

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Модель польотного контролера для керування дроном в неприйнятних
погодних умовах
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи СКСм-21-1

Франко Н.С.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)


Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____
Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Кулак Е.М.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри



(підпис)

Чумаченко С.В.
(прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва)

Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Франко Назару Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модель польотного контролера для керування дроном
в неприйнятних погодних умовах

затверджена наказом по університету від 14 листопада 2022 р. № 1478 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 16 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

C++, Python, VS Code

Raspberry Pi 4B, Nvidia Jetson TX2

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Аналіз та дослідження публікацій щодо предметної області

Розробка систем для моделі польотного контролера

Аналіз результатів дослідження розроблених моделей

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____
слайди презентації 24 слайди

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2022-05.09.2022	
2	Аналіз предметної області	07.09.2022-21.09.2022	
3	Аналіз джерел з теми	22.09.2022-05.10.2022	
4	Розробка алгоритму з використанням оптичної навігації при втраті GPS-сигналу	06.10.2022-19.10.2022	
5	Розробка апаратного забезпечення для протидії низьким температурам	20.10.2022-27.11.2022	
6	Оформлення пояснювальної записки	28.11.2022-30.11.2022	
7	Оформлення графічного матеріалу	06.12.2022-11.12.2022	
8	Перевірка виконаного проекту керівником	12.12.2022-14.12.2022	

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Кулак Е.М.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 49 сторінок, 21 рисунок, 6 таблиць, 13 джерел за переліком посилань.

БПЛА, ПОЛІТ, ДАТЧИКИ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЬ, НАВІГАЦІЯ, ПОГОДА.

У магістерській роботі розглядались питання, пов'язані зі створенням моделі польотного контролера для управління дроном у неприйнятних погодних умовах.

Об'єкт дослідження – польотний контролер для управління дроном.

Предмет дослідження – методи та системи для польотного контролера задля підвищення стійкості у непридатних для польоту умовах.

Мета дослідження – збільшення часу, періоду польотів та стійкості БПЛА до погодних умов при використанні у будь-яку пору року та час доби.

Наукова новизна дослідження полягає у використанні методів оптичної навігації під час відсутності сигналу GPS, впровадження системи підтримання належної температури для підвищення часу використання акумуляторних батарей та зменшення впливу на них низьких температур.

Практична значущість результатів дослідження полягає у використанні розглянутих методів та систем для побудови польотного контролера для управління дроном у неприйнятних погодних умовах, тим самим зменшивши вплив навколишнього середовища на час та якість польоту.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 49 pages, 21 figures, 6 tables, 13 sources according to the list of links.

UAV, FLIGHT, SENSORS, CONTROL SYSTEM, CONTROL, NAVIGATION, WEATHER.

The master's work deals with issues related to the creation of flight controller models for drone control in unacceptable weather conditions.

The object of research is a flight controller for controlling the drone.

The subject of research is methods and systems for a flight controller to improve stability in non-flyable conditions.

The purpose of the investigation is increasing the time, period of flights and resistance of the UAV to weather conditions when used at any time of the year and time of day.

The scientific novelty of the study is the use of optical navigation methods in the absence of a GPS signal, the introduction of a system for maintaining the proper temperature to increase the battery life and reduce the impact of low temperatures on them.

The practical significance of the research results lies in the use of the considered methods and systems for building a flight controller to control the drone in unacceptable weather conditions, thereby reducing the impact of the environment on the time and quality of the flight.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПУБЛІКАЦІЙ ЩОДО ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	11
1.1 Аналіз несприятливих погодних умов для літальних апаратів	11
1.2 Наслідки несприятливих погодних умов для літальних апаратів	12
1.3 Спеціалізовані типи квадрокоптерів для поганих погодних умов	14
1.4 Аналіз рейтингу міжнародного маркування захисту	16
1.5 Аналіз заходів щодо використання дронів у погану погоду	19
1.6 Висновки до розділу 1	20
2 РОЗРОБКА СИСТЕМ ДЛЯ МОДЕЛІ ПОЛЬОТНОГО КОНТРОЛЕРА	21
2.1 Розробка алгоритму з використанням оптичної навігації при втраті GPS-сигналу.....	21
2.1.1 SIFT (Scale-invariant feature transform)	22
2.1.2 SURF (Speeded Up Robust Features)	24
2.1.3 ASIFT (Affine-SIFT).....	25
2.1.4 Алгоритм співставлення зображень	25
2.2 Розробка апаратного забезпечення для протидії низьким температурам	30
2.2.1 Вплив холоду на акумуляторні батареї	30
2.2.2 Новий вид літій-іонних батарей.....	31
2.2.3 Проектування та розробка апаратного забезпечення для підтримки температури	34

2.3 Висновки до розділу 2	35
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ ...	37
3.1 Аналіз результатів дослідження алгоритму на основі оптичної навігації	37
3.1.1 Дослід №1	37
3.1.2 Дослід №2	41
3.2 Оцінка якості систем для протидії низьким температурам.....	45
3.3 Висновки до розділу 3	47
ВИСНОВКИ	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	50
ДОДАТОК А Графічний матеріал до кваліфікаційної роботи	Ошибка!
	Закладка не определена.
ДОДАТОК Б Тези доповіді	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ
І ТЕРМІНІВ

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ASIFT – (англ. Affine-SIFT) афінні прискорені надійні функції

GPS – (англ. Global Positioning System) система глобального позиціювання

IP Ratings – (англ., International Protection Marking) міжнародне маркування захисту

SIFT – (англ. Scale-invariant feature transform) масштабно-інваріантне перетворення ознак

SURF – (англ. Speeded Up Robust Features) прискорені надійні функції

ВСТУП

Безпілотні системи сьогодні за ступенем свого розвитку і значенням для збройної боротьби в деякому сенсі подібні до літаків і танків у війнах ХХ століття. Вони будуть інтенсивно розвиватися і використовуватися, постійно удосконалюючись і займаючи все більш визначне місце у збройній боротьбі.

Також сьогодні широко використовуються невеликі та легкі дрони, які завдяки спеціальному програмному забезпеченню можуть досліджувати природні та міські ландшафти, створюючи, окрім фото, тисячі цифрових точок, які об'єднуються у цифрові зображення, а згодом і у 3D-моделі. В той же час створюються і різні супроводжуючі програмні засоби зі «склеювання» отриманих знімків та виконується геоприв'язка отриманого зображення до певної системи координат. Створена на базі хмарних технологій система коректує фотографії так, щоб вони здавалися зробленими з одного і того ж кута, цей процес називається ортотрансформуванням.

У роботі розглядаються питання, пов'язані зі створенням моделі польотного контролера для управління дроном у неприйнятних погодних умовах.

Мета дослідження – збільшення часу, періоду польотів та стійкості БПЛА до погодних умов при використанні у будь-яку пору року та час доби.

Об'єкт дослідження – польотний контролер для управління дроном.

Предмет дослідження – методи та системи для польотного контролера задля підвищення стійкості у непридатних для польоту умовах.

Задачі дослідження орієнтовані на удосконалення та створення моделей польотного контролера управління дроном у неприйнятних погодних умовах: проаналізувати сучасні технологічні тенденції; виконати аналітичний огляд моделей та методів для протистояння погодним умовам; удосконалити існуючі протипогодні системи для дронів; провести якісну

оцінку досліджених, спроектованих та впроваджених результатів даної роботи.

1 АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПУБЛІКАЦІЙ ЩОДО ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз несприятливих погодних умов для літальних апаратів

Коли йдеться про погану погоду для дрона, найчастіше мають на увазі дощ і сильний вітер, але туман і різкі перепади температури також можуть стати причиною появи попереджувальних повідомлень на відеопотоці дрону. Така погода може незворотно пошкодити електроніку безпілотної та інші чутливі сенсорні компоненти.

Нижче наведено короткий опис типів погоди, які вважаються несприятливими для польотів дрону.

– Дощ/шторм – вода є криптонітом дронів. Велика кількість точок проникнення води всередину дрону означає, що навіть найслабший дощ може пошкодити електроніку та внутрішні компоненти дрону. Корпус дрону зазвичай має отвори для розсіювання тепла під час польоту і є слабким місцем для проникнення води.

– Сильний вітер – дрон може літати при швидкості вітру до $2/3$ від максимальної швидкості. При сильному вітрі дрону важко залишатися нерухомим і летіти проти вітру.

– Туман – туман є особливо небезпечною погодною умовою для польоту дрону, тому що ви не зможете підтримувати пряму видимість, необхідну для дотримання закону. Крім того, дрон повинен чітко бачити перешкоди, щоб уникнути їх. Політ у тумані змусить оператора покладатися на датчики GPS і компас набагато більше, ніж він міг бачити дрон.

– Сніг – польоти в снігопад особливо небезпечні, оскільки сніг осідає на корпусі дрону. Тепло, що виділяється електронікою та двигунами, може легко розтопити сніг і призвести до його потрапляння в корпус дрону та

короткого замикання життєво важливих компонентів. Навіть найлегший снігопад може мати серйозні наслідки для цілісності вашого дрону.

– Високі температури – навіть особливо хороший день може бути особливо небезпечним для дрону. Дрон може перегрітися, якщо ви живете у спекотному та сонячному кліматі. Я отримував попередження про сильний нагрів мого дрона під час польотів при температурі вище 35° C. Під час польоту дрони виділяють багато тепла, і для забезпечення безпеки вашого дрону та літій-полімерної батареї необхідне ефективне відведення цього тепла.

Це погодні умови, які особливо шкідливі для дрону. Однак, якщо зіткнутися з ними в день поганої погоди, слід дуже серйозно поставитися до особливих випадків.

1.2 Наслідки несприятливих погодних умов для літальних апаратів

Пориви вітру особливо шкідливі для стійкості дрону. Сильний вітер може легко переміщати дрон з боку на бік. Однак у дрона достатньо енергії, щоб повернути його у фіксоване положення GPS при переміщенні з боку в бік. Просте включення двигунів з одного боку дрону швидко усуне будь-яке бічне рух.

Вертикальне прискорення часто набагато менше, ніж прискорення вперед. Нижча швидкість по вертикалі робить дрон набагато сприйнятливішим до вертикального відхилення від курсу.

Поєднання сильного вітру з геологічними особливостями та стінами може створити напрочуд сильну висхідну тягу. Можна виявити висхідні потоки поблизу обриву та скель, що особливо часто зустрічається поблизу океану.

Дощ може легко викликати коротке замикання та проблеми з вашим дроном.

Дощова вода часто містить багато мінералів, які роблять її струмопровідною. Якщо дрон контактує з водою, вона може легко просочитися у внутрішні компоненти та викликати значне замикання та пошкодження.

Рівень вітростійкості дрону визначатиме найсильніші вітри, при яких ви зможете літати. Виробники часто вказують рівень вітростійкості. Одним із найпоширеніших рівнів вітростійкості є рівень 5.

Вітростійкість 5 рівня означає, що дрон може літати при поривах вітру до 24 миль/год або 10,7 м/с. Політ дрону під час вітру, що перевищує цей рівень, призведе до більш небезпечного польоту.

Єдиний спосіб подолати вітростійкість рівня V - придбати дрон з набагато потужнішими двигунами, здатними боротися із сильним вітром.

Погана видимість також може спричинити значні проблеми з польотом дрона.

Багато юрисдикцій та правил вимагають, щоб оператор постійно підтримував візуальну лінію видимості для свого дрона. Політ у тумані або інших умовах поганої видимості означає, що оператор не може бачити свій дрон на відносно близькій відстані.

Повна видимість навколо вашого дрона важлива для забезпечення безпеки вашого дрона та оточуючих.

Є безліч способів покращити контрастність дрону на тлі неба, додавши вогні, наклейки та світловідбиваючі стрічки.

Якщо у цей день немає вітру і дощу, то прекрасний день все одно може бути дуже шкідливим для дрона, якщо прогнозується висока температура. Швидка розрядка акумулятора та висока швидкість обертання двигунів – все це сприяє ризику перегріву. Крім того, це може призвести до перегріву.

Тому в корпусі дрону багато ґрат та щілин. Коли дрон летить уперед, він наганяє повітря на внутрішні електронні компоненти, що допомагає розсіювати тепло. Особливо потужні дрони також оснащені радіаторами, які

максимально збільшують площу поверхні компонентів, які найсильніше нагріваються.

Якщо температура повітря відповідає температурі повітря, це допомагає відводити тепло.

Якщо температура повітря особливо висока, відведення тепла від внутрішніх компонентів буде менш ефективним. Постійний рух дрону сприяє руху повітряного потоку і збільшує кількість тепла, що виділяється. Зависання в дуже спекотний день може призвести до швидкого нагрівання дрону та появи на дисплеї попередження про високе нагрівання [1].

1.3 Спеціалізовані типи квадрокоптерів для поганих погодних умов

Найкращим для вітряної погоди не дарма став саме DJI Inspire 1. Це пристрій із гарною якісною збіркою, точністю сенсорів та відмінними можливостями, особливо під час вітру. У суворих погодних умовах опір вітру становить 10 м/с. Друге покоління, а саме Inspire 2, теж відрізняється хорошими характеристиками, але саме перша модель займає перше місце. Вона оснащена розкішною системою, яка дозволяє керувати пристроєм за допомогою натискання/перетягування. У режимі Attitude під час сильного вітру девайс здатний навіть використовувати вітер для того, щоб підвищити власну швидкість.

В цілому, DJI Inspire 1 (рис. 1.1) – це ідеальна модель для новачків, які не звикли "літати" у вітряну погоду, або для тих, хто не впевнений у своїх силах. У будь-якому випадку, під час сильних поривів вітру цей квадрокоптер втримає курс.

Серія пристроїв DJI Phantom 4 Pro (рис. 1.2) з кожною новою моделлю дедалі більше вдосконалює показники та якість польоту. Phantom 4 – це теж відмінна модель, яка може дати фору багатьом конкурентам, але саме Phantom 4 Pro витримає вітер, як ніхто інший. У показаннях GPS датчиків він набагато точніше, чому досі не можуть знайти пояснення навіть

найдосвідченіші професіонали. Плюс, можливості зльоту та утримання в повітрі у цієї моделі досконаліші, ніж у стандартної версії.



Рисунок 1.1 – DJI Inspire 1

Єдине, що може зіпсувати враження від польоту з цим квадрокоптером – це кількість повідомлень, які надходять на смартфон. Вас попереджають про дуже високу швидкість вітру, незважаючи на те, що квадрокоптер цілком може впоратися з ним.



Рисунок 1.2 – DJI Phantom 4 Pro

Модель DJI Mavic Pro 2 від DJI. За роки роботи компанія настільки відточила майстерність у виробництві дронів, що саме їхня продукція обходить конкурентів за всіма показниками. Винятком не став і DJI Mavic Pro 2. Цей квадрокоптер абсолютно без проблем витримує швидкість вітру 24 м/год, і має опірність 38 км/год. Одним словом, при помірному вітрі такий квадрокоптер впорається із завданням, а от при сильному вітрі варто замислитись, перш ніж вирушати з ним на вулицю. Занадто різкі пориви можуть перевернути пристрій, і змусити його впасти.

1.4 Аналіз рейтингу міжнародного маркування захисту

Електричне та електронне обладнання погіршується або працює несправно, коли вода чи пил потрапляють у пристрій. IEC розробив рейтинг захисту від проникнення (IP Ratings), який оцінює стійкість корпусу до проникнення пилу або рідини [5].

Стандарт IEC 60529 був розроблений для оцінки та класифікації стійкості корпусів електричних та електронних пристроїв до проникнення

пилу та рідин. Він також оцінює, наскільки легкий доступ для людей до потенційно небезпечних частин всередині корпусу.

Код IP складається з двох цифр. Перша цифра означає захист від твердих предметів і оцінюється за шкалою від 0 (немає захисту) до 6 (немає проникнення пилу).

Друга цифра оцінює захист корпусу від рідин і використовує шкалу від 0 (без захисту) до 9 (гаряча вода під високим тиском під різними кутами).

Даний рейтинг наведено у таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – IP Ratings (перша характеристична цифра)

Ступінь захисту	Захист від сторонніх предметів діаметром	Опис
0	–	Захист відсутній
1	≥ 50 мм	Великі поверхні тіла, відсутній захист від усвідомленого контакту
2	$\geq 12,5$ мм	Пальці та схожі об'єкти
3	$\geq 2,5$ мм	Інструменти, кабелі тощо
4	≥ 1 мм	Більшість дротів, болти тощо
5	Пилозахищений	Деяка кількість пилу може проникати всередину, однак це не порушує роботу пристрою. Повний захист від контакту
6	Пилонепроникний	Пил не може потрапити у пристрій. Повний захист від контакту

Таблиця 1.2 – IP Ratings (друга характеристична цифра)

Ступінь захисту	Захист від	Опис
0	–	Захист відсутній
1	Вертикальні краплі	Вертикально капаюча вода не повинна порушувати роботу пристрою
2	Вертикальні краплі під кутом до 15°	Вертикальна вода, що капає, не повинна порушувати роботу пристрою, якщо його відхилити від робочого положення на кут до 15°
3	Падаючі бризки	Захист від дощу. Бризки падають вертикально чи під кутом до 60° до вертикалі
4	Бризки	Захист від бризок, що падають у будь-якому напрямку
5	Струмінь води	Захист від струменів води (сопло 6,3 мм (0,25")) під тиском 30 кПа на корпус з будь-якого напрямку
6	Потужний струмінь води	Захист від потужних струменів води (сопло 12,5 мм (0,49")) під тиском 100 кПа на корпус з будь-якого напрямку
6К	Потужний струмінь води високого тиску	Захист від потужних струменів води (сопло 6,3 мм (0,25")) під тиском 1000 кПа на корпус з будь-якого напрямку під підвищеним тиском
7	Короткочасне занурення на глибину до 1 м тривалістю не більше 1 хвилини	При короткочасному зануренні вода не потрапляє у кількостях, що порушують роботу пристрою. Постійна робота в зануреному режимі не передбачається
8	Занурення на глибину до 1 метра не більше 30 хвилин	Пристрій може працювати в зануреному режимі. Однак для деяких типів обладнання це

		може означати, що вода може проникнути всередину без шкідливого впливу
9	Струмінь води високої температури	Пристрій може працювати за умов високотемпературного миття водою високого тиску
9Ж	Потужний струмінь води високої температури	Захист від бризок під високим тиском та високою температурою зблизька

1.5 Аналіз заходів щодо використання дронів у погану погоду

Для кожного випадку з неприйнятними погодними умовами все ж таки є поради та заходи, які допоможуть з ними боротися.

Наприклад, теоретично можна керувати дроном у мороз, але з практичної точки зору буде помітно, що час польоту буде відносно коротким, тому слід звернути особливу увагу на літій-полімерні (LiPo) батареї.

Замість типових 20-25 хвилин польоту можна отримати лише 10-15 хвилин у холодну погоду.

Крім батареї, холодна погода також може вплинути на датчики дрона, внаслідок чого дрон буде менше реагувати на вхідні дані керування або навіть відійти. Перш ніж керувати дроном у холодну погоду, можна розігріти батареї в кишенях пальта або в іншому місці, де не так холодно.

Якщо виробник не вказав інше, дрон не є водонепроникним (витримує легкий дощ) або водонепроникним (витримує приземлення в басейні).

З чисто теоретичної точки зору є можливість захистити дрон від води за допомогою силіконового клею, але цього не радять робити, оскільки це призведе до втрати будь-якої гарантії, яка досі була дійсною.

Як правило, дрони не можуть літати під дощем, оскільки, як уже згадувалося, найбільш тендітна та критична частина дрона (двигун і електричні компоненти) дрони не є ні водостійкими, ні водонепроникними.

За таких погодних умов не було б сенсу літати, оскільки об'єктив камери запотіває, що робить безпілотник і його відео непридатними для використання.

Згідно з європейськими правилами, можна продовжувати керувати дроном, доки є видимість дрона та його оточення. Це означає, що дозволено керувати безпілотником у погану погоду, але оператор повинен зупинитися, коли є туман або йде сніг.

Конденсат, утворений снігом або туманом, може пошкодити двигуни дрона, а лід може навіть осідати навколо пропелерів.

1.6 Висновки до розділу 1

Таким чином, було проаналізовано актуальні публікації сучасних технологічних тенденцій, пов'язаних у галузі управління дронами. У підсумку, можна дійти висновку, що розробка та реалізація польотного контролера для управління дроном у неприйнятних погодних умовах надасть можливість суттєво підвищити час та період польотів у несприятливих погодних умовах.

Мета дослідження – збільшення часу, періоду польотів та стійкості БПЛА до погодних умов при використанні у будь-яку пору року та час доби.

Задачі дослідження удосконалення та створення моделей польотного контролера управління дроном у неприйнятних погодних умовах:

- проаналізувати світові технологічні тренди;
- провести аналітичний огляд моделей та методів для протистояння погодним умовам;
- удосконалити існуючі протипогодні системи для дронів;
- провести якісну оцінку досліджених, спроектованих та впроваджених результатів даної роботи.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМ ДЛЯ МОДЕЛІ ПОЛЬОТНОГО КОНТРОЛЕРА

2.1 Розробка алгоритму з використанням оптичної навігації при втраті GPS-сигналу

Зазвичай БПЛА керуються оператором за допомогою пульта, але цей спосіб має значний недолік – це дуже звужує радіус їхньої дії. Найбільш поширеними на сьогодні є автономні БПЛА, які при здійсненні своєї місії використовують координати GPS. Але завжди існує ймовірність залетіти у зони, куди сигнал GPS не дістає чи різке погіршення погодних умов – хмари теж можуть впливати на зв'язок з супутниками. Також, у контексті військових дронів, супротивник може штучно спотворювати або взагалі блокувати сигнал GPS, що призводить в свою чергу до перехоплення БПЛА, або його «засліплення».

Одним з способів вирішення цієї проблеми є використання допоміжних систем, що працюють на інших на фізичних принципах, ніж основна система навігації. Якщо основна навігаційна система працює на основі сигналів GPS, то можна використовувати допоміжну оптичну навігаційну систему, яка визначає положення шляхом порівняння зображень, отриманих від відеокамери БПЛА, з картами, зберігаються в базі знань БПЛА. Однак цей підхід має багато технічних проблем. По-перше, поточний ландшафт та ландшафт, включений до складової карти, можуть відрізнитися. Такі об'єкти, як будівлі та дороги, можуть бути зруйновані, особливо якщо місія проходить у зоні бойових дій. По-друге, зазвичай існує велика різниця між висотами, на яких БПЛА виконують завдання, і висотами, на яких виконується аерофотозйомка для створення синтетичних карт.

Тому зображення необхідно порівнювати з урахуванням масштабування, проєктивних перетворень та часткових змін об'єктів. Незважаючи на відмінності зображень, деякі частини залишаються

незмінними, тому рекомендується застосувати алгоритм пошуку ключових точок на зображеннях та їх дескрипторів для розпізнавання загальних характеристик [7–11] для можливості порівнювати ці точки.

2.1.1 SIFT (Scale-invariant feature transform)

Алгоритм SIFT знаходить властивості зображення, інваріантні до масштабування та повороту зображення, а також частково інваріантні до зміни освітлення та точок зйомки 3D-камери [1, 2]. Оскільки виявлені ознаки сильно відрізняються один від одного, одна і та ж ознака може бути правильно зіставлений з різними зображеннями з високою ймовірністю, що забезпечує основу для розпізнавання об'єктів.

Алгоритм включає основні етапи, що наведені нижче.

Знаходження екстремумів у просторі масштабів. На першому етапі пошук виконується у всіх масштабах та позиціях на зображенні. Він реалізований з використанням функції різниці Гауса для визначення потенційних точок незалежно від масштабу та орієнтації.

Простір масштабів зображень визначається як функція $L(x, y, \sigma)$, отримана в результаті згортки розподілу гаусівського змінного масштабу $G(x, y, \sigma)$ з вхідним зображенням $I(x, y)$.

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y), \quad (2.1)$$

де $*$ – операція згортки на x і y , і

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\left(\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (2.2)$$

Функція згортки різниці гаусіанів із зображенням $D(x, y, \sigma)$, що може бути розрахована як різниця двох сусідніх масштабів, поділених на постійний коефіцієнт k :

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (2.3)$$

Локалізація ключових точок. Для кожного розташування точки-кандидата існує докладна модель для визначення місцезнаходження та масштабу. Ключові точки вибираються на основі їхньої стабільності.

Визначення орієнтації. Кожній ключовій точці призначається один або кілька напрямків, залежно від напрямку локального градієнта. Усі наступні операції виконуються над перетвореними даними зображення щодо заданої орієнтації, масштабу та положення кожної ознаки, що забезпечує інваріантність цих перетворень.

Масштаб ключової точки використовується для того, щоб вибрати зображення L , згладжене гаусіаном. Для кожного зразка зображення $L(x, y)$, значення градієнта $m(x, y)$ і орієнтація $\theta(x, y)$ обчислюється як різниця пікселів:

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2} \quad (2.4)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)}\right) \quad (2.5)$$

Дескриптори ключових точок. Локальний градієнт зображення вимірюється у вибраному масштабі області навколо кожної характерної точки. Вони трансформуються в уявлення, де допускають значні локальні спотворення форми та зміни освітлення [5].

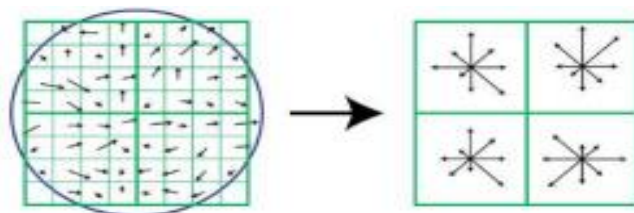


Рисунок 2.1 – Дескриптор ключової точки

2.1.2 SURF (Speeded Up Robust Features)

Алгоритм SURF ґрунтується на тих же принципах і кроках, що й SIFT, але конкретна реалізація на кожному кроці відрізняється [6]. Алгоритм складається з трьох основних частин: ідентифікація характерних точок, опис особливостей локального середовища та порівняння.

Ідентифікація характерних точок. SURF знаходить ключові точки за допомогою детектора Гессе. Визначник матриці Гессе використовується як міра локальної варіації навколо точки. Вибирається точка, що максимізує цей визначник. SURF також використовує визначник Гессе для вибору масштабу..

Матриця Гессе в точці $p = (x, y)$ зображення I масштабу σ $H(p, \sigma)$ визначається наступним чином:

$$H(p, \sigma) = \begin{pmatrix} L_{xx}(p, \sigma) & L_{xy}(p, \sigma) \\ L_{xy}(p, \sigma) & L_{yy}(p, \sigma) \end{pmatrix}, \quad (2.6)$$

де $L_{xx}(p, \sigma)$ – згортка похідної гаусіана другого порядку $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma)$ із зображенням I в точці p .

Аналогічно для $L_{xy}(p, \sigma)$ і $L_{yy}(p, \sigma)$.

Алгоритм використовує квадратні фільтри, які апроксимують похідну Гауса другого порядку і можуть бути дуже швидко обчислені з використанням інтегрального представлення зображень, незалежно від розміру.

Дескриптори. Дескриптор SURF заснований на властивостях, подібних до SIFT, але менш складних. Перший крок – скоригувати орієнтацію, що відтворюється, на основі інформації з круглої області навколо ключової точки. Потім створюється та вирівнюється у вибраному напрямку квадратна область, з якої виходить дескриптор SURF.

2.1.3 ASIFT (Affine-SIFT)

ASIFT з достатньою точністю моделює усі спотворення, спричинені зміною орієнтації оптичної осі камери [6]. Потім застосовується метод SIFT. Іншими словами, ASIFT моделює три параметри: масштаб, довготу камери, широту та нормалізує інші (поворот та зміщення).

ASIFT включає наступні кроки, вказані нижче.

а) Кожне зображення перетворюється шляхом імітації всіх можливих афінних перетворень, викликаних зміною орієнтації оптичної осі камери щодо її переднього положення. Ці перетворення залежить від двох параметрів: довготи ϕ і широти θ .

б) Ці повороти та нахили виконуються над кінцевим і невеликим числом кутів широти та довготи. Крок дискретизації цих параметрів забезпечує близькість змодельованих зображень до інших можливих зображень, що згенеровані з використанням інших значень ϕ і θ .

в) Усі змодельовані зображення порівнюються з допомогою алгоритму зіставлення (SIFT) [7].

2.1.4 Алгоритм співставлення зображень

Оскільки під час порівняння супутникових зображень, зроблених з різних позицій, виникають локальні спотворення, такі як спотворення перспективи та зміни у будинках, дорогах та деревах (наприклад, сезонні), як базові алгоритми будуть використовуватися алгоритми SIFT, SURF і ASIFT.

Алгоритм порівняння фотографій та космічних знімків складається з наступних етапів:

а) Знаходження ключових точок на обох зображеннях. Приклад пошуку ключових точок за допомогою алгоритмів SIFT, SURF, ASIFT на повному зображенні, що підлягає перетворенню (роздільна здатність: 500x667 пікселів) представлено на рисунку 2.2. Під час дослідження використовувалися зображення з роздільною здатністю 1944x2592, які мають

значну більшу кількість ключових точок. У цьому дослідженні було показано, що при класичному застосуванні SIFT, SURF та ASIFT, тобто спроби знайти перетворення зображення на основі всіх знайдених точок, дають погані результати через велику кількість неправильних суміщених точок. Приклад зіставлення всіх точок зображень показаний на рисунку 4.

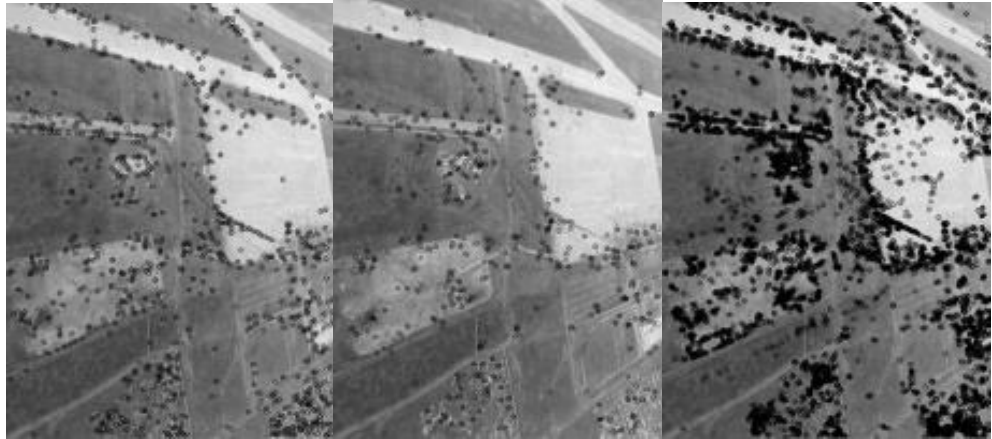


Рисунок 2.2 – Ключові точки (SIFT, SURF, ASIFT)

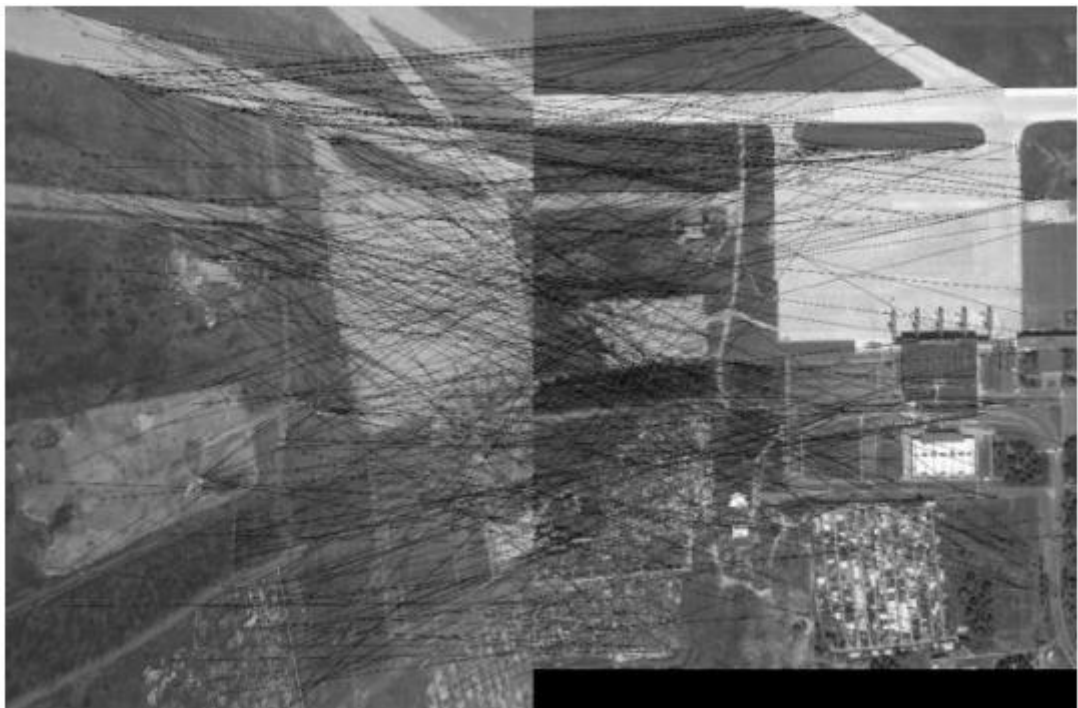


Рисунок 2.3 – Співставлення всіх ключових точок

б) Вибір відповідних областей. Через помилки порівняння всіх точок, описаних на етапі 1, для подальшої маніпуляції алгоритмом запропоновано на другому кроці алгоритму співставлення виділити декілька (2.2–2.4) відповідних областей у парах зображень. Приклади вибору області показано на рисунках 2.2 та 2.4.

в) Виключення з подальшого розгляду всіх ключових точок, що не потрапили у відповідні області. На цьому етапі всі ключові точки, які не потрапляють у відповідний регіон, були виключені з розгляду, що зменшило кількість розбіжностей. На рисунок 2.4 показаний приклад зображення обраної області із зіставленням ключових точок, отриманого за допомогою алгоритму ASIFT.

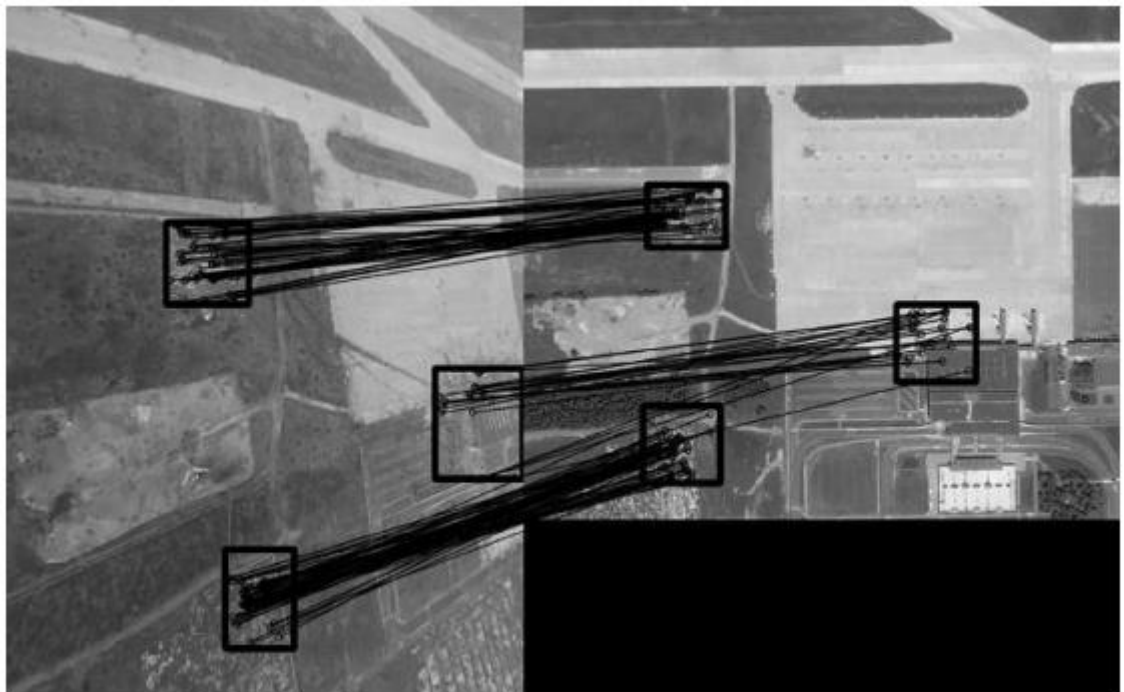


Рисунок 2.4 – Відповідні області та співставлення ключових точок

г) Знаходження проєктивного перетворення (гомографічне перетворення) одного зображення на інше за відповідними точками на обох зображеннях.

Відображення точок у 2D-площині на зображенні з камери є прикладом гомографії. Це відображення може бути виражене в термінах матричного

множення з однорідними координатами, що представляють точки спостереження Q і точку зображення q , яку відображається Q . Гомографія може бути виражена як $\bar{q} = sH\bar{Q}$, де $\bar{Q} = [X Y Z 1]^T$, $\bar{q} = [x y 1]^T$, де s – масштабний коефіцієнт. Приклад знаходження гомографічного перетворення для зображення знімку показано на рисунку 2.5 (у центрі).

д) Накладання зображень. Результуюче зображення виходить як зважена сума гомографії, отриманої після перетворення, зображення зі супутника. Приклад показаний на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Зліва на право – оригінальне зображення, перетворене та результат накладання

Процедура визначення якості перетворення зображення складається з наступних кроків:

а) Загальна перевірка правильності перетворення. На цьому етапі перевіряються пари вершин зображення по горизонталі та вертикалі на наявність дзеркальних відбитків. Якщо є, якість перетворення зображення встановлюється рівним нулю. В іншому випадку якість розраховується, як описано нижче (кроки 2, 3). Приклади помилкових перетворень з нульовою якістю показані на рисунках 3.6 та 3.7 (перші зображення).

б) Вибір загальних прямокутних областей. Після гомографічного перетворення форма зображення змінюється. Тому на перетворених зображеннях було виділено прямокутні області порівняння потенційно схожих частин зображень. Приклад вибору таких регіонів показано на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Виділення внутрішньої прямокутної області

в) Знаходження значення SSIM (Structure similarity).

Якість коректної трансформації (подібність між трансформованим зображенням та супутниковим знімком) вимірювалася за допомогою SSIM.

Особливістю індексу структурної подібності (SSIM) є метод, який враховує «сприйняття помилок» шляхом розгляду структурних змін інформації. Ідея полягає в тому, що пікселі сильно корельовані, особливо коли вони розташовані близько один до одного у просторі. Ці залежності містять важливу інформацію про структуру об'єкта та зображення в цілому. Метрика SSIM призначена для різних розмірів вікон. Різниця між двома вікнами x та y однакового розміру $N \times N$:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (2.7)$$

де

μ_x – середнє x ;

μ_y – середнє y ;

σ_x^2 – дисперсія x ;

σ_y^2 – дисперсія y ;

σ_{xy} – коваріація x і y .

$$c_1 = (k_1L)^2, c_2 = (k_2L)^2 \quad (2.8)$$

де

L – динамічний діапазон пікселів (зазвичай $2^{\text{кількість бітів на піксель} - 1}$);

$k_1 = 0,01$, $k_2 = 0,03$ – константи [5].

2.2 Розробка апаратного забезпечення для протидії низьким температурам

2.2.1 Вплив холоду на акумуляторні батареї

Тестування підтверджують той факт, що акумуляторні батареї (літій-полімерні) розряджаються швидше в умовах мінусових температур від 15 градусів і нижче. Справа в тому, що в холодну погоду спостерігається уповільнення хімічних реакцій, що призводять до отримання електричного струму. Ця проблема залишається актуальною практично для всіх акумуляторних батарей.

Температура нижче за нуль дуже негативно впливає на рівень заряду. Причина криється в речовинах, що містяться в літій-іонних акумуляторах. Літій – легкий метал. Заряджені частинки, іони в акумуляторі переміщуються між анодом і катодом в рідкому електроліті. Зовнішня температура акумулятора дуже впливає на електроліт.

Якщо температура занадто висока або занадто низька, рідина густітиме, уповільнюючи електрохімічні процеси в акумуляторі. Тому іони

рухаються повільніше між катодом та анодом. Це підвищує рівень внутрішньої напруги. Якщо пристрій потребує багато енергії акумулятора, він може втратити напругу і швидко розрядитися.

Розряджений акумулятор – найпоширеніша проблема, з якою стикаються пристрої в холодному кліматі. Занадто тривале перебування при низьких температурах може повністю розрядити батарею.

Чи впливає висота польоту на роботу батарей? Однозначно впливає. Зі збільшенням висоти тиск повітря починає зменшуватися. Це означає, що для вироблення достатньої підйомної тяги двигунам доводиться обертатися активніше, споживаючи більше енергії. Звичайно батареї на великій висоті починають розряджатися швидше.

Для продовження терміну експлуатації акумуляторів в екстрених ситуаціях включається режим захисту батарей від перезарядки. Це відбувається, коли рівень заряду знижується нижче 3В. В результаті знижується тяга і починає споживатися менше енергії, або ж батареї відключаються, внаслідок включення системи захисту.

2.2.2 Новий вид літій-іонних батарей

Китайські вчені розробили електролітний матеріал для літій-іонних акумуляторів. Це дозволяє акумулятору працювати за мінусових температур до -70 градусів за Цельсієм.

Місткість батареї на основі запропонованого електроліту та органічних електродів за цієї температури становить близько 70% від її ємності при кімнатній температурі, пишуть вчені у звіті Joule.

Вчені з'ясували, що літій-іонні акумулятори можна заряджати в кілька разів швидше

Проблема літій-іонних акумуляторів у тому, що їхня ємність різко падає, коли температура падає нижче нуля. Найбільше морозостійкі акумулятори продовжать працювати при температурах до -40°C, але їх

ємність знизиться приблизно до 12%. Це з тим, що або матеріал в електроліті просто замерзає, або провідність для іонів літію різко падає.

Китайські хіміки під керівництвом Юняо Ся з Фуданьського університету розробили новий матеріал органічний електролітний матеріал. Біс(трифторметансульфоніл)імід літію (LiTFSI) служить літійвмісним компонентом в електролітах (рисунок 2.7) [12].

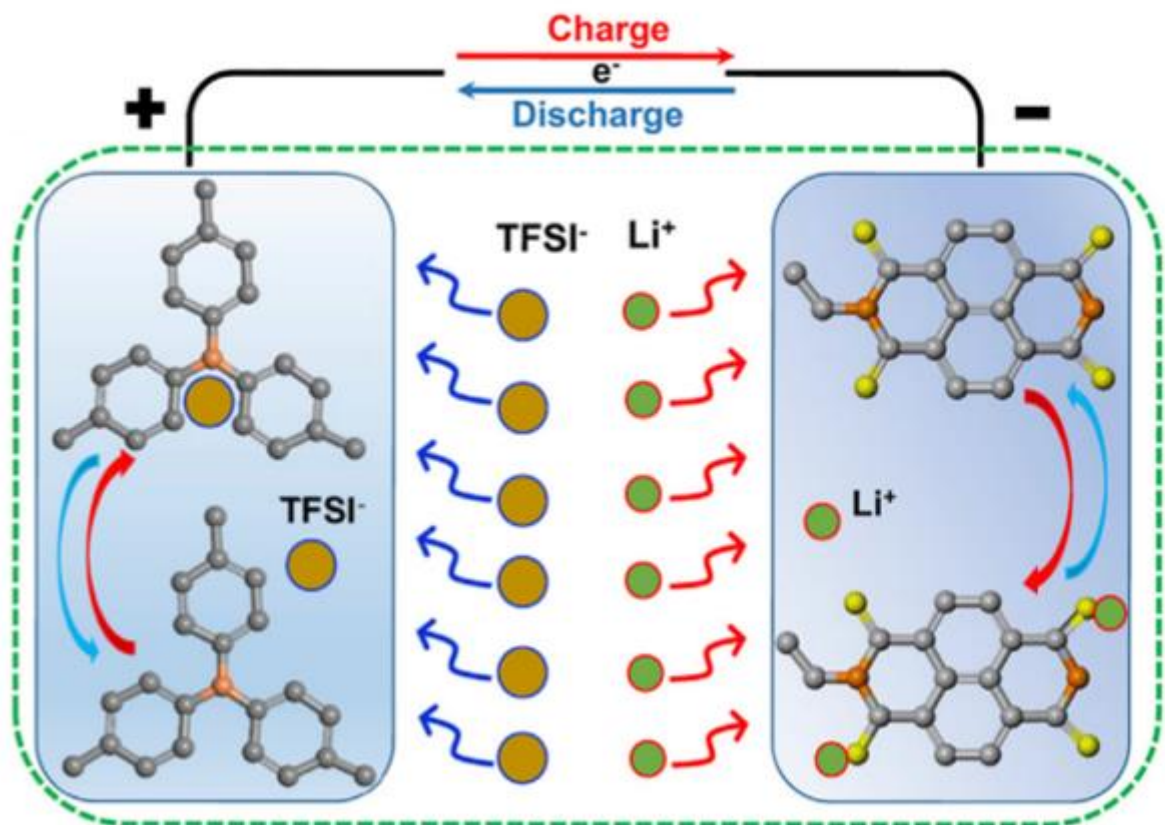


Рисунок 2.7 – Хімічний процес LiTFSI

Такі електроліти мають достатню іонну провідність для нормальної роботи акумуляторів як за високих температур (до 55 градусів Цельсія), і за досить низьких мінусових температурах. Навіть при -70 градусах Цельсія провідність іонів літію становить 0,2 мілісіменсу на див. Для порівняння, один з електролітів, що широко використовуються на основі LiPF₆, LB303, має значно більш високу провідність, ніж етилацетатний електроліт при

кімнатній температурі, але швидко знижується до -40 градусів Цельсія, коли температура знижується до -40 градусів Цельсія. на три порядки.

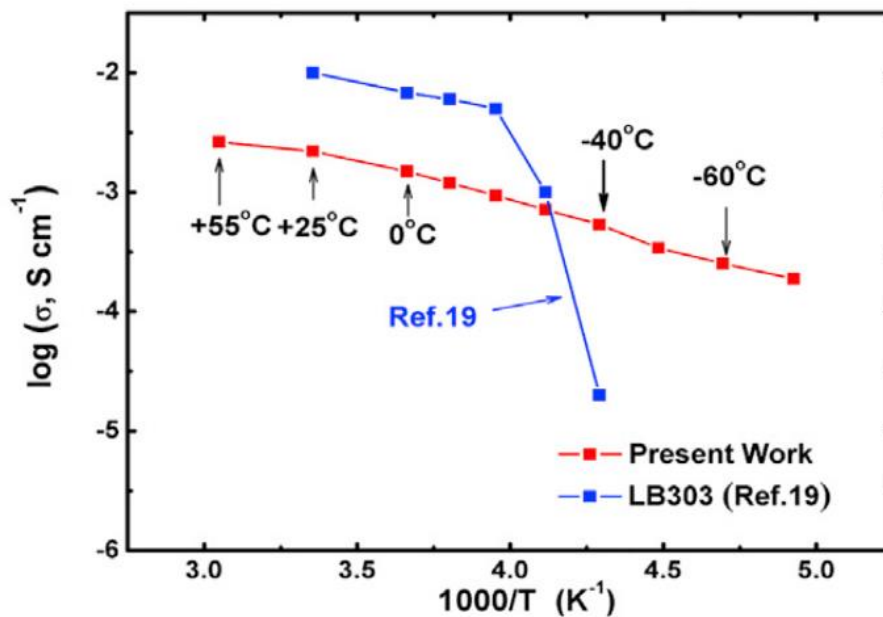


Рисунок 2.8 – Залежність іонної провідності від температури для запропонованої батареї (червоні крапки) і для традиційного електроліту LB303 (сині крапки)

На основі цього електроліту вчені створили комірку з двома типами електродів. У першій батареї електроди склалися з інтеркаляційного з'єднання (анод – манганат літію, катод – на основі покритого вуглецем змішаного фосфату літію і титану), у другій батареї – органополімерний матеріал (анод – діангідриди нафталінтетракарбоненової кислоти, і катодний – політріфеніл) Li^+ та TFSI – навіть при дуже низьких температурах.

Виявляється, органічні полімерні електроди дійсно дозволяють літій-іонним батареям функціонувати при кімнатній температурі, так і при досить низьких негативних температурах. При -70 градусах Цельсія ємність такої батареї падає лише на 30% порівняно з її ємністю за кімнатної температури. У той же час, однак, для катодів на основі шаруватих інтеркаляційних сполук

авторам статті не вдалося досягти достатніх швидкостей розчинення іонів літію, і такі клітини не працювали за негативних температур.

Автори статті кажуть, що розроблені ними літій-іонні акумулятори перспективні, особливо для використання в космічній програмі, насамперед як короткочасне джерело енергії при низьких температурах.

2.2.3 Проектування та розробка апаратного забезпечення для підтримки температури

Для протидії холоду фактично треба розробити систему підігріву акумулятора та інших важливих елементів, не забуваючи про потрапляння води.

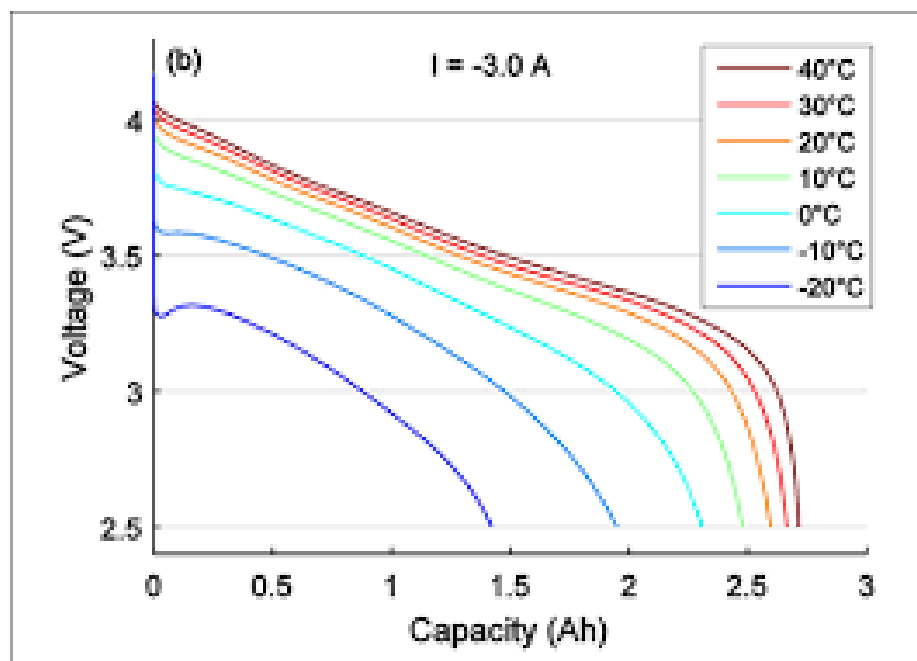


Рисунок 2.9 – Графік залежності для різних температур

За основу можна взяти подібну до Starlink технологію. Тарілка Starlink має вбудований нагрівач, який Starlink називає «конфігурацією сніготанення». Нагрівач добре розтопить сніг, який осідає на тарілці. Цю функцію можна увімкнути або вимкнути за допомогою програми Starlink.

Starlink може працювати за дуже низьких температур і все одно не виявлятиме жодних проблем. Користувачі Starlink перевірили антену за низьких температур до -45°C , і вона працювала без проблем.

Система обігріву складається з:

- датчика температури;
- власного джерела живлення;
- ізольованих термотрубок.

Принцип дії даної системи доволі простий: датчик температури виявляє сповіщає контролер про поточне значення температури і якщо воно нижче норми ($20-25^{\circ}\text{C}$), то контролер вмикає живлення термотрубкам.

Блок управління, який регулює вироблену ним кількість тепла, збільшує або зменшує температуру до якої нагріваються термотрубки. Сучасні технології дозволяють забезпечити тонкими дротиками з вуглецевого волокна і працюють під напругою від 12 до 24 вольт. Крім того низьковольтові електронагрівачі можуть мати ефект саморегуляції (при підвищенні температури підвищується і опір проводу, таким чином падає вихідна потужність), що є незаперечною перевагою з точки зору надійності (не потрібно збирати окрему схему контролю температури та проводити датчики).

2.3 Висновки до розділу 2

Розглянуто 3 алгоритми роботи для розпізнавання зображень, їх принципи та особливості роботи; досліджено вплив низьких температур на розряд акумуляторів, зокрема літій-іонних, врахований поточний технологічний розвиток нових батарей.

Запропоновано використання методів оптичної навігації як допоміжний до основного, що дозволяє орієнтуватися дрону при втраті сигналу GPS як природним так и штучним шляхом. Також було висунуто ідею щодо використання додаткових систем підтримання внутрішньої температури

апаратного забезпечення дрона – таким чином буде досягнуто зменшення залежності від впливу температури навколишнього середовища, що в свою чергу підвищує час використання літального апарата за низьких температур.

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ

3.1 Аналіз результатів дослідження алгоритму на основі оптичної навігації

Як зразок для порівняльного аналізу використовувалися знімки, зроблені з БПЛА в районі донецького аеропорту, а картою використовувалися карти GoogleMaps. У ході дослідження на кожному зображенні були вибрані відповідні області, і для перетворення зображення було застосовано описаний вище алгоритм. Для кожного експерименту та кожного набору областей застосовувалося зміщення кожної області (на 20% від розміру області) для кожного з чотирьох діагональних напрямків. До області зображення, що підлягає перетворенню, застосовувалося зміщення. Площа супутникового знімку не змінилася. Середня якість чутливості – це середня якість перетвореного зображення із застосуванням цього усунення. Також було проведено експеримент зі збільшення площі на 75%. Результати показані у стовпці “Середня якість збільшеної області”. У таблицях 3.1 та 3.3 показано час виявлення ключових точок для різних експериментів. Це важливо під час побудови систем реального часу. У таблицях 3.2 та 3.4 представлені дані про якість накладання зображень залежно від обраного алгоритму та кількості областей порівняння.

3.1.1 Дослід №1

Розглянемо приклад пари зображень із двома виділеними областями показаний на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 – Час виявлення ключових точок

Алгоритм	Час виявлення ключових точок (с)	Час співставлення дескрипторів (с)
SIFT	12,12	2,915
SURF	4,183	1,406
ASIFT	252,762	21,205

З графіка, поданого на рисунку 3.2 видно, що найвищу якість дає алгоритм ASIFT, але в чотирьох областях його результати і SURF дуже близькі.

На рисунках 3.3 та 3.4 наведено приклади перетворення зображень з різною якістю.



Рисунок 3.1 – Зображення з виділеними відповідними областями

Таблиця 3.2 – Якість накладання зображень

Алгоритм	Кількість областей	Кількість експериментів	Середня якість	Максимальна якість	Відсоток з перетворень з нульовою якістю	Середня якість чутливості	Середня якість зі збільшеними областями
SIFT	2	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
	3	10	0,17	0,59	0,40	0,02	0,06
	4	5	0,00	0,00	0,00	0,08	0,22
SURF	2	10	0,05	0,49	0,10	0,00	0,00
	3	10	0,28	0,58	0,50	0,04	0,12
	4	5	0,57	0,58	1,00	0,16	0,43
ASIFT	2	10	0,34	0,61	0,70	0,29	0,37
	3	10	0,50	0,58	0,90	0,46	0,44
	4	5	0,57	0,58	1,00	0,56	0,57

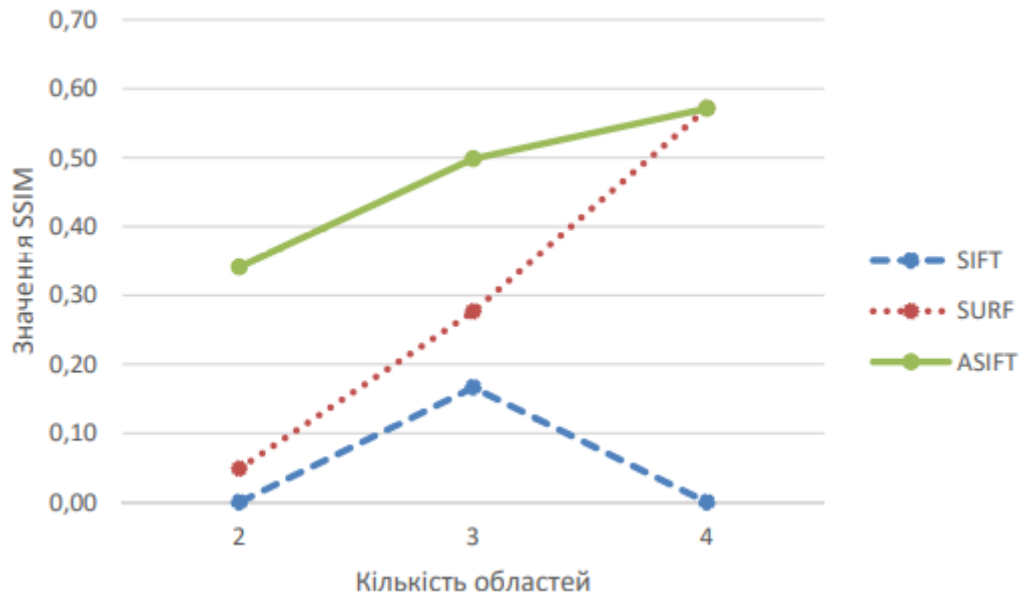


Рисунок 3.2 – Порівняння якості співставлення зображень (рисунок 3.1) різних алгоритмів виділення ключових точок з різною кількістю виділених областей

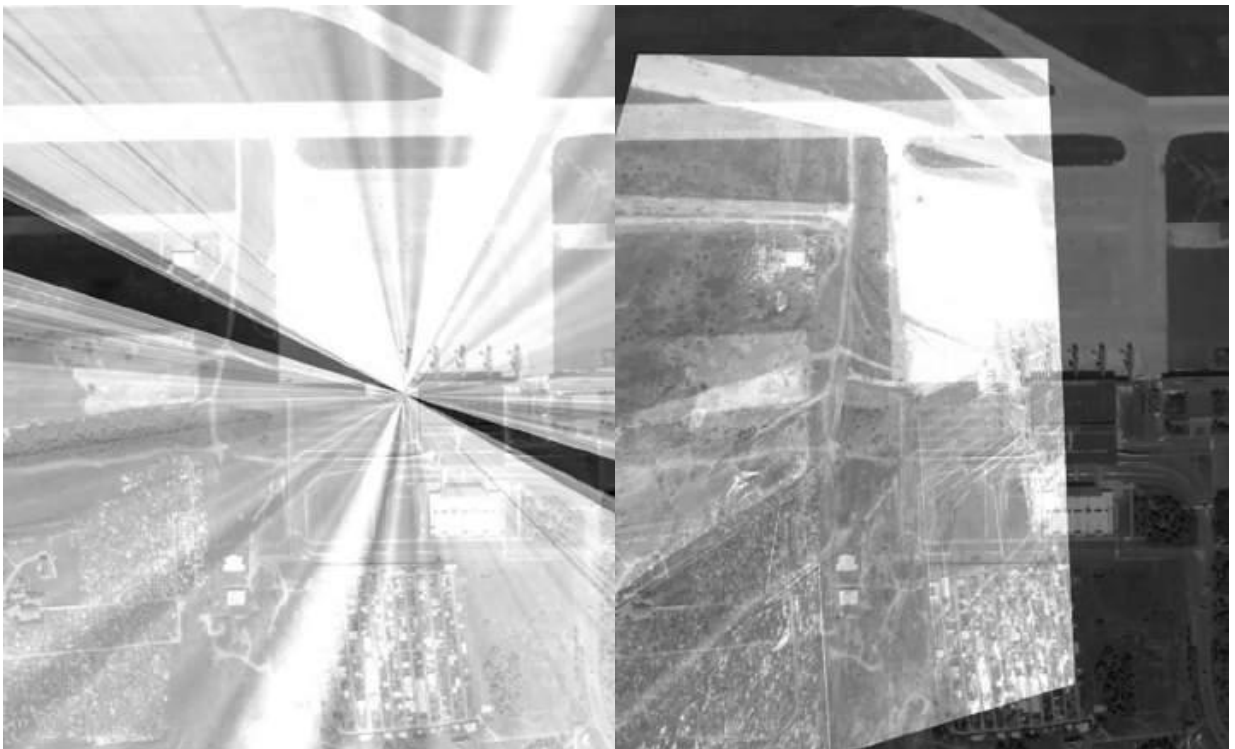


Рисунок 3.3 – Приклади перетворення зображень з різною якістю. Зліва на право: 0; 0,47



Рисунок 3.4 – Приклади перетворення зображень з різною якістю. Зліва на право: 0,50; 0,57

3.1.2 Дослід №2

Дослідимо ще один приклад пари зображень із двома виділеними областями показаними на рисунку 3.5.

Таблиця 3.3 – Час виявлення ключових точок

Алгоритм	Час виявлення ключових точок (с)	Час співставлення дескрипторів (с)
SURF	4,144	0,964
ASIFT	271,837	47,62

Результати SIFT дорівнюють нулю і не включені до таблиці 3.4. З урахуванням продуктивності SURF на рис. 3.6 показано порівняння якості відповідності залежно від кількості виділених областей лише для ASIFT.

На рисунках 3.7 та 3.8 показано приклади перетворення зображень з різною якістю.

Так, за результатами дослідження, найкраща якість досягається при використанні алгоритму ключових точок ASIFT, а кількість обраних релевантних регіонів дорівнює 4. супутникові знімки. Недоліком використання алгоритму ASIFT є його швидкість і його не рекомендується використовувати в системах реального часу. Було запропоновано використовувати ASIFT для зіставлення карти лише з деякими базовими зображеннями БПЛА, а потім використовувати SURF з інших фотографій БПЛА для створення панорам.



Рисунок 3.5 – Зображення з виділеними відповідними областями

Таблиця 3.4 – Якість накладання зображень

Алгоритм	Кількість областей	Кількість експериментів	Середня якість	Максимальна якість	Відсоток з перетворень з нульовою якістю	Середня якість чутливості	Середня якість зі збільшеними областями
SURF	2	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
	3	10	0,00	0,00	0,00	0,03	0,21
	4	5	0,00	0,00	0,00	0,10	0,23
ASIFT	2	10	0,30	0,63	0,50	0,23	0,18
	3	10	0,56	0,66	0,90	0,55	0,64
	4	5	0,65	0,66	1,00	0,64	0,52

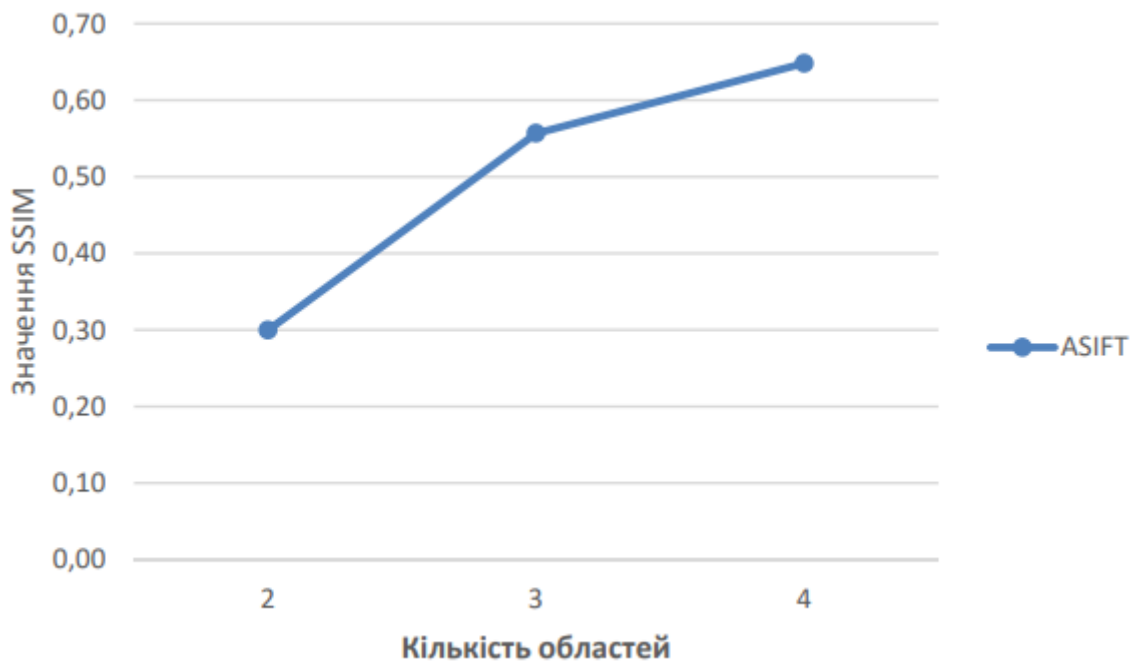


Рисунок 3.6 – Порівняння якості співставлення зображень (рисунок 3.5) з різною кількістю виділених областей

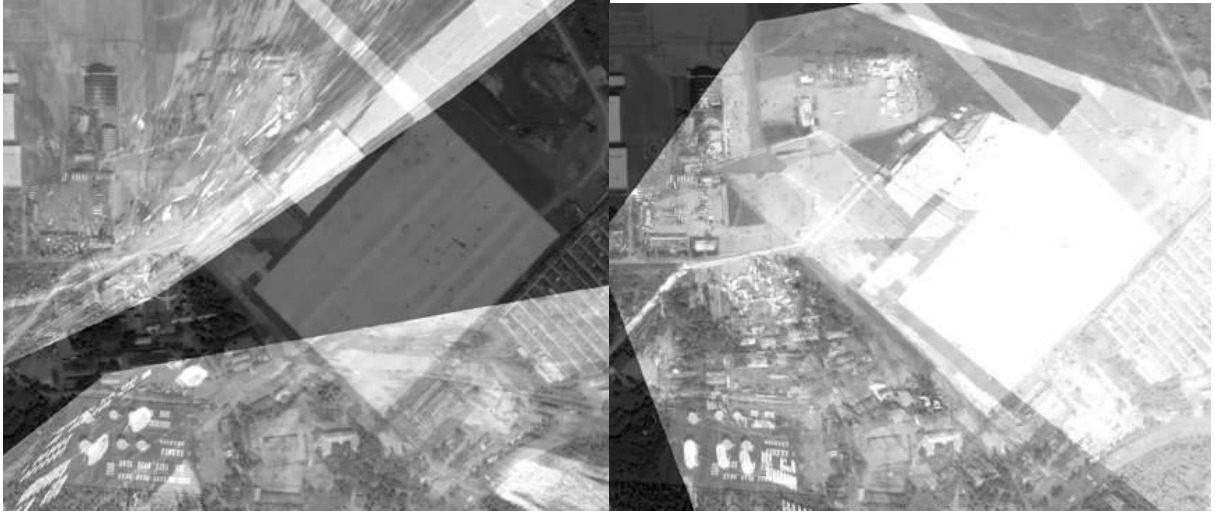


Рисунок 3.7 – Приклади перетворення зображень з різною якістю. Зліва на право: 0; 0,53

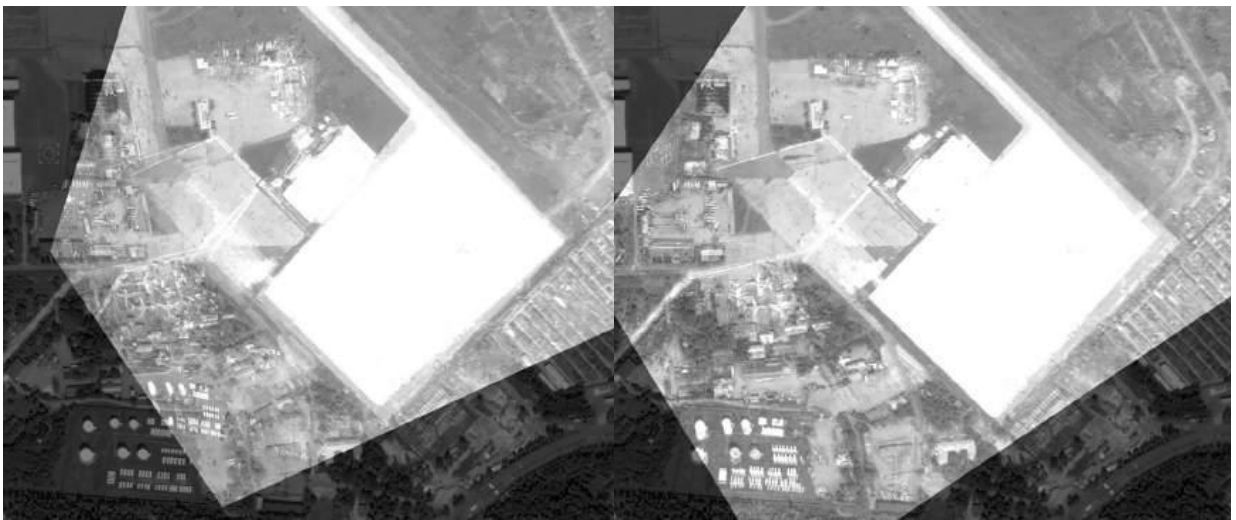


Рисунок 3.8 – Приклади перетворення зображень з різною якістю. Зліва на право: 0,63; 0,66

Розглянемо структуру оптичної навігаційної системи, побудованої за запропонованим алгоритмом (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Структура оптичної навігаційної системи

За допомогою драйвера відеокамери система отримує базове зображення. Оператор вибирає чотири області порівняння на зображенні та карті. Базове зображення накладається на карту за допомогою ASIFT. Нові зображення з БПЛА зшиваються між собою (SURF) і порівнюються з картою, щоб отримати координати на основі перетворення, отриманого шляхом накладання карти на базове зображення. Враховуючи координати, система може сформувати маршрут руху.

3.2 Оцінка якості систем для протидії низьким температурам

На рисунку 3.10 зображено приклад того, як можуть виглядати термотрубки для підтримки температури всередині дрону.



Рисунок 3.10 – Приклад теплотрубок

У якості експерименту було зроблено порівняння часу польоту двох однакових дронів з однаковим початковим зарядом батарей з та без використання системи обігріву.

Дійсно, БПЛА який мав у собі систему обігріву мав середній час польоту на 40-50 хвилин більше, ніж аналогічний без такої системи. Додатковий час вдалося отримати за рахунок того, що поки додаткові батареї живили систему обігріву, для всіх компонентів підтримувалась їх рекомендована температура, зокрема для літій-іонних батарей. Фактично, був створений мікроклімат для всієї електроніки.

Також варто зазначити, що оскільки температура підтримувалась достатньо теплою, то це також позбавило дрон налипання снігу, а додаткова герметизація потраплянню води (табл. 1.2).

3.3 Висновки до розділу 3

Було проведено декілька експериментів для перевірки якості та швидкодії алгоритмів розпізнавання зображень для реалізації оптичної навігації. Було розглянуто структуру оптичної навігаційної системи.

Проведено кілька тестових польотів у мінусову температуру для перевірки працездатності системи обігріву для протидії низьким температурам.

ВИСНОВКИ

У роботі були розглянуті питання пов'язані з удосконаленням моделі польотного контролера для управління дроном у неприйнятних погодних умовах.

В результаті проведених досліджень було виконано:

- проведено аналіз та дослідження публікацій щодо предметної області;
- розроблено алгоритм з використанням оптичної навігації при втраті GPS-сигналу;
- розроблено апаратне забезпечення для протидії низьким температурам;
- виконано аналіз результатів дослідження розроблених моделей.

Наукова новизна дослідження полягає у:

- використанні методів оптичної навігації під час відсутності сигналу GPS;
- впровадження системи підтримання належної температури для підвищення часу використання акумуляторних батарей та зменшення впливу на них низьких температур.

Практична значущість результатів дослідження полягає у використанні розглянутих методів та систем для побудови польотного контролера для управління дроном у неприйнятних погодних умовах, тим самим зменшивши вплив навколишнього середовища на час та якість польоту.

Перспективи дослідження. До перспектив даного дослідження можна віднести наступне:

- покращення методів оптичної навігації, зокрема використання інфрачервоного діапазону;
- покращення системи обігріву з використанням нових матеріалів та джерел живлення;

– дослідження інших погодних умов: дощ, вітер.

Результати дослідження наведено у тезах доповіді на науково-технічній конференції [13] (додаток Б).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. SHON С. В чем слабость дронов при полетах в плохую погоду? [Электронный ресурс] / CHARLIE SHON. – Режим доступа: www/URL:https://drones-camera.com/ru/what-is-a-drones-weakness-in-flying-in-bad-weather/
2. Новикова П. Лучшие квадрокоптеры для ветреной погоды [Электронный ресурс] / Полина Новикова. – 20. – Режим доступа: www/URL:https://www.fotosklad.ru/expert/gadgets/article/luchshie-kvadrokoptyery-dlya-vetrenoy-pogody.html
3. MATRICE: ВСЕПОГОДНЫЙ ДРОН [Электронный ресурс] – Режим доступа: www/URL:https://elitecopter.com.ua/matrice-vsepogodnyj-dron
4. Starr M. 9 Useful Tips for Flying a Drone in Bad Weather [Электронный ресурс] / MEGAN STARR – Режим доступа: www/URL:https://www.meganstarr.com/flying-drone-bad-weather/
5. IP ratings [Электронный ресурс] – Режим доступа: www/URL:https://www.iec.ch/ip-ratings
6. Lowe D.G. Object Recognition from Local Scale-Invariant Features [Text] / D.G. Lowe // International conference on Computer Vision. – 1999. – P. 1150–1157.
7. Lowe D.G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints [Text] / D.G. Lowe // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 60, No 2. – P. 91–110.
8. Використання масштабно-інваріантних дескрипторів для реєстрації зображень. [Електронний ресурс] – Режим доступа: [www/URL:http://pzs.dstu.dp.ua/ComputerGraphics/d&d/3.html](http://pzs.dstu.dp.ua/ComputerGraphics/d&d/3.html)
9. Bay H. Surf: Speeded up robust features [Text] / H. Bay, T. Tuytelaars, L. Van Gool // European Conference on Computer Vision. – 2006. – P. 1:404–417.

10. Morel J. ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison [Text] / J. Morel, G. Yu // SIAM Journal on Imaging Sciences – 2009. – Vol. 2, No 2. – P. 438–469.

11. Wang Z. Image Quality Assessment: From Error Measurement to Structural Similarity [Text] / Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli // IEEE Transactions on image processing. – 2004. – Vol. 13, No 1. – P. 600–612.

12. Вчені створили літій-іонні акумулятори, здатні працювати при температурі до -70 градусів [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www/URL: https://www.unian.ua/science/10027442-vcheni-stvorili-lityi-ionni-akumulyatori-zdatni-pracyuvati-pri-temperaturi-do-70-gradusiv.html](https://www.unian.ua/science/10027442-vcheni-stvorili-lityi-ionni-akumulyatori-zdatni-pracyuvati-pri-temperaturi-do-70-gradusiv.html)

13. Кулак Е.М. Модель польотного контролера для керування дроном в неприйнятних погодних умовах [Текст] / Е.М. Кулак, Н.С. Франко // Тези доповідей десятої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації» Черкаси – Харків – Баку – Бельско-Бяла. – 24-25 листопада 2022р. том 2, секція 4 с. 81

