глибини, який вона пропонує, і вартість камери.

Принцип, що лежить в основі технології 3D TOF, полягає в тому, що випромінювач випромінює випромінювання певного спектру для освітлення об'єкта, тоді як матриця приймача записує тривалість, потрібну для повернення хвилі від об'єкта.

Використовуючи наші знання про швидкість світла в повітрі та час, необхідний для проходження світла, ми можемо визначити відстань до об'єкта,

який відбиває світло.

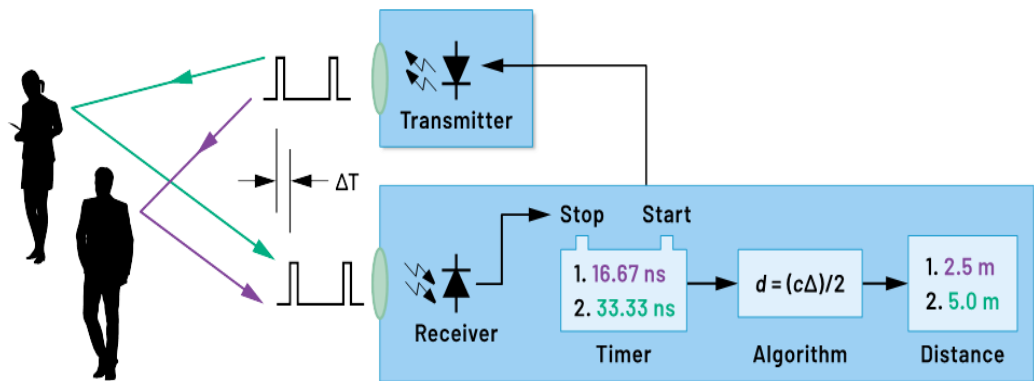


Рисунок 3.7 – принцип роботи TOF сенсору

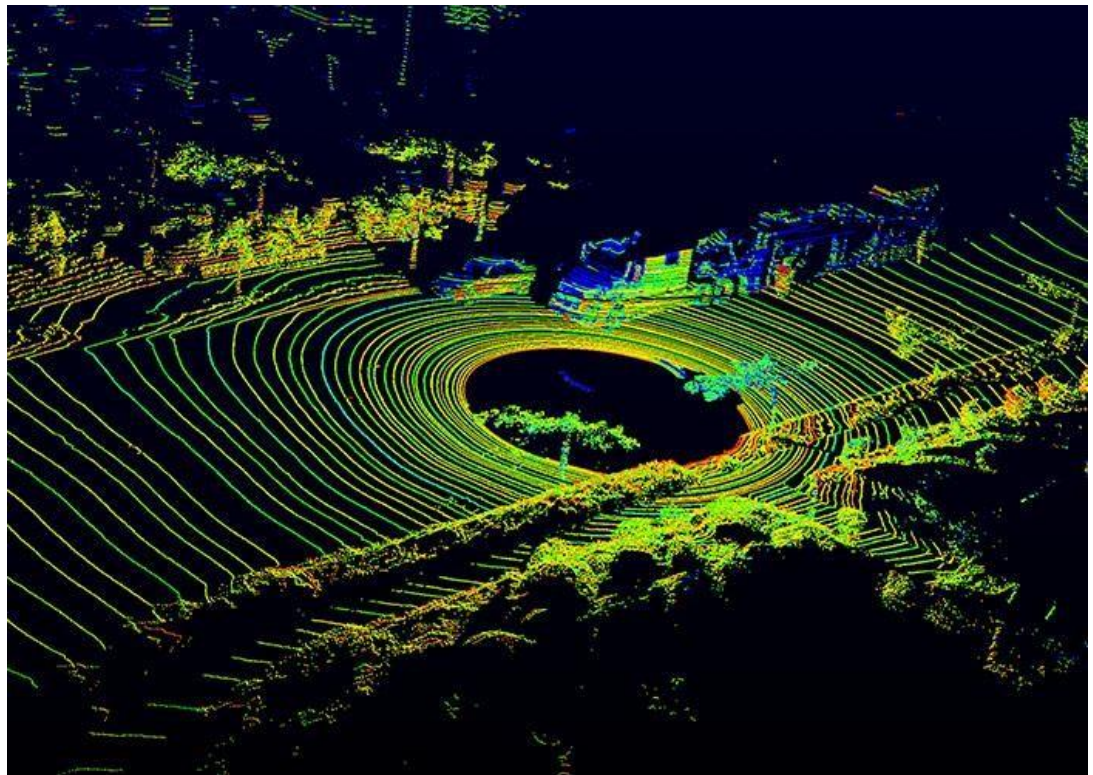


Рисунок 3.8 – карта глибин отримана 3х-вимірною камерою

Провівши аналіз доступних камер за ціною до 2000\$ були вибрані два варіанти:

AD-96TOF1-EBZ

1. Інтерфейс - Ethernet
2. Діапазон: <6 м
3. Кут огляду: 90 ° x 69,2 °
4. Довжина хвилі 940 нм
5. Режим поруч: 25 см - 80 см
6. Режим середній: 30 см - 4,5 м
7. Режим далекий: 3-20 м
8. Точність <2% для всіх діапазонів
9. Частота кадрів: не більше 30 кадрів в секунду (в залежності від процесора додатки, ОС і інтерфейсу з головним комп'ютером)
10. Роздільна здатність: 640 x 480 пікселів
11. Кілька варіантів інтерфейсу для ПК (USB, ETH, WiFi)

TOF640-20gm_850nm

1. Інтерфейс - Ethernet
2. Виробник сенсора Panasonic
3. Роздільна здатність: 640px x 480px / VGA
4. інтерфейс GigE
5. Поле огляду (Г x В) 57 ° x 43 °
6. Робочий діапазон 0 m - 33 m
7. Точність +/- 1cm
8. Частота кадрів 20 fps
9. Кріплення об'єктива

Після порівняння двох варіантів оптимальним вибором стала камера TOF640-20gm_850nm, так як має відстань отримання карти відстаней до 33м[12].



Рисунок 3.9 – камера TOF640-20gm_850nm

3.4.2 Вибір ІЧ камери

Вибранною ІЧ камерою стала Pulsar Helion XQ50F тому що має наступні особливості:

Тепловізор оснащений далекоміром, який дозволяє точно розраховувати відстань до об'єктів на основі їх висоти. Пристрій здатний на поступове 16,4-кратне оптичне збільшення, а також на збільшення 2-4-8. Калібрування датчика можна виконати трьома способами, включаючи повністю автоматичні та напівавтоматичні методи. Крім того, існує вісім різних кольорних схем для спостереження, які можна вибрати, що дозволяє користувачам вибрати найбільш оптимальну схему на основі їхніх умов спостереження та особистих уподобань.

Монокуляр живиться від літій-іонної батареї B-Pack IPS5, яка забезпечує безперебійну передачу відео через Wi-Fi і 2,4 ГГц протягом до 16 годин. Для тих, кому потрібна більша потужність, виробник зробив умови для використання ще більш потужної батареї IPS10. Щоб подовжити час роботи батареї, користувачі мають можливість вимкнути дисплей тепловізора, зберігаючи всі інші функції активними.

Інтерфейс Ethernet.

Об'єм внутрішньої пам'яті пристрою складає 8 Гб, в якій можна зберігати

фото та відео.

Пристрій оснащений відеовиходом для встановлення дротового з'єднання з периферійними пристроями.

Бездротовий пульт дистанційного керування має здатність повторювати всі функції основних механізмів керування.

3.5 Радіозв'язок та зберігання даних

3.5.1 Радіозв'язок

Оскільки була вибрана платформа MATRICE 300 RTK - радіозв'язок забезпечується технологічними можливостями платформи. До комплекту входять

- Радіотракт 2.4ГГц (передатчик та приймач)
- Радіотракт 5.8ГГц (передатчик та приймач)
- Антени для обох діапазонів
- Пульт керування

3.5.2 Зберігання даних

У пункті 2.3.2 були висунуті вимоги для сховища даних, тому для системи можна вибрати будь-який твердотільний накопичувач з ємністю більше 1ТВта швидкістю запису/считування більше ніж 250мб/с.

3.6. Пульт керування БПЛА

Пульт управління промислового робота є частиною станції управління. Цей пристрій служить інтерфейсом між оператором роботизованого комплексу і станцією управління робота.

Так з пульта управління відбувається програмування робота в ручному режимі, на пульті відбувається візуалізація виконуваних команд і стану РТК (робототехнического комплексу).

На пульті змонтовані органи управління в т.ч. кнопки оперативних команд, джойстик, переміщення якого вказують напрямок руху та прискорення при виконанні руху маніпулятором в ручному режимі, кнопка аварійної зупинки, кабель з роз'ємом для підключення до станції управління та інші.



Рисунок 3.10 – Пульти керування наземним роботом

Сьогодні майже всі сучасні пристрої оснащені кольоровим РК-монітором, який, як правило, є сенсорним.

Класи цих станцій керування поділяються на три типи, а саме стаціонарний клас (кімната або бункер), мобільний клас (фургон або мінівен із системою контролю та навігації разом із оператором) і ручний клас (випадки, які можна легко розгорнуті як станції управління).

На прикладі комплексу «Піонер» ВМС США показано підсистеми регулювання та координації польоту, наявні в безпілотному комплексі.

Як правило, станція складається з кількох компонентів, включаючи механізм, який приймає сигнали, що надсилаються безпілотними літальними апаратами (БПЛА).

Система зв'язку, яка використовується на кораблях для надсилання та отримання сигналів, відома як система суднової сигналізації.

На моніторі відображаються системи прийому та обробки зображень.

Система обладнана для прийому тепловізійних та інфрачервоних зображень, а також забезпечує доступ до панелі керування зовнішнього пілота.

Програмування для польотів і місій.

На боці безпілотного літального апарату (БПЛА) лежить складна система підсистем управління. Ця система містить різноманітні пристрої, призначені для збору та аналізу певної інформації, пов'язаної з навколишнім середовищем.

Системи зв'язку для супутників включають ГЛОНАСС і GPS.

Телеметричний пристрій отримує інформацію про положення корабля в просторі, швидкість і тривалість польоту та інші параметри, які потім передаються на пункт управління.



Рисунок 3.11 – приклад пульта керування БПЛА

Конструкція командного модуля безпілотного авіаційного комплексу дозволяє використовувати різні функції.

Обладнання зв'язку та управління.

Повинні виконуватися функції оператора безпілотної літальної системи та оператора корисного навантаження.

Необхідне обладнання технічного забезпечення безпілотного літального комплексу.

Антенa, яка може передавати та приймати сигнали в усіх напрямках, використовується для телеметрії та контролю.

Тип антени, яка може передавати як відеосигнали, так і сигнали даних у всіх напрямках, відомий як всенаправлена антена.



Рисунок 3.12 – базова станція для БПЛА

3.7 Система опрацювання датчиків

Щоб подолати проблему відсутності у контролера польоту необхідних інтерфейсів для роботи з сервоприводами камери, датчиками та їх підвіскою, була розроблена відповідна плата.

Основна відповідальність плати полягає в обробці та передачі сигналів RS-232 на центральний комп'ютер після їх обробки. Для створення відповідної плати за основу були обрані контролер STM32F091CBT6 і контролер Ethernet Wiznet W5500.

3.8 Побудування повної принципової схеми

Усю принципову схему можна розділити на декілька блоків, що відмічені на схемі.

1. Блок локальної та глобальної навігації
2. Блок управління моторами
3. Головний блок
4. Гіропідвіс
5. Блок камер
6. Радіомодулі
7. Акумуляторна батарея[14]

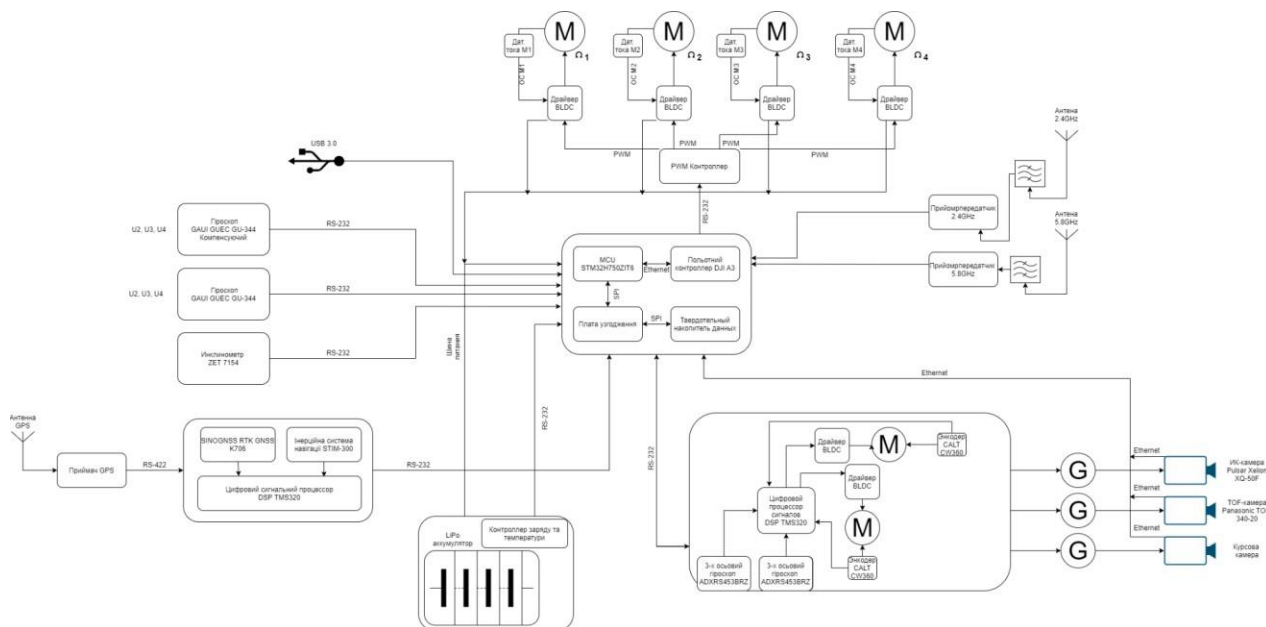


Рисунок 3.18 – Принципова схема

ВИСНОВКИ

Основна мета цього заходу – мінімізувати витрати та прискорити темп моніторингу ліній електропередач. Пропозиція використання безпілотного літального апарату (БПЛА) має ряд переваг з точки зору ефективності, точності та економічності порівняно з наземними командами. БПЛА використовуватимуть, щоб парити над лініями електропередач, щоб скласти план регіону з повітря, зробити зображення та відео опор ліній електропередач і зберегти отримані дані для подальшого використання.

Наступне завдання було виконано:

- Створено системну схему, яка описує процес зв'язування системних блоків.
- Розроблено комплексну схему автоматизації, яка служить практичним цілям.
- Важливі інтерфейси вибираються ретельно.
- Платформу БПЛА та супутнє обладнання вибрано та запущено в рух.
- Розробка плану трасування та розміщення дощок добре налагоджена.
- Сформульовано та окреслено принципи управління, висвітлено базові алгоритми.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мікроконтролер STM32F4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f4-series.html>.
2. Module Minim OSD [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3dr.com/wp-content/uploads/2017/03/FPVOSD-Kit-Manual-D.pdf>.
3. Давач углекислого газа CO2 в воздухе MH-Z19B MH-Z19 инфракрасный / [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://freedelivery.com.ua/arduino-100/datchiki-130/datchik-uglekislogo-gaza-co2-v-vozduxe-mh-z19b-mh-z19-infrakrasnyj.html>.
4. Давач пилу PM2.5 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mini-tech.com.ua/datchik-kachestva-vozduha-pm2_5.
5. **Бєловол, С.** Світовий досвід правового регулювання використання безпілотників [Електронний ресурс] / С. Беловол. – 2016. – Режим доступу: <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/28939.pdf>.
6. Системи обробки даних, інформаційні системи та їх класифікація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buklib.net/books/23517/>.
7. **Канченко, В. Я.** Безпілотні літальні апарати радіаційної розвідки і сільськогосподарського призначення [Електронний ресурс] / Р. В. Карнаушенко, О. О. Ключников, О. П. Мариношенко. – Режим доступу: <http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/mono/khan-2015.pdf>.
8. **Рубцова, Н. Э.** Обработка данных БПЛА в программе UASMaster [Текст] / Н.Э. Рубцова // Геоматика. – 2014. – №1. – С. 34 – 44.
9. **Синеглазов, В. М.** Оптимальный выбор устройств наблюдения для беспилотных аппаратов [Текст] / В. М. Синеглазов, Р. К. Кадем, А. Н. Мельниченко // Електроніка та системи управління. – 2010. – Т. 26. – № 4. – С. 46–72.
10. Гироскоп для квадролета GUEC GU-344 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hobbyostrov.ua/giroskop-dlya-kvadroleta-guec-gu-344->

[ga210344-ga210344.](#)

11. 2-axis inclinometer ZET 7154 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.directindustry.com/prod/zetlab/product-99089-1922114.html>

12. Custom drones for research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fly4future.com/research-drones?gclid=CjwKCAjwp6Ck BhB EiwAlQVyxSFetmL48ovF0LjebVKxsNSxVn67WxFtVrcQY2UDGyF_9iRF3IfFRRoC12IQAvD_BwE.

13. Time-of-flight камера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://uk.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0

14. Электропривод камера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stud.com.ua/84223/tehnika/printsipova_shema

Додаток А

Код Python

```
import smbus

# ініціалізуємо зв'язок з I2C
bus = smbus.SMBus(1)

# адрес пристрою
DEVICE_ADDRESS = 0x68

# адреси регістрів
GYRO_XOUT_H = 0x43
GYRO_XOUT_L = 0x44

# функція зчитування 16-бітного слова з двох регістрів
def read_word(reg_addr):
    high = bus.read_byte_data(DEVICE_ADDRESS, reg_addr)
    low = bus.read_byte_data(DEVICE_ADDRESS, reg_addr+1)
    value = (high << 8) + low
    return value

while True:
    # зчитуємо значення з регістрів 0x43 та 0x44
    gyro_x = read_word(GYRO_XOUT_H)
    # конвертуємо значення в градуси за секунду
    gyro_x = gyro_x / 131.0
    # виводимо значення
    print(gyro_x)
```