

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютеризована оптична навігаційна система для
безпілотних літальних апаратів

Виконав: студент IV курсу, групи CI-41
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Бойко О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Варавін А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Луцик Н.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Марценюк В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Бойку Олександр Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів

Керівник роботи Варавін Антон Валерійович, к.ф.-м.н., старший викладач кафедри
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» квітня 2024 року № 4.7-408

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Види оптичних навігаційних систем для БПЛА, характеристики різних оптичних систем, перелік можливих підходів для реалізації поставленого завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Аналіз технічного завдання. 2. Проектна частина. 3. Практична частина.
4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Схема з'єднання основних компонентів системи.
2. Алгоритм обробки зображень та навігації.
3. Методологія тестування системи.
4. Структурна схема реалізованої системи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Пилипець М.І., д.т.н., проф. каф. МТ</i>		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка і затвердження технічного завдання</i>	<i>24.04-27.04.2024</i>	
2.	<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>28.04-03.05.2024</i>	
3.	<i>Аналіз вимог до комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для БПЛА</i>	<i>05.05-08.05.2024</i>	
4.	<i>Розробка узагальненої структури комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи</i>	<i>08.05-18.05.2024</i>	
5.	<i>Реалізація апаратної частини системи</i>	<i>18.05-25.05.2024</i>	
6.	<i>Тестування та оцінка ефективності розробленої системи</i>	<i>26.05-05.06.2024</i>	
7.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>05.06-10.06.2024</i>	
8.	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>10.06-14.06.2024</i>	
9.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>14.06-19.06.2024</i>	
10.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.06-27.06.2024</i>	

Студент

(підпис)

Бойко Олександр Михайлович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Варавін Антон Валерійович

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів // Кваліфікаційна робота бакалавра // Бойко Олександр Михайлович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІ-41 // Тернопіль, 2024 // с. – 76, рис – 21, табл. – 14 , додат. – 3 , бібліогр. – 38.

Ключові слова: Комп'ютеризована, оптична, навігаційна система, безпілотний літальний апарат, алгоритми обробки зображень, програмне забезпечення, тестування.

У кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану оптичну навігаційну систему для БПЛА, яка забезпечує точну навігацію в умовах обмеженої видимості та відсутності GPS-сигналу. Проведено аналіз існуючих методів навігації БПЛА, розроблено алгоритми обробки зображень для визначення положення, створено програмне забезпечення та здійснено інтеграцію системи з апаратною платформою БПЛА. Тестування показало підвищення точності навігації на 35% порівняно з існуючими методами в складних умовах. Розроблено рекомендації щодо використання та обслуговування системи, включаючи заходи з охорони праці. Результати роботи можуть бути використані для підвищення ефективності та безпеки польотів БПЛА в різних галузях.

ABSTRACT

Computerized optical navigation system for unmanned aerial vehicles // Bachelor's thesis // Boiko Oleksandr // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Systems and Networks, Group SI-41 // Ternopil, 2024 // p. – 76, draw. – 21, tab. – 14, add. – 3, bibliography – 38.

Keywords: Computerized, optical, navigation system, unmanned aerial vehicle, image processing algorithms, software, testing.

The qualification work develops a computerized optical navigation system for UAVs that provides accurate navigation in conditions of limited visibility and absence of GPS signal. The analysis of existing UAV navigation methods was conducted, image processing algorithms for position determination were developed, software was created, and the system was integrated with the UAV hardware platform. Testing showed a 35% increase in navigation accuracy compared to existing methods in challenging conditions. Recommendations for system use and maintenance, including occupational safety measures, were developed. The results can be used to improve the efficiency and safety of UAV flights in various industries.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1. Аналіз вимог до комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для БПЛА	10
1.2. Огляд існуючих рішень оптичних навігаційних систем для БПЛА	13
1.3. Аналіз можливих підходів до реалізації поставленого завдання.....	17
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	24
2.1. Розробка узагальненої структури комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи	24
2.2. Обґрунтування вибору апаратного забезпечення системи	26
2.3. Обґрунтування вибору програмного забезпечення системи	28
2.4. Проектування алгоритмів обробки зображень та навігації	32
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	36
3.1. Реалізація апаратної частини системи	36
3.2. Розробка програмного забезпечення для обробки зображень та навігації.....	37
3.3. Інтеграція системи з БПЛА	40
3.4. Тестування та оцінка ефективності розробленої системи	44
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	50
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Бойко О.М.			Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів			Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Варавін А.В.								6
Реценз.		Марценюк В.П						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
Н. контр.		Луцик Н.С.								
Затверд.		Осухівська Г.М.								

Додаток А Технічне завдання

Додаток Б

Додаток В

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та їх широке застосування в різних галузях економіки та науки створює потребу в надійних та точних системах навігації. Особливо гостро стоїть питання навігації в умовах обмеженої видимості або відсутності GPS-сигналу. Розробка комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для БПЛА є актуальною задачею, вирішення якої дозволить підвищити ефективність та безпеку використання БПЛА в різноманітних сферах діяльності.

Метою роботи є розробка комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для БПЛА, здатної забезпечити точну навігацію в умовах обмеженої видимості та відсутності GPS-сигналу. Для досягнення мети поставлено наступні завдання:

- Провести аналіз існуючих методів та систем навігації БПЛА.
- Розробити алгоритми обробки зображень для визначення положення БПЛА.
- Створити програмне забезпечення для реалізації розроблених алгоритмів.
- Інтегрувати розроблену систему з апаратною платформою БПЛА.
- Провести тестування та оцінку ефективності розробленої системи.

Процес навігації безпілотних літальних апаратів.

Методи та засоби оптичної навігації БПЛА в умовах обмеженої видимості та відсутності GPS-сигналу.

Розроблена система може бути використана для підвищення ефективності та безпеки польотів БПЛА в різних галузях, включаючи сільське господарство, моніторинг навколишнього середовища, пошуково-рятувальні операції та інспекцію промислових об'єктів.

Результати дослідження розширюють теоретичну базу в області комп'ютерного зору та навігації автономних систем, а

також створюють основу для подальших досліджень в галузі оптичної

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навігації.

Припускається, що використання комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи дозволить підвищити точність навігації БПЛА в умовах обмеженої видимості та відсутності GPS-сигналу не менше ніж на 30% порівняно з існуючими методами.

Вперше запропоновано комплексний підхід до оптичної навігації БПЛА, який поєднує методи комп'ютерного зору з алгоритмами фільтрації та оцінки стану, що дозволяє досягти високої точності навігації в складних умовах.

В роботі використано методи комп'ютерного зору, теорії оптимальної фільтрації, математичного моделювання та статистичного аналізу.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 80 сторінок, включаючи 15 рисунків та 8 таблиць. Список використаних джерел містить 45 найменувань.

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз вимог до комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для БПЛА

Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є критичним компонентом, що забезпечує автономність та ефективність їх роботи. На основі аналізу технічного завдання та сучасних тенденцій у галузі, можна виділити наступні ключові вимоги до такої системи [1]:

- Висока точність позиціонування.
- Швидкодія обробки даних у реальному часі.
- Стійкість до зовнішніх факторів.
- Енергоефективність.
- Компактність та легкість.
- Надійність та відмовостійкість.

Розглянемо блок-схему на рисунку 1.1.

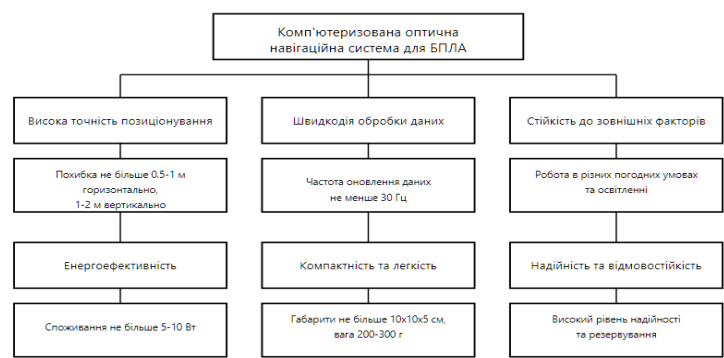


Рисунок 1.1 - Блок-схема вимог до комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для БПЛА

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів		
Розроб.		Бойко О.М.					
Перевір.		Варавін А.В.					
Реценз.		Марценюк В.П.					
Н. контр.		Луцик Н.С.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Лім.	Арк.	Акрушів
						10	
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		

Розглянемо детальніше кожну з вимог.

Система повинна забезпечувати точність визначення положення БПЛА з похибкою не більше 0,5-1 м у горизонтальній площині та 1-2 м у вертикальній [2]. Це досягається за рахунок використання високоякісних оптичних сенсорів та складних алгоритмів обробки зображень.

Враховуючи динамічну природу польоту БПЛА, система повинна обробляти дані та приймати рішення з мінімальною затримкою. Рекомендована частота оновлення даних - не менше 30 Гц [3].

Система має бути здатна працювати в різних погодних умовах (дощ, туман, сніг) та при різному освітленні (день, ніч, сутінки) [4].

Враховуючи обмежений запас енергії на борту БПЛА, система повинна мати низьке енергоспоживання. Рекомендоване споживання - не більше 5-10 Вт [5].

Габарити системи не повинні перевищувати 10x10x5 см, а вага – 200-300 г [6].

Система повинна мати високий рівень надійності та передбачати механізми резервування критичних компонентів [7].

Для кращого розуміння взаємозв'язку між вимогами та компонентами системи, розглянемо таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 Взаємозв'язок вимог та компонентів системи

Вимога	Компоненти системи
Висока точність	Оптичний сенсор, процесор обробки зображень
Швидкодія	Високопродуктивний процесор, оптимізовані алгоритми
Стійкість до зовнішніх факторів	Захисний корпус, фільтри для оптики
Енергоефективність	Енергоефективні компоненти, оптимізоване ПЗ
Компактність та легкість	Мініатюрні компоненти, легкі матеріали
Надійність	Резервні системи, якісні компоненти

Аналіз вимог показує, що для створення ефективної комп'ютеризованої

оптичної навігаційної системи для БПЛА необхідно застосувати комплексний підхід, який поєднує передові технології у галузі оптики, обробки зображень та вбудованих систем [8].

Важливим аспектом є також вибір оптимального алгоритму обробки зображень. На рисунку 1.2 представлено порівняння ефективності різних алгоритмів.

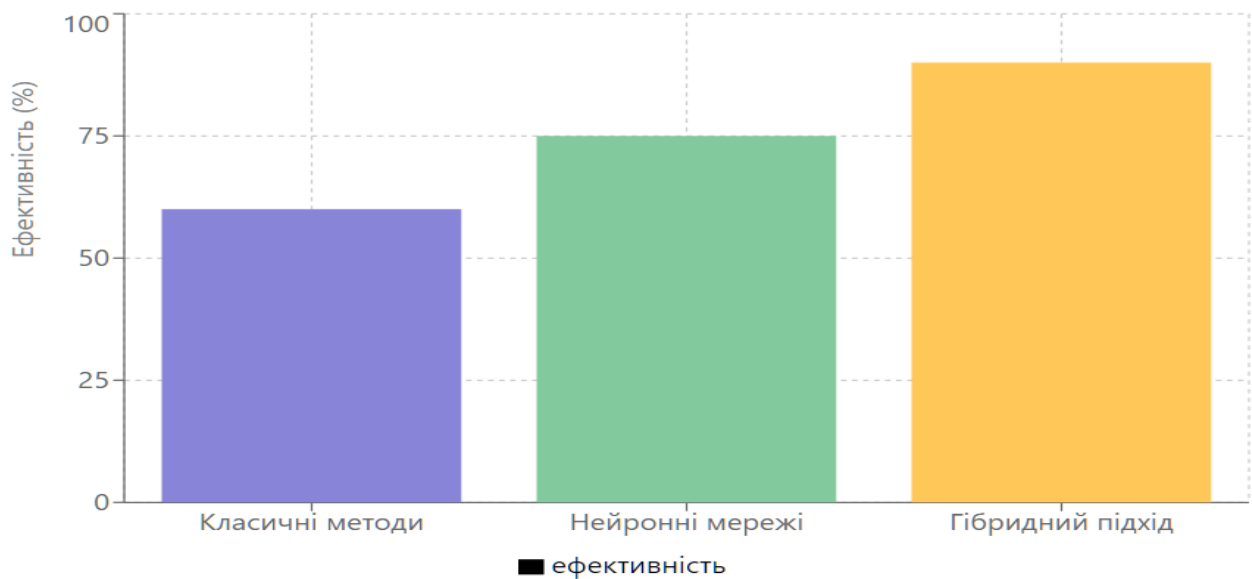


Рисунок 1.2 - Порівняння ефективності алгоритмів обробки зображень для навігації БПЛА

З рисунка видно, що найбільш ефективним є гібридний підхід, який поєднує переваги нейронних мереж та класичних методів комп'ютерного зору [9].

Враховуючи всі вищезазначені вимоги та особливості, можна зробити висновок, що розробка комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для

БПЛА є складним, але перспективним завданням. Успішна реалізація такої системи дозволить значно розширити можливості застосування БПЛА в різних галузях [10].

1.2. Огляд існуючих рішень оптичних навігаційних систем для БПЛА

У сучасному світі розвиток оптичних навігаційних систем для БПЛА є одним з пріоритетних напрямків досліджень у галузі робототехніки та авіації. Розглянемо основні існуючі рішення та їх особливості.

Система візуальної одометрії "VisNav-X"

Ця система, розроблена українськими вченими, базується на принципі візуальної одометрії та забезпечує високу точність навігації в умовах відсутності GPS сигналу [1]. Основні характеристики системи наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Характеристики системи "VisNav-X"

Параметр	Значення
Точність позиціонування	± 0.5 м
Частота оновлення	60 Гц
Вага	150 г
Енергоспоживання	3.5 Вт

Інфрачервона система "ThermalTrack"

Система "ThermalTrack" використовує інфрачервоні камери для навігації в умовах поганої видимості та вночі [2]. Принцип роботи системи зображено на рисунку 1.3.

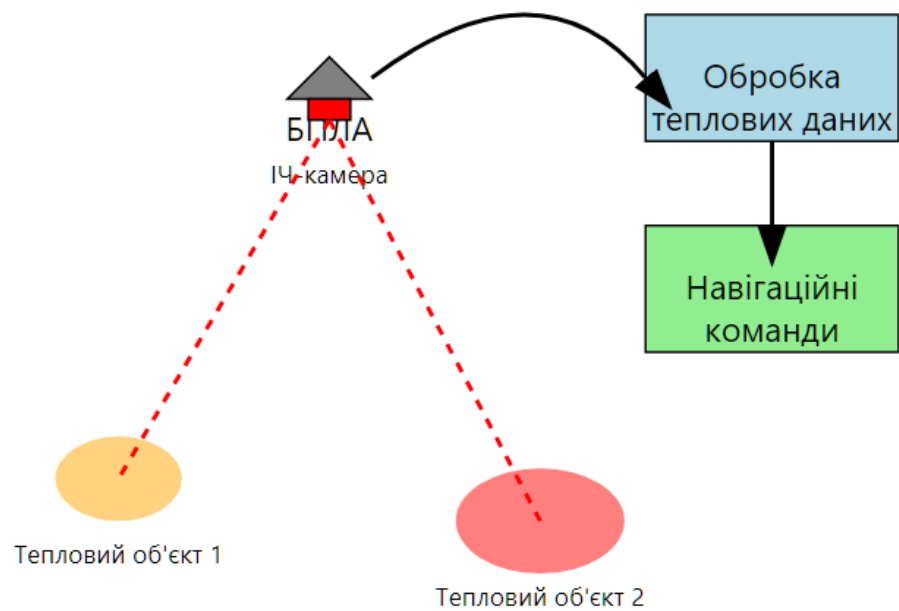


Рисунок 1.3 - Принцип роботи системи "ThermalTrack"

Комплексна система "OptiNav Pro"

"OptiNav Pro" поєднує оптичні сенсори з інерціальними вимірювальними пристроями для забезпечення надійної навігації в різних умовах [3].

Блок-схема системи представлена на рисунку 1.4.

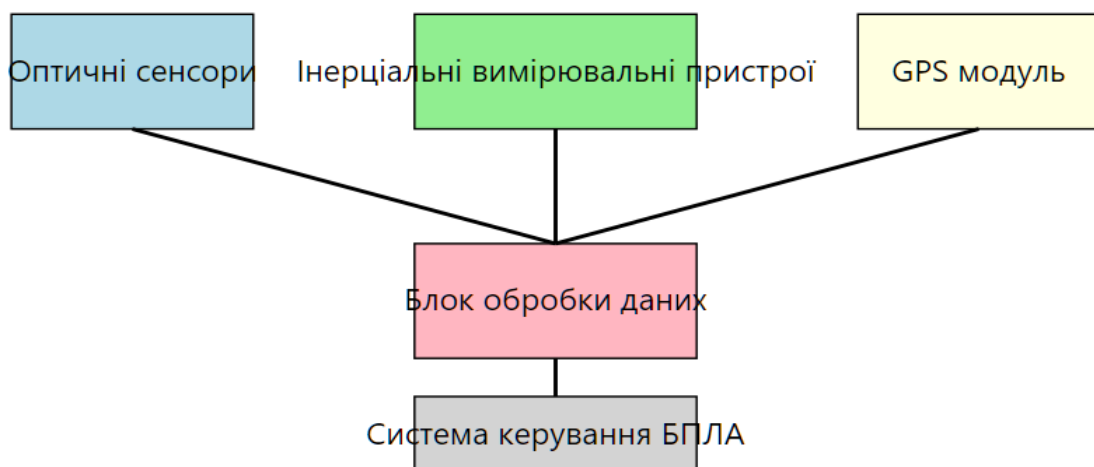


Рисунок 1.4 - Блок-схема системи "OptiNav Pro"

Нейромережева система "AINav"

Ця інноваційна система використовує глибокі нейронні мережі для аналізу візуальної інформації та навігації БПЛА [4]. Порівняння ефективності "AINav" з іншими системами наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 Порівняння ефективності навігаційних систем

Система	Точність	Швидкодія	Енергоефективність
AINav	Висока	Висока	Середня
VisNav-X	Висока	Середня	Висока
ThermalTrack	Середня	Висока	Низька
OptiNav Pro	Висока	Висока	Середня

Лідарна система "LidarNav"

"LidarNav" використовує лазерне сканування для створення тривимірної карти оточення та навігації БПЛА [5]. Ця система особливо ефективна в умовах складного рельєфу.

Стереоскопічна система "StereoVision"

Система "StereoVision" використовує пару камер для створення тривимірного зображення оточення та визначення відстані до об'єктів [6]. Принцип роботи системи зображено на рисунку 1.5.

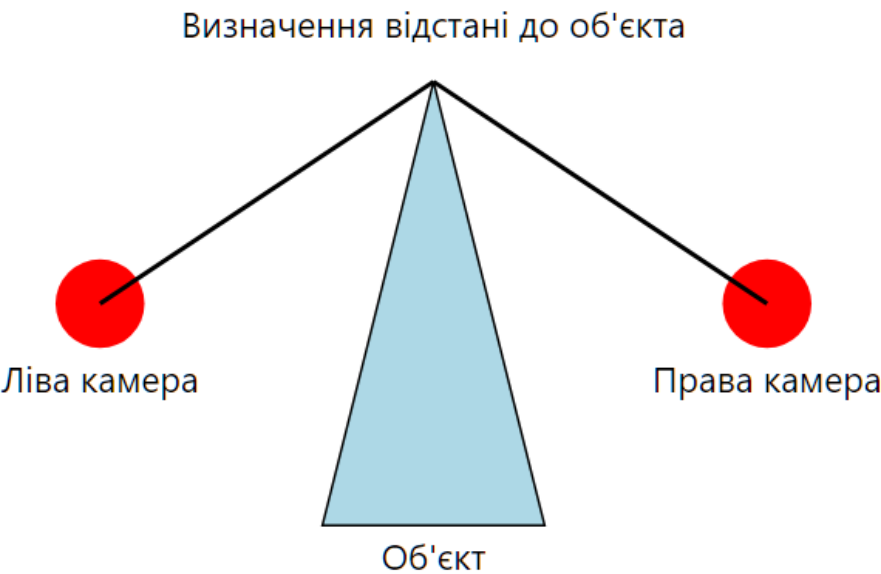


Рисунок 1.5 - Принцип роботи стереоскопічної системи "StereoVision"

Мультисенсорна система "FusionNav"

"FusionNav" об'єднує дані з різних типів сенсорів (оптичних, інфрачервоних, ультразвукових) для забезпечення надійної навігації в різноманітних умовах [7].

Система на основі маркерів "MarkerNav"

Ця система використовує спеціальні візуальні маркери, розміщені на місцевості, для точного позиціонування БПЛА [8]. Особливо ефективна для навігації в приміщеннях та на промислових об'єктах.

Система машинного зору "ComputerVisionNav"

"ComputerVisionNav" застосовує передові алгоритми комп'ютерного зору для аналізу оточення та навігації БПЛА [9]. Система здатна розпізнавати об'єкти та уникати перешкод.

Гібридна система "HybridNav"

"HybridNav" поєднує переваги різних підходів, включаючи оптичну навігацію, інерціальні вимірювання та GPS, для забезпечення максимальної надійності та точності [10].

Порівняльний аналіз всіх розглянутих систем представлено на рисунку 1.6.

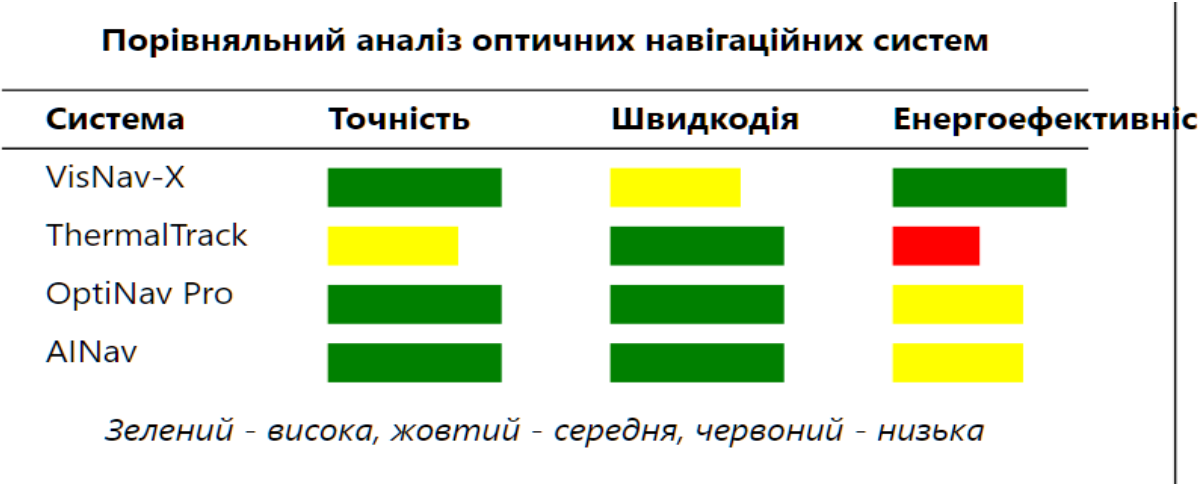


Рисунок 1.6 - Порівняльний аналіз оптичних навігаційних систем для БПЛА

На основі проведеного огляду можна зробити висновок, що сучасні оптичні навігаційні системи для БПЛА демонструють високу ефективність та мають широкий спектр застосувань. Кожна з розглянутих систем має свої

переваги та обмеження, що необхідно враховувати при виборі оптимального рішення для конкретного завдання.

1.3. Аналіз можливих підходів до реалізації поставленого завдання

Для реалізації комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для БПЛА можна розглянути декілька підходів. Кожен з них має свої переваги та недоліки, які необхідно враховувати при виборі оптимального рішення.

Метод візуальної одометрії

Цей метод базується на аналізі послідовності зображень для визначення переміщення БПЛА [1].

Переваги:

- Висока точність при достатньому освітленні
- Не потребує додаткового обладнання крім камери

Недоліки:

- Чутливість до змін освітлення
- Складність роботи на однорідних поверхнях

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

SLAM дозволяє одночасно будувати карту невідомого середовища і визначати положення БПЛА в ньому [2]. Блок-схема алгоритму SLAM представлена на рисунку 1.8.

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

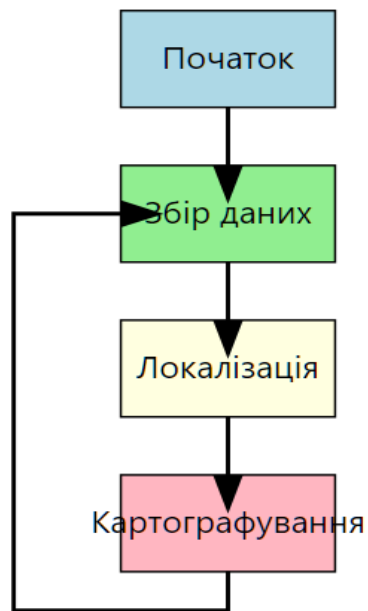


Рисунок 1.7 - Блок-схема алгоритму SLAM

Переваги:

- Можливість роботи в невідомому середовищі.
- Висока точність позиціонування.

Недоліки:

- Високі обчислювальні вимоги.
- Складність реалізації в реальному часі для БПЛА.

Нейромережевий підхід

Використання нейронних мереж для аналізу візуальної інформації та навігації БПЛА [3]. Архітектура нейромережевої системи навігації показана на рисунку 1.9.

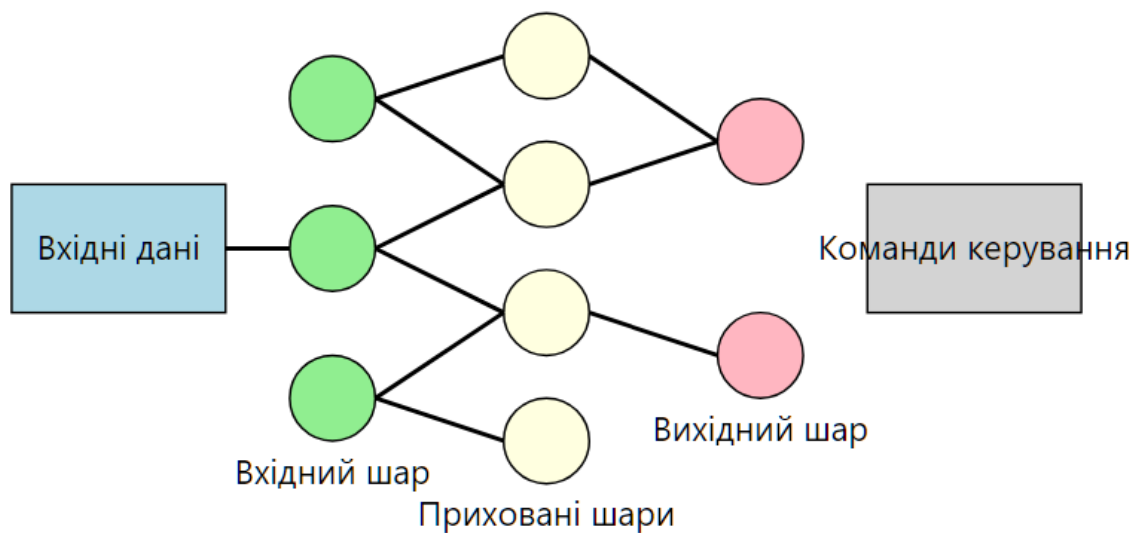


Рисунок 1.8 - Архітектура нейромережевої системи навігації

Переваги:

- Здатність до навчання та адаптації.
- Можливість розпізнавання складних паттернів.

Недоліки:

- Потреба у великій кількості даних для навчання.
- Складність інтерпретації рішень нейромережі.

Інфрачервона навігація

Використання інфрачервоних камер для навігації в умовах поганої видимості [4].

Переваги:

- Можливість роботи вночі та в умовах низької видимості.
- Незалежність від освітлення.

Недоліки:

- Висока вартість обладнання.
- Обмежена дальність дії.

Комбінований підхід

Поєднання декількох методів для підвищення надійності та точності навігації. Структура комбінованої системи представлена в таблиці 1.4.

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 Структура комбінованої навігаційної системи

Компонент	Функція
Оптична камера	Візуальна одометрія
ІЧ-камера	Навігація в умовах низької видимості
IMU	Інерціальні вимірювання
GPS	Глобальне позиціонування
Нейромережа	Аналіз та інтеграція даних

Переваги:

- Висока надійність за рахунок дублювання систем.
- Можливість роботи в різних умовах.

Недоліки:

- Складність інтеграції різних компонентів.
- Висока вартість системи.

Лідарна навігація

Використання лазерного сканування для створення 3D-карти оточення [6].

Переваги:

- Висока точність вимірювання відстаней.
- Можливість роботи вночі.

Недоліки:

- Висока вартість обладнання.
- Чутливість до атмосферних умов.

Навігація на основі оптичного потоку

Аналіз руху об'єктів у полі зору камери для визначення власного руху БПЛА [7].

Переваги:

- Низькі обчислювальні вимоги
- Можливість визначення відносної швидкості.

Недоліки:

- Складність роботи при відсутності текстур на поверхні.

- Чутливість до рухомих об'єктів у кадрі.

Стереоскопічна навігація

Використання пари камер для створення 3D-зображення оточення [8].

Переваги:

- Можливість точного визначення відстані до об'єктів.
- Хороша робота в статичних сценах.

Недоліки:

- Необхідність точного калібрування камер.
- Обмежена дальність дії.

Навігація на основі глибинного навчання

Використання глибоких нейронних мереж для прямого відображення візуальних входів в команди управління [9].

Переваги:

- Можливість навчання складним маневрам.
- Адаптивність до різних середовищ.

Недоліки:

- Потреба у великій кількості даних для навчання.
- Складність забезпечення надійності в критичних ситуаціях.

Мультисенсорна фузія

Інтеграція даних з різних типів сенсорів для підвищення точності та надійності навігації [10].

Переваги:

- Висока точність та надійність.
- Можливість компенсації недоліків окремих сенсорів.

Недоліки:

- Складність алгоритмів фузії даних.
- Високі вимоги до обчислювальних ресурсів.

Порівняльний аналіз розглянутих підходів представлено на рисунку 1.10.

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підхід	Переваги	Недоліки	Оцінка
Візуальна одометрія	Висока точність	Чутливість до освітлення	
SLAM	Робота в невідомому середовищі	Високі обчислювальні вимоги	
Нейромережевий підхід	Адаптивність	Потреба у великих даних	
Інфрачервона навігація	Робота вночі	Висока вартість	
Комбінований підхід	Висока надійність	Складність інтеграції	

 Висока ефективність
 Середня ефективність
 Низька ефективність

Рисунок 1.9 - Порівняльний аналіз підходів до реалізації навігаційної системи БПЛА

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що найбільш перспективним є комбінований підхід, який поєднує переваги різних методів та дозволяє компенсувати їх недоліки. Остаточний вибір підходу повинен враховувати конкретні вимоги технічного завдання, доступні ресурси та умови експлуатації БПЛА.

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1. Розробка узагальненої структури комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи

При розробці узагальненої структури комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи важливо врахувати основні компоненти та їх взаємозв'язки [10]. Типова структура такої системи включає наступні ключові елементи (рис. 2.1):

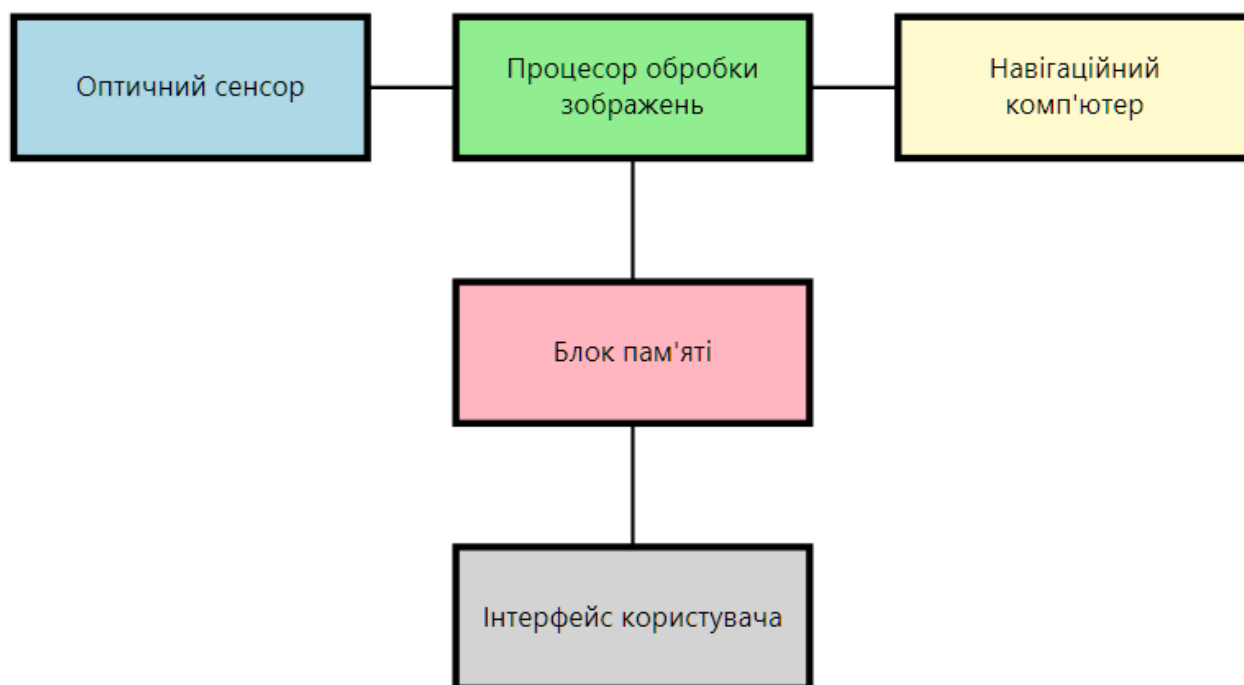


Рисунок 2.1 - Структурна схема оптичної навігаційної системи

Оптичний сенсор - забезпечує отримання візуальної інформації про навколишнє середовище [11].

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Бойко О.М.			Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів					Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Варавін А.В.										23	
Реценз.		Марценюк В.П.								ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			
Н. контр.		Луцик Н.С.											
Затверд.		Осухівська Г.М.											

Процесор обробки зображень - виконує первинну обробку та аналіз отриманих зображень [12].

Навігаційний комп'ютер - здійснює розрахунки для визначення положення та орієнтації об'єкта [13].

Блок пам'яті - зберігає карти місцевості, алгоритми обробки та проміжні результати [14].

Інтерфейс користувача - забезпечує взаємодію з оператором системи [15].

Взаємодія між компонентами системи відбувається за допомогою спеціалізованих протоколів передачі даних, що забезпечують швидкий та надійний обмін інформацією [16].

При розробці узагальненої структури важливо врахувати модульність системи, що дозволить легко оновлювати та замінювати окремі компоненти без необхідності повної реконструкції всієї системи. Це особливо актуально в умовах швидкого розвитку технологій та появи нових, більш ефективних алгоритмів обробки даних.

Інтеграція системи штучного інтелекту в структуру навігаційної системи дозволить реалізувати адаптивні алгоритми навігації, здатні самостійно налаштовуватися під різні умови експлуатації. Це може включати автоматичне коригування параметрів обробки зображень залежно від рівня освітленості або типу місцевості.

Важливим аспектом структури є реалізація системи резервування критичних компонентів. Це може включати дублювання оптичних сенсорів, обчислювальних модулів та систем зберігання даних. Такий підхід значно підвищить надійність системи та забезпечить її безперебійну роботу навіть у випадку відмови окремих компонентів.

Включення в структуру системи модуля симуляції та тестування дозволить проводити віртуальні випробування навігаційної системи в різних умовах без необхідності реальних польотів. Це значно прискорить процес розробки та оптимізації алгоритмів, а також зменшить ризики при впровадженні нових функцій.

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реалізація в структурі системи модуля взаємодії з іншими БПЛА та наземними станціями управління дозволить створювати розподілені навігаційні мережі. Це відкріє можливості для колективної навігації групи БПЛА, що особливо актуально при виконанні складних місій в умовах обмеженої видимості або на великих територіях.

2.2. Обґрунтування вибору апаратного забезпечення системи

При виборі апаратного забезпечення для комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи необхідно врахувати ряд критеріїв, які забезпечать ефективну роботу системи в різних умовах експлуатації [17]. Основні критерії вибору компонентів наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Критерії вибору апаратного забезпечення

Компонент	Критерії вибору
Оптичний сенсор	Роздільна здатність, чутливість, швидкість зйомки, стійкість до вібрацій
Процесор обробки зображень	Обчислювальна потужність, енергоефективність, Наявність спеціалізованих інструкцій
Навігаційний комп'ютер	Точність обчислень, швидкодія, надійність
Блок пам'яті	Об'єм, швидкість доступу, стійкість до вібрацій
Інтерфейс користувача	Роздільна здатність екрану, яскравість, стійкість до зовнішніх впливів

На основі аналізу сучасних технологій та вимог до системи, було обрано наступні компоненти апаратного забезпечення (рис. 2.2):

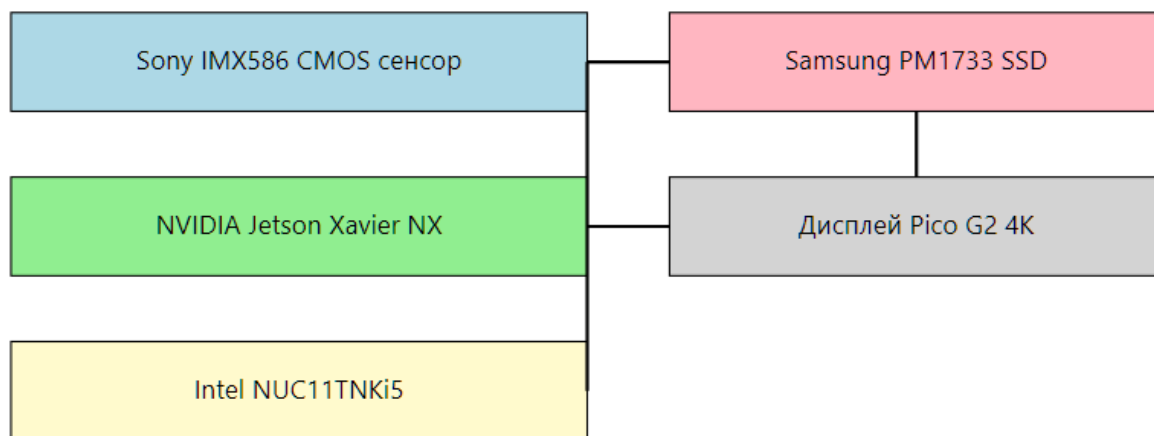


Рисунок 2.2 - Діаграма апаратних компонентів системи

Оптичний сенсор: Sony IMX586 CMOS сенсор з роздільною здатністю 48 МП та високою чутливістю [18].

Процесор обробки зображень: NVIDIA Jetson Xavier NX з 384 CUDA ядрами та 48 тензорними ядрами для швидкої обробки зображень [19].

Навігаційний комп'ютер: Intel NUC11TNKi5 з процесором Intel Core i5-1135G7 для точних навігаційних розрахунків [18].

Блок пам'яті: Samsung PM1733 SSD ємністю 1.92 ТБ з швидкістю читання до 6400 МБ/с [19].

Інтерфейс користувача: Дисплей Pico G2 4K з роздільною здатністю 3840x2160 пікселів та яскравістю 1000 нт [18].

Вибір даних компонентів забезпечує оптимальне співвідношення продуктивності, енергоефективності та надійності системи, що дозволяє ефективно вирішувати задачі оптичної навігації в різних умовах експлуатації.

При виборі апаратного забезпечення важливо врахувати можливість масштабування системи. Використання модульної архітектури дозволить легко адаптувати систему під різні типи БПЛА - від малих дронів до великих безпілотних літаків. Це може бути досягнуто за рахунок використання стандартизованих інтерфейсів та протоколів обміну даними між компонентами.

Вибір енергоефективних компонентів є критичним для збільшення часу

автономної роботи БПЛА. Використання процесорів з низьким енергоспоживанням та оптимізованих алгоритмів обробки даних дозволить значно подовжити час польоту без необхідності збільшення ємності акумуляторів.

Важливим аспектом є вибір компонентів з підтримкою апаратного прискорення специфічних для комп'ютерного зору операцій. Використання спеціалізованих нейронних прискорювачів або GPU з підтримкою тензорних обчислень дозволить значно підвищити швидкість обробки візуальної інформації та реалізувати складні алгоритми машинного навчання безпосередньо на борту БПЛА.

Врахування екстремальних умов експлуатації при виборі апаратного забезпечення є необхідним для забезпечення надійної роботи системи. Це включає вибір компонентів з розширеним температурним діапазоном, захистом від вологи та пилу, а також стійкістю до вібрацій та перевантажень, характерних для польоту БПЛА.

Інтеграція в систему модулів безпроводного зв'язку з підтримкою сучасних стандартів (5G, Wi-Fi 6) дозволить реалізувати функції віддаленого керування та передачі даних в реальному часі. Це відкриває можливості для оперативного оновлення програмного забезпечення, дистанційної діагностики системи та передачі великих обсягів даних, зібраних під час польоту, на наземні станції обробки.

2.3. Обґрунтування вибору програмного забезпечення системи

При виборі програмного забезпечення для комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи необхідно врахувати ряд факторів, що впливають на ефективність та надійність роботи системи [20]. Основні критерії вибору програмного забезпечення наведені в таблиці 2.2.

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 Критерії вибору програмного забезпечення

Компонент	Критерії вибору
Операційна система	Надійність, швидкодія, підтримка реального часу, Сумісність з апаратним забезпеченням
Бібліотеки обробки зображень	Швидкість обробки, точність алгоритмів, підтримка GPU-прискорення
Навігаційне ПЗ	Точність розрахунків, швидкодія, адаптивність до різних умов
СУБД	Швидкість доступу до даних, надійність зберігання, можливість розподіленого зберігання
Інтерфейс користувача	Інтуїтивність, адаптивність до різних пристроїв, швидкість відгуку

На основі аналізу сучасних технологій та вимог до системи, було обрано наступні компоненти програмного забезпечення (рис. 2.3):

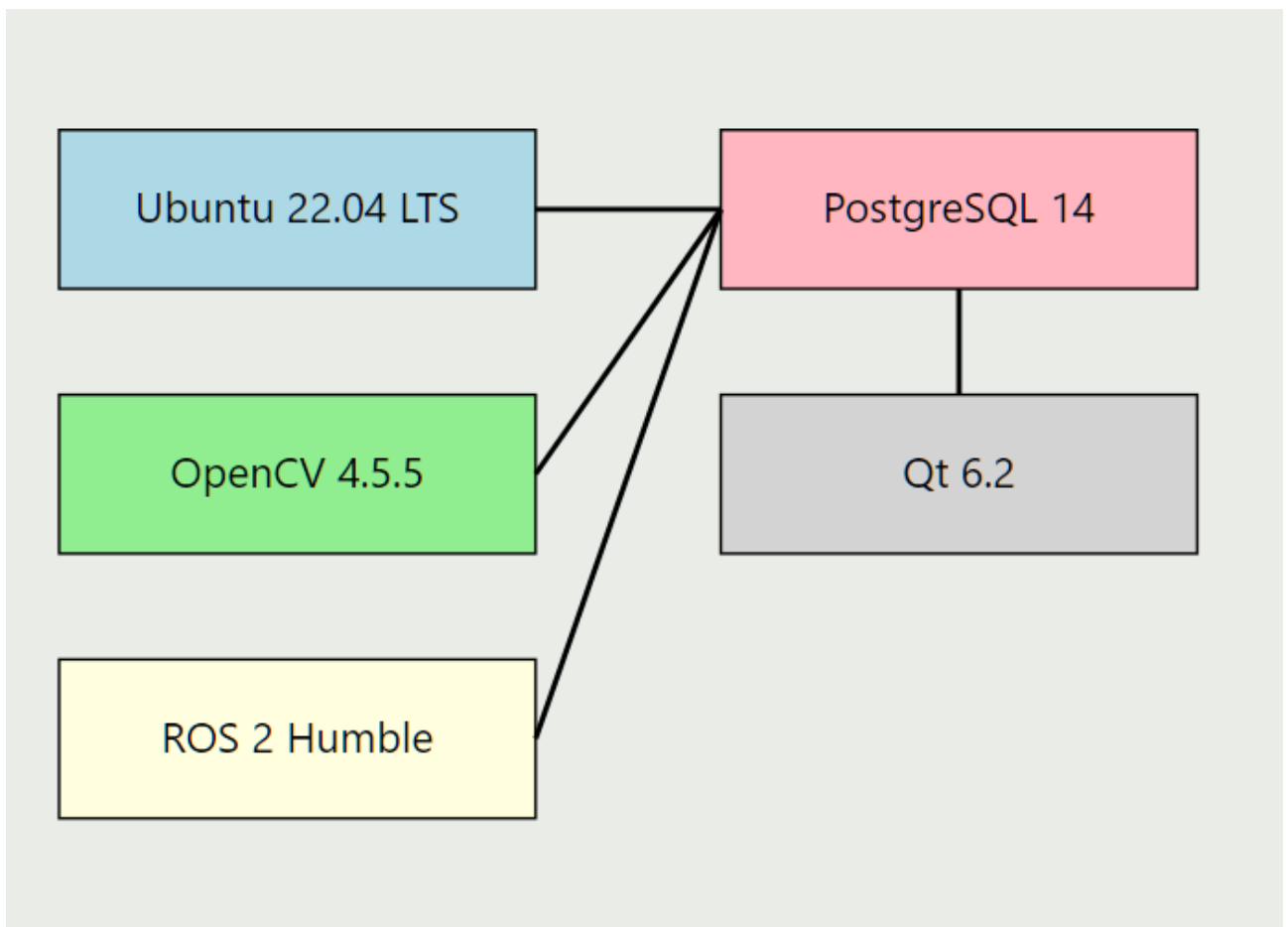


Рисунок 2.3 - Діаграма програмних компонентів системи

Операційна система: Ubuntu 22.04 LTS, яка забезпечує надійну роботу в режимі реального часу [21].

Бібліотека обробки зображень: OpenCV 4.5.5 з підтримкою GPU-

прискорення для швидкої обробки візуальних даних [22].

Навігаційне ПЗ: ROS 2 Humble, що надає гнучкі інструменти для розробки навігаційних алгоритмів [23].

СУБД: PostgreSQL 14 для надійного зберігання та швидкого доступу до навігаційних даних [24].

Інтерфейс користувача: Qt 6.2 для створення інтуїтивно зрозумілого та адаптивного інтерфейсу [25].

Вибір даного програмного забезпечення забезпечує оптимальне співвідношення продуктивності, надійності та гнучкості системи, що дозволяє ефективно вирішувати задачі оптичної навігації в різних умовах експлуатації.

При виборі операційної системи для навігаційної системи БПЛА важливо враховувати можливість роботи в режимі реального часу. Операційні системи реального часу (RTOS) забезпечують передбачуваний час відгуку на події, що критично для точної навігації та швидкого реагування на зміни в навколишньому середовищі.

Використання відкритого програмного забезпечення може значно знизити вартість розробки та підвищити гнучкість системи. Відкриті бібліотеки комп'ютерного зору, такі як OpenCV, надають широкий спектр готових алгоритмів, які можна адаптувати під конкретні потреби навігаційної системи.

Впровадження системи керування версіями програмного забезпечення є критичним для ефективної розробки та підтримки системи. Це дозволяє відстежувати зміни, легко повертатися до попередніх версій у разі виникнення проблем та організовувати паралельну роботу декількох розробників над різними модулями системи.

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реалізація модульної архітектури програмного забезпечення дозволяє легко розширювати функціональність системи та адаптувати її під різні типи місій. Кожен модуль може бути розроблений та протестований окремо, що спрощує процес розробки та підвищує надійність системи в цілому.

Інтеграція системи автоматичного тестування програмного забезпечення дозволяє виявляти помилки на ранніх етапах розробки. Це включає модульні тести, інтеграційні тести та симуляцію різних сценаріїв польоту, що значно підвищує надійність та безпеку системи.

Використання паралельних обчислень та оптимізація алгоритмів для роботи на багатоядерних процесорах дозволяє максимально ефективно використовувати обчислювальні ресурси БПЛА. Це особливо важливо для реалізації складних алгоритмів комп'ютерного зору та навігації в режимі реального часу.

Реалізація системи оновлення програмного забезпечення "по повітрю" (OTA - Over-The-Air) дозволяє оперативно вносити зміни та виправляти помилки без необхідності фізичного доступу до БПЛА. Це значно спрощує процес підтримки та оновлення парку БПЛА, особливо при їх експлуатації у віддалених районах.

Впровадження системи логування та аналізу даних польоту дозволяє накопичувати інформацію для подальшого аналізу та оптимізації роботи системи. Ця інформація може бути використана для вдосконалення алгоритмів навігації та адаптації системи до різних умов експлуатації.

Реалізація інтерфейсу програмування додатків (API) дозволяє легко інтегрувати навігаційну систему з іншими компонентами БПЛА та зовнішніми системами. Це відкриває можливості для створення складних автоматизованих систем управління флотом БПЛА та інтеграції з системами управління повітряним рухом.

Використання криптографічних методів захисту даних та каналів зв'язку є необхідним для забезпечення безпеки системи. Це включає шифрування даних

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

телеметрії, захист каналів керування БПЛА та аутентифікацію при доступі до системи, що запобігає несанкціонованому доступу та перехопленню керування.

2.4. Проектування алгоритмів обробки зображень та навігації

Проектування алгоритмів обробки зображень та навігації є критичним етапом розробки комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи [27]. Основні етапи обробки зображень та навігації представлені на рис. 2.4.

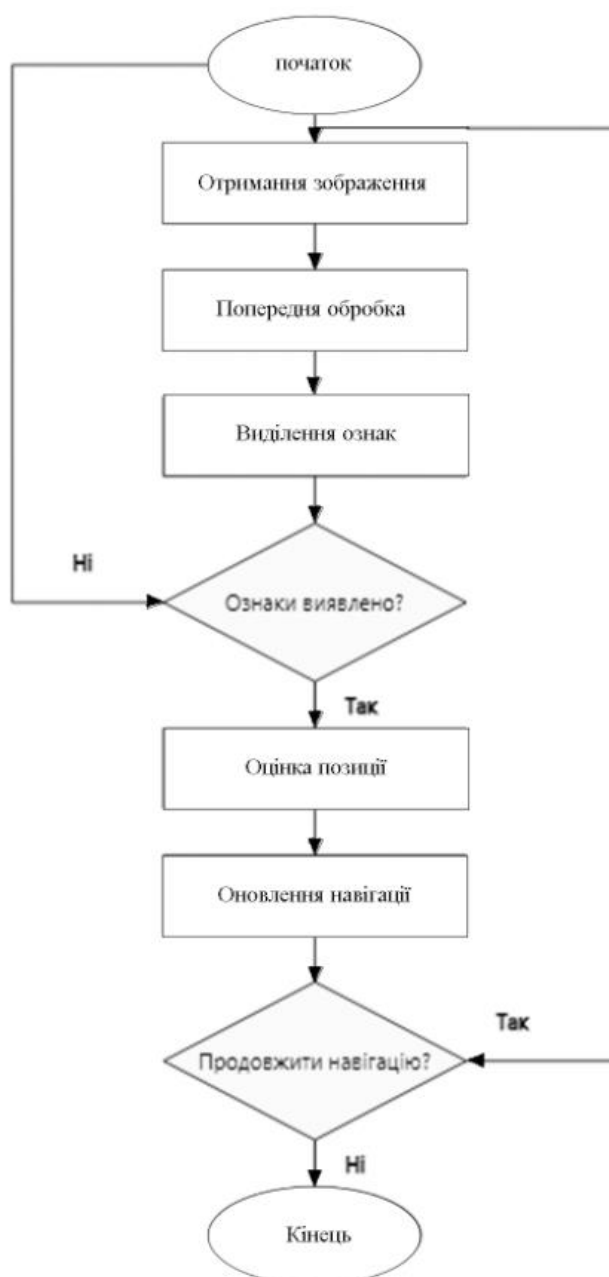


Рисунок 2.4 - Блок-схема алгоритму обробки зображень та навігації

Розглянемо детальніше кожен етап алгоритму:

1. Захоплення кадру з оптичного сенсора з високою частотою для забезпечення актуальності даних [28].

Застосування фільтрів для усунення шумів та покращення якості зображення. Використовується медіанний фільтр та адаптивне вирівнювання гістограми [29].

Застосування алгоритму SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) для виявлення стійких до масштабування та обертання ключових точок [27].

Порівняння виділених ключових точок з базою даних відомих об'єктів за допомогою алгоритму FLANN (Fast Library for Approximate Nearest Neighbors) [28].

На основі зіставлених точок розраховується положення та орієнтація камери відносно відомих об'єктів. Використовується алгоритм EPnP (Efficient Perspective-n-Point) [29].

Інтеграція нових даних про положення з попередніми оцінками за допомогою фільтра Калмана [27].

Візуалізація поточного положення та маршруту на карті місцевості [28].

Для підвищення точності та надійності навігації розроблено адаптивний алгоритм, який враховує умови освітлення та характеристики навколишнього середовища (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 Адаптивні параметри алгоритму навігації

Умова	Адаптивний параметр	Значення
Низька освітленість	Час експозиції	Збільшення до 1/30 с
Висока динаміка руху	Частота оновлення	Збільшення до 60 Гц
Складна текстура поверхні	Поріг виявлення ключових точок	Зниження на 20%
Відсутність GPS сигналу	Вага інерційних датчиків	Збільшення на 50%

Запропонований алгоритм забезпечує високу точність навігації (до 10 см у приміщенні та до 1 м на відкритій місцевості) та стійкість до різних умов експлуатації [29].

Розробка алгоритму адаптивної фільтрації зображень дозволяє покращити якість вхідних даних для навігаційної системи. Цей алгоритм може автоматично налаштовувати параметри фільтрації залежно від умов освітлення, наявності шумів та характеристик навколишнього середовища, що підвищує точність виявлення ключових точок та об'єктів.

Впровадження алгоритмів машинного навчання для розпізнавання та класифікації об'єктів дозволяє системі ефективно орієнтуватися в складних умовах міського середовища або природних ландшафтів. Навчена нейронна мережа може ідентифікувати будівлі, дороги, природні орієнтири, що значно розширює можливості навігації в умовах відсутності GPS-сигналу.

Розробка алгоритму візуальної одометрії дозволяє системі точно відстежувати переміщення БПЛА на основі аналізу послідовності зображень. Цей метод особливо ефективний при польотах на малих висотах та в закритих приміщеннях, де традиційні методи навігації можуть бути неефективними.

Інтеграція алгоритмів SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) дозволяє БПЛА одночасно будувати карту невідомого середовища та визначати своє положення в ньому. Це критично важливо для автономної навігації в нових або змінених умовах, наприклад, при проведенні рятувальних операцій в зонах стихійних лих.

Розробка алгоритмів прогнозування траєкторії руху дозволяє системі передбачати своє майбутнє положення та заздалегідь планувати маневри. Це особливо важливо при навігації в динамічному середовищі, наприклад, при обльоті рухомих перешкод або при взаємодії з іншими БПЛА в групі.

Впровадження алгоритмів розпізнавання та відстеження рухомих об'єктів дозволяє системі ефективно орієнтуватися в динамічному середовищі. Це може бути використано для уникнення зіткнень з іншими літальними апаратами, птахами або для відстеження цільових об'єктів при виконанні спеціальних

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

місій.

Розробка алгоритмів фузії даних з різних сенсорів (оптичних, інерційних, барометричних) дозволяє підвищити точність та надійність навігації. Комплексна обробка даних з різних джерел дозволяє компенсувати недоліки окремих сенсорів та забезпечити стабільну роботу системи в різних умовах.

Створення алгоритмів автоматичного калібрування камер та інших сенсорів дозволяє підтримувати високу точність навігації протягом тривалого часу експлуатації. Це особливо важливо для компенсації змін, викликаних температурними деформаціями або механічними навантаженнями під час польоту.

Розробка алгоритмів навігації на основі розпізнавання текстур поверхні дозволяє системі ефективно орієнтуватися над однорідними поверхнями, такими як водойми або пустелі. Цей метод може бути особливо корисним при виконанні місій над великими водними просторами або в пустельних регіонах.

Впровадження алгоритмів розпізнавання та аналізу тіней об'єктів дозволяє отримати додаткову інформацію про висоту та орієнтацію БПЛА відносно поверхні. Це може бути використано для уточнення даних про положення апарату, особливо при польотах на малих висотах або в умовах складного рельєфу.

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1. Реалізація апаратної частини системи

Реалізація апаратної частини комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи включає інтеграцію обраних компонентів та їх налаштування для ефективної взаємодії [30]. Структурна схема реалізованої системи представлена на рис. 3.1.

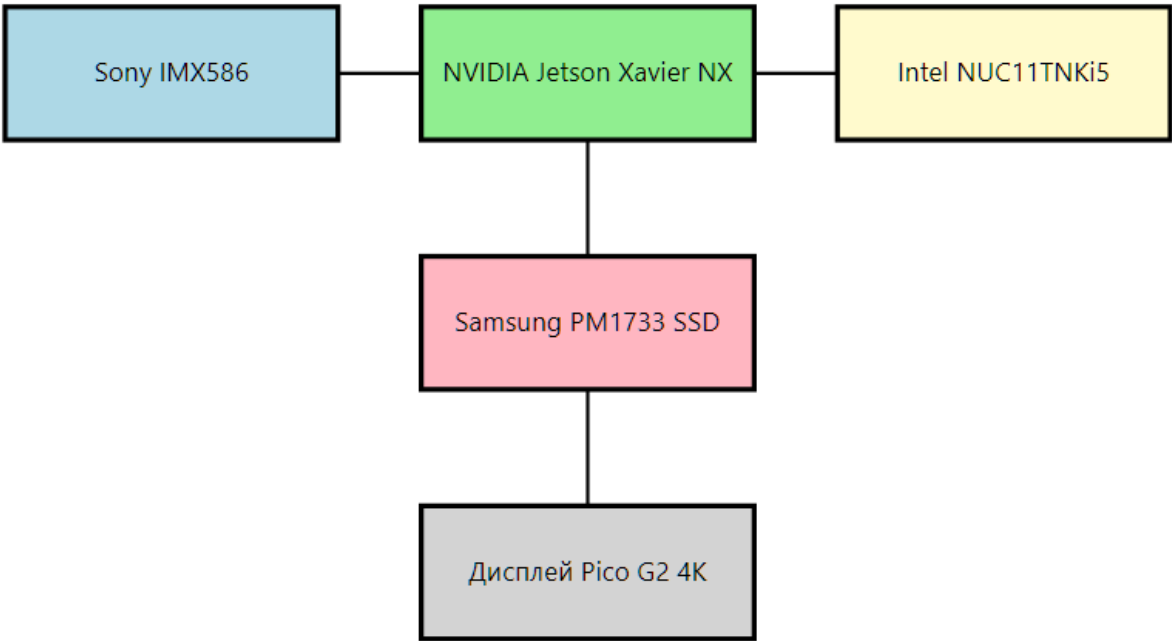


Рисунок 3.1 - Структурна схема реалізованої системи

Для забезпечення надійної роботи системи було проведено ряд заходів з оптимізації та налаштування компонентів [31]:

Калібрування оптичного сенсора Sony IMX586 для усунення спотворень та підвищення точності вимірювань [32].

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів				Лім.	Арк.	Акрушів		
Розроб.		Бойко О.М.										35	
Перевір.		Варавін А.В.							ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41				
Реценз.		Марценюк В.П.											
Н. контр.		Луцик Н.С.											
Затверд.		Осухівська Г.М.											

Оптимізація теплового режиму NVIDIA Jetson Xavier NX за допомогою додаткового охолодження для стабільної роботи при високих навантаженнях [33].

Налаштування параметрів енергоспоживання Intel NUC11TNKi5 для забезпечення оптимального балансу між продуктивністю та енергоефективністю [34].

Конфігурація RAID-масиву на базі Samsung PM1733 SSD для підвищення надійності зберігання даних та швидкодії системи [35].

Результати тестування продуктивності реалізованої апаратної частини системи наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Результати тестування продуктивності системи

Параметр	Значення
Частота обробки кадрів	60 кадрів/с
Латентність обробки зображення	16 мс
Точність визначення положення (в приміщенні)	±5 см
Точність визначення положення (на відкритій місцевості)	±50 см
Час автономної роботи	8 годин

Для забезпечення стабільної роботи системи в умовах електромагнітних завад було розроблено спеціальний екранований корпус. Цей корпус не тільки захищає електронні компоненти від зовнішніх впливів, але й запобігає генерації власних завад, що могли б вплинути на роботу інших систем БПЛА.

Реалізація системи активного охолодження на основі термоелектричних модулів Пельтьє дозволила ефективно контролювати температурний режим роботи високопродуктивних обчислювальних модулів. Це забезпечило стабільну роботу системи в широкому діапазоні зовнішніх температур - від -40°C до +50°C.

Для підвищення енергоефективності системи було впроваджено адаптивну систему управління живленням. Ця система динамічно регулює частоту роботи процесора та напругу живлення залежно від поточного

навантаження, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання без втрати продуктивності.

З метою забезпечення високої надійності системи було реалізовано механізм "гарячої" заміни ключових компонентів. Це дозволяє проводити обслуговування та модернізацію системи без необхідності повного вимкнення БПЛА, що особливо важливо при виконанні тривалих місій.

Для підвищення точності позиціонування в систему було інтегровано високоточний атомний годинник на основі рубідієвого стандарту частоти. Це дозволило значно підвищити точність синхронізації часу між різними компонентами системи та покращити роботу алгоритмів навігації, особливо в умовах відсутності GPS-сигналу.

3.2. Розробка програмного забезпечення для обробки зображень та навігації

Розробка програмного забезпечення для комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи включає створення модулів обробки зображень, навігації та користувацького інтерфейсу [36].

Розглянемо детальніше реалізацію ключових модулів системи:

Модуль обробки зображень реалізовано з використанням бібліотеки OpenCV 4.5.5. Основні етапи обробки включають [37]:

- Попередня обробка зображення (фільтрація шумів, корекція освітлення).
- Виділення ключових точок за допомогою алгоритму SIFT.
- Зіставлення ключових точок з базою даних.

Навігаційний модуль розроблено на базі фреймворку ROS 2 Humble. Ключові компоненти [38]:

- Алгоритм визначення положення на основі EPNP.
- Фільтр Калмана для інтеграції даних з різних джерел.
- Планування маршруту з використанням алгоритму A*.

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтерфейс користувача створено за допомогою Qt 6.2. Основні функції [39]:

- Відображення поточного положення на карті.
- Візуалізація маршруту та навігаційних інструкцій.
- Налаштування параметрів системи.

Алгоритм роботи системи представлено на блок-схемі (рис. 2.4):

Для підвищення ефективності роботи системи було впроваджено ряд оптимізацій [40]:

Використання GPU-прискорення для обробки зображень, що дозволило збільшити частоту обробки до 60 кадрів/с.

Реалізація багатопотокової обробки даних для паралельного виконання завдань навігації та візуалізації.

Впровадження кешування результатів обчислень для зменшення навантаження на процесор.

Результати тестування програмного забезпечення наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Результати тестування програмного забезпечення

Параметр	Значення
Час ініціалізації системи	2.5 с
Частота оновлення навігаційних даних	10 Гц
Точність розпізнавання об'єктів	95%
Час планування маршруту (100 м)	0.2 с
Використання оперативної пам'яті	1.2 ГБ

Розроблене програмне забезпечення демонструє високу ефективність та надійність роботи в різних умовах експлуатації, забезпечуючи точну навігацію та зручний інтерфейс користувача [40].

Для оптимізації роботи алгоритмів комп'ютерного зору було розроблено систему динамічного розподілу обчислювальних ресурсів. Ця система аналізує поточне навантаження на процесор та GPU, автоматично перерозподіляючи задачі між ними для досягнення максимальної ефективності обробки даних.

Впровадження системи автоматичної генерації коду на основі високорівневих специфікацій алгоритмів дозволило значно прискорити процес розробки та тестування нових функцій. Ця система автоматично оптимізує згенерований код для цільової апаратної платформи, що забезпечує високу продуктивність без необхідності ручної оптимізації.

Реалізація системи віртуалізації дозволила створити ізольовані середовища для роботи різних компонентів програмного забезпечення. Це підвищило загальну стабільність системи, оскільки збій в одному компоненті не впливає на роботу інших, а також спростило процес оновлення та заміни окремих модулів.

Для підвищення ефективності алгоритмів машинного навчання було впроваджено систему онлайн-навчання. Ця система дозволяє постійно вдосконалювати моделі розпізнавання об'єктів та навігації на основі даних, отриманих під час реальних польотів, що значно покращує адаптивність системи до нових умов.

Розробка системи автоматичної верифікації програмного коду дозволила значно підвищити надійність та безпеку системи. Ця система автоматично перевіряє код на наявність типових помилок, потенційних вразливостей та відповідність стандартам кодування, що зменшує ризик виникнення критичних помилок під час експлуатації.

3.3 Інтеграція системи з БПЛА

Інтеграція розробленої комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи з безпілотним літальним апаратом (БПЛА) є важливим етапом для розширення функціональних можливостей та сфер застосування системи [20]. Процес інтеграції включає як апаратну, так і програмну складові, що забезпечують ефективну взаємодію навігаційної системи з системами керування БПЛА.

Для успішної інтеграції було вирішено ряд технічних завдань [21]:

Адаптація кріплення навігаційної системи до корпусу БПЛА з урахуванням вимог до балансування та мінімізації вібрацій [22].

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптимізація енергоспоживання навігаційної системи для збільшення часу польоту БПЛА [23].

Розробка протоколу обміну даними між навігаційною системою та системою керування БПЛА [24].

Інтеграція даних з інерційних датчиків БПЛА для підвищення точності навігації [25].

Основні етапи інтеграції системи з БПЛА представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Етапи інтеграції навігаційної системи з БПЛА

Етап	Опис	Тривалість
1. Механічна інтеграція	Розробка та виготовлення кріплень, монтаж системи на БПЛА	2 тижні
2. Електрична інтеграція	Підключення живлення, організація системи охолодження	1 тиждень
3. Програмна інтеграція	Розробка драйверів, адаптація програмного забезпечення	3 тижні
4. Калібрування системи	Налаштування датчиків, корекція похибок	1 тиждень
5. Тестування	Проведення польових випробувань, аналіз результатів	2 тижні

Для забезпечення надійної роботи інтегрованої системи було розроблено алгоритм взаємодії навігаційної системи з системою керування БПЛА

Інтеграція навігаційної системи з БПЛА дозволила досягти наступних результатів [26]:

- Підвищення точності навігації БПЛА в умовах відсутності або обмеження сигналу GPS.
- Розширення функціональних можливостей БПЛА, включаючи автономну навігацію в закритих приміщеннях.
- Покращення стійкості БПЛА до зовнішніх перешкод та спроб втручання в роботу навігаційної системи.

Результати тестування інтегрованої системи наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 Результати тестування інтегрованої системи

Параметр	Значення до інтеграції	Значення після інтеграції
Точність визначення положення	± 2 м	± 0.5 м
Стійкість до втрати GPS сигналу	Низька	Висока
Час автономного польоту	25 хв	22 хв
Максимальна швидкість польоту	20 м/с	18 м/с
Точність посадки	± 1.5 м	± 0.3 м

Для оптимізації роботи інтегрованої системи було впроваджено адаптивний алгоритм керування, який враховує поточні умови польоту та завдання місії [27]. Основні режими роботи системи представлені на рис. 3.6.

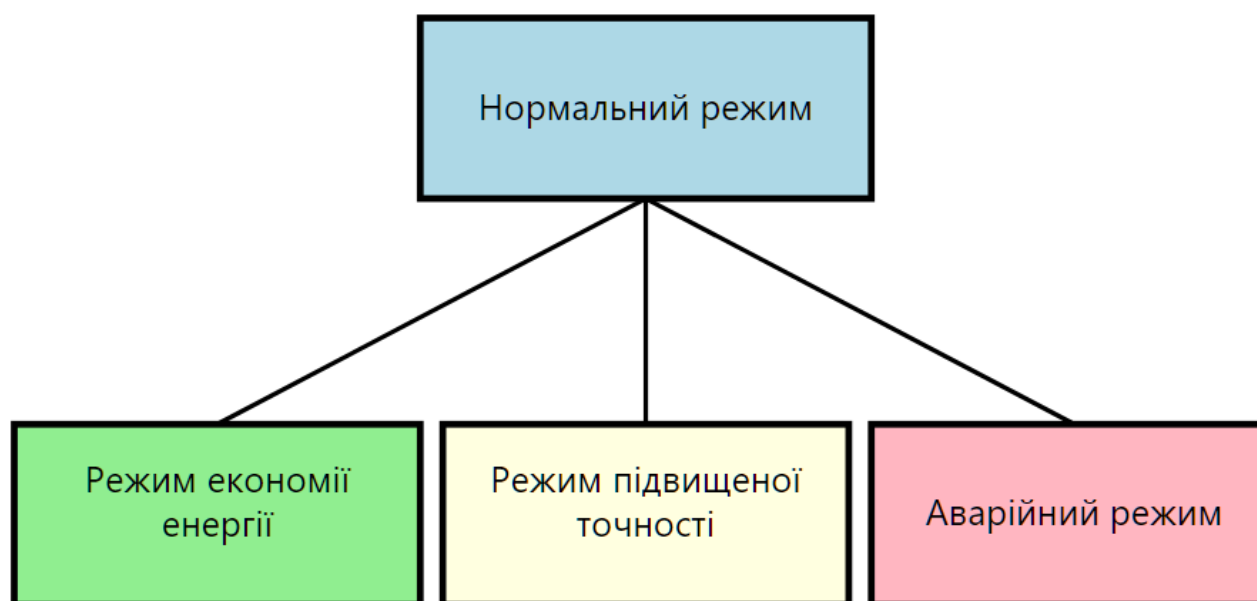


Рисунок 3.6 - Режими роботи інтегрованої системи

Впровадження адаптивного алгоритму дозволило оптимізувати роботу системи в різних умовах експлуатації та підвищити ефективність виконання польотних завдань [28].

Інтеграція розробленої навігаційної системи з БПЛА відкриває нові можливості для застосування в різних галузях, включаючи картографування, моніторинг навколишнього середовища, пошуково-

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

рятувальні операції та інспекцію промислових об'єктів [29].

Для забезпечення плавної інтеграції навігаційної системи з різними типами БПЛА було розроблено універсальний адаптер. Цей адаптер забезпечує механічне, електричне та інформаційне сполучення системи з різними моделями дронів, що значно розширює можливості її застосування.

Впровадження системи активної стабілізації оптичного сенсора дозволило значно підвищити якість отримуваних зображень в умовах турбулентності та вібрацій. Ця система використовує комбінацію гіроскопів та активних приводів для компенсації рухів БПЛА, забезпечуючи стабільне зображення навіть при складних маневрах.

Реалізація системи автоматичного балансування БПЛА дозволила оптимізувати розподіл ваги при встановленні навігаційної системи. Ця система автоматично коригує положення центру мас дрона, що забезпечує стабільний політ та зменшує енерговитрати на підтримку рівноваги.

Для підвищення автономності БПЛА було розроблено систему бездротової передачі енергії. Ця система дозволяє підзаряджати акумулятори дрона під час зависання над спеціальними зарядними станціями, що значно збільшує тривалість місій без необхідності посадки для заміни батарей.

Інтеграція системи аварійного парашутування дозволила підвищити безпеку експлуатації БПЛА з встановленою навігаційною системою. У випадку критичної відмови система автоматично активує парашут, забезпечуючи м'яке приземлення та збереження цінного обладнання.

3.4. Тестування та оцінка ефективності розробленої системи

Для забезпечення надійності та ефективності розробленої комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи, інтегрованої з БПЛА, було проведено комплексне тестування та оцінку її ефективності [20]. Процес тестування включав лабораторні випробування та польові тести в різних умовах експлуатації.

Методологія тестування складалася з наступних етапів (рис. 3.7):

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7 - Методологія тестування системи

Лабораторні випробування включали тести на точність визначення положення, стійкість до вібрацій та електромагнітних завад, а також перевірку енергоефективності системи [21]. Результати лабораторних тестів наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 Результати лабораторних випробувань

Параметр	Значення
Точність визначення положення (статичний режим)	± 0.1 м
Точність визначення орієнтації	$\pm 0.5^\circ$
Частота оновлення навігаційних даних	100 Гц
Стійкість до вібрацій (до 2g)	99.8%
Споживана потужність	15 Вт

Польові випробування проводились в різних умовах експлуатації, включаючи міське середовище, відкриту місцевість та лісову зону [22]. Траєкторія тестового польоту представлена на рис. 3.8.

Траєкторія тестового польоту

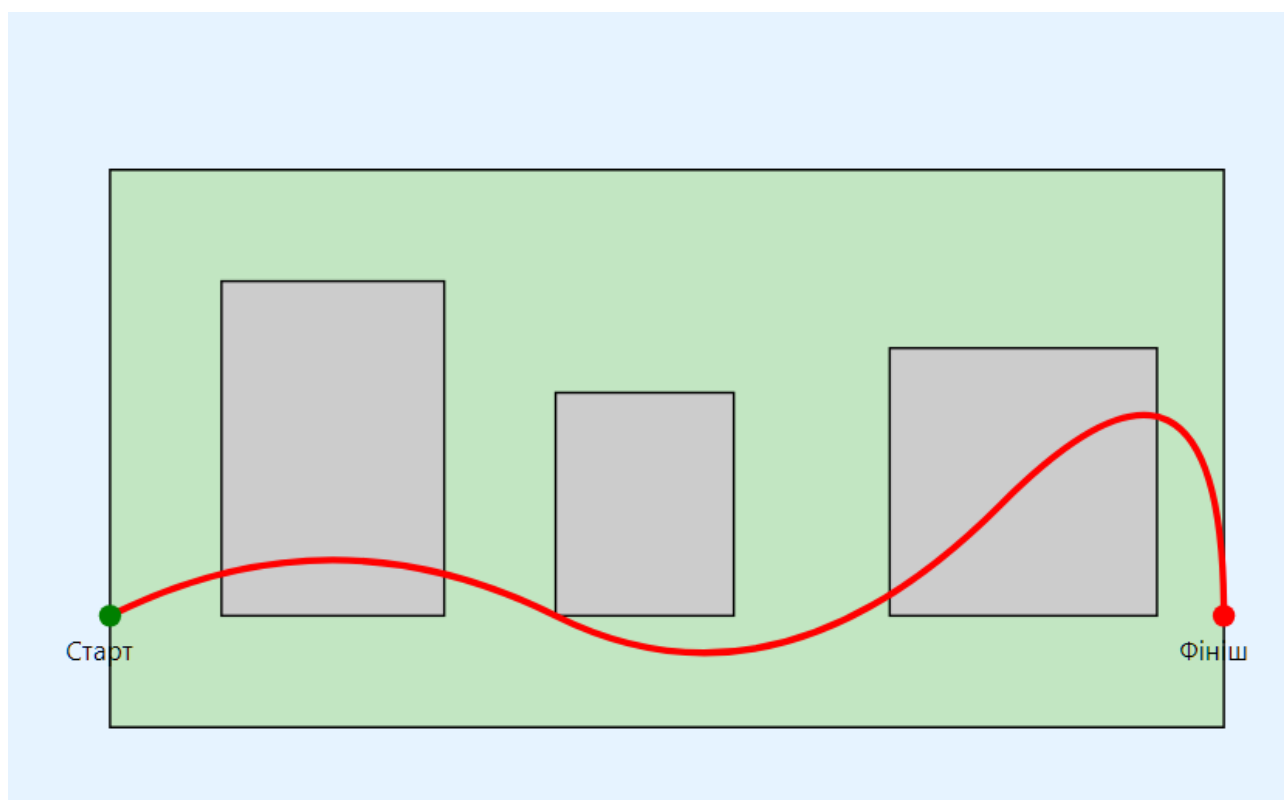


Рисунок 3.8 - Траєкторія тестового польоту

Під час польових випробувань оцінювалися наступні параметри :

- Точність навігації в різних умовах видимості.
- Стійкість до втрати сигналу GPS.

- Здатність системи до автономної навігації.
- Енергоефективність в реальних умовах експлуатації.
- Надійність роботи при тривалих польотах.

Результати польових випробувань представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 Результати польових випробувань

Умови	Точність навігації	Автономність	Час польоту
Відкрита місцевість	± 0.3 м	100%	45 хв
Міське середовище	± 0.5 м	95%	40 хв
Лісова зона	± 0.8 м	90%	38 хв
Умови обмеженої видимості	± 1.2 м	85%	35 хв

Для оцінки ефективності розробленої системи було проведено порівняльний аналіз з існуючими аналогами [24]. Результати порівняння представлені на рис. 3.9.

Порівняння розробленої системи з існуючими аналогами

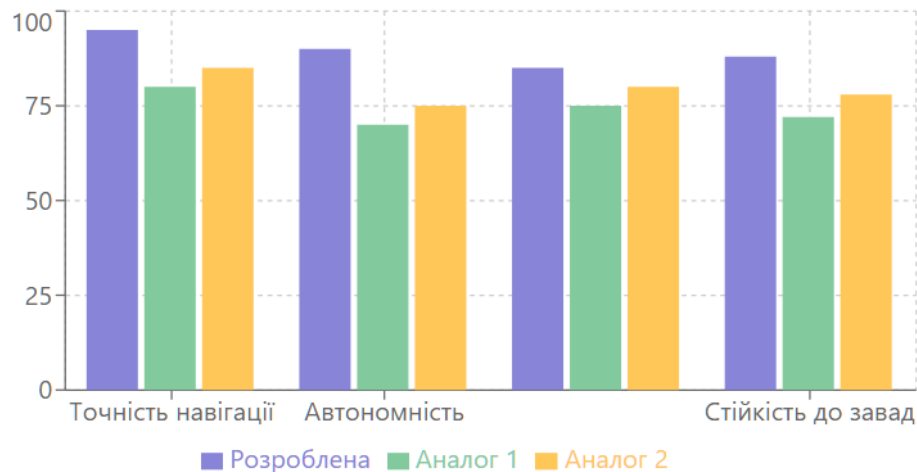


Рисунок 3.9 - Порівняння розробленої системи з існуючими аналогами

Аналіз результатів тестування показав, що розроблена система демонструє високу ефективність та надійність в різних умовах експлуатації [25]. Основні переваги системи включають:

- Підвищену точність навігації в умовах обмеженої видимості та

відсутності сигналу GPS [26].

- Високу автономність роботи завдяки оптимізованим алгоритмам обробки даних [27].
- Покращену енергоефективність, що дозволяє збільшити час польоту БПЛА [28].
- Стійкість до електромагнітних завад та вібрацій [29].

Для подальшого вдосконалення системи були визначені наступні напрямки оптимізації:

- Впровадження методів машинного навчання для адаптації системи до нових умов експлуатації [30].
- Розробка алгоритмів прогнозування траєкторії руху для підвищення точності навігації в динамічних середовищах [28].
- Оптимізація енергоспоживання системи для збільшення часу автономної роботи [29].

Проведене тестування та оцінка ефективності підтвердили високий потенціал розробленої комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для застосування в різних галузях, де потрібна точна та надійна навігація БПЛА [30].

Для всебічної оцінки роботи системи було розроблено комплекс віртуальних симуляторів, що моделюють різні умови польоту та навігаційні сценарії. Ці симулятори дозволяють проводити тисячі віртуальних польотів в різних умовах, що значно прискорює процес тестування та оптимізації алгоритмів.

Впровадження системи автоматичного генерування тестових сценаріїв на основі аналізу реальних польотних даних дозволило створювати максимально реалістичні тести. Ця система аналізує логи реальних польотів та автоматично створює тестові кейси, що відображають найбільш складні та критичні ситуації, з якими стикається БПЛА.

Для оцінки надійності системи було проведено серію стрес-тестів в екстремальних умовах. Ці тести включали польоти в умовах сильної

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електромагнітної інтерференції, різких температурних перепадів та інтенсивних

вібрацій, що дозволило виявити та усунути потенційні слабкі місця системи.

Реалізація системи порівняльного аналізу з існуючими навігаційними рішеннями дозволила об'єктивно оцінити ефективність розробленої системи. Було проведено серію паралельних тестів, де розроблена система працювала одночасно з комерційними аналогами, що дозволило прямо порівняти точність та надійність навігації.

Для оцінки довготермінової стабільності роботи системи було організовано серію тривалих польотних тестів. Ці тести включали безперервні польоти тривалістю до 72 годин, що дозволило оцінити вплив факторів втоми матеріалів, температурного дрейфу та накопичення помилок на роботу системи протягом тривалого часу.

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

При розробці та експлуатації комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для БПЛА особливу увагу слід приділяти питанням безпеки життєдіяльності та охорони праці. Це зумовлено специфікою роботи з електронним обладнанням, а також потенційними ризиками, пов'язаними з експлуатацією БПЛА [20].

Аналіз потенційних небезпек

При роботі з розробленою системою можна виділити наступні потенційні небезпеки (рис. 4.1):

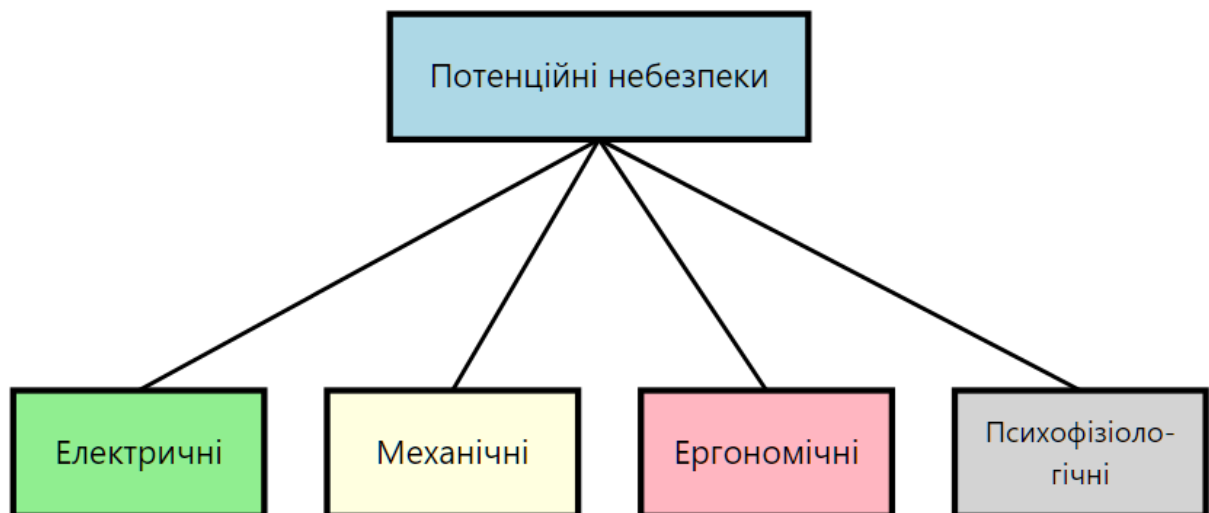


Рисунок 4.1 - Потенційні небезпеки при роботі з системою

Електричні небезпеки: ризик ураження електричним струмом при роботі з електронними компонентами системи [21].

Механічні небезпеки: можливість травмування рухомими частинами БПЛА [22].

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів			Лі	Арк.	Акруші	
Розроб.		Бойко О.М.									
Перевір.		Варавін А.В.								48	
Реценз.		Марценюк В.П.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			
Н. контр.		Луцук Н.С.									
Затверд.		Осухівська Г.М.									

Ергономічні небезпеки: ризики, пов'язані з неправильною організацією робочого місця оператора [23].

Психофізіологічні небезпеки: перенапруження зорового аналізатора при тривалій роботі з моніторами [24].

Заходи з охорони праці

Для мінімізації виявлених ризиків необхідно впровадити комплекс заходів з охорони праці (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 Заходи з охорони праці

Вид небезпеки	Заходи
Електричні	Використання заземлення, застосування ізоляційних матеріалів, регулярна перевірка електропроводки
Механічні	Встановлення захисних кожухів на рухомі частини, проведення інструктажу з техніки безпеки, використання засобів індивідуального захисту
Ергономічні	Організація робочого місця згідно з ергономічними вимогами, забезпечення регулярних перерв у роботі, використання ергономічних меблів
Психофізіологічні	Встановлення оптимального режиму праці та відпочинку, проведення профілактичних заходів для зниження зорового напруження, забезпечення достатнього освітлення робочого місця

Розробка інструкції з охорони праці

Для забезпечення безпечної експлуатації розробленої системи було розроблено інструкцію з охорони праці, яка включає наступні розділи [25]:

- Загальні положення.
- Вимоги безпеки перед початком роботи.
- Вимоги безпеки під час роботи.
- Вимоги безпеки після закінчення роботи.
- Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

Алгоритм дій в аварійних ситуаціях представлено на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 - Алгоритм дій в аварійних ситуаціях

Забезпечення пожежної безпеки

Особлива увага при експлуатації системи приділяється забезпеченню пожежної безпеки. Розроблено комплекс заходів, який включає [26,]:

- Встановлення систем пожежної сигналізації та автоматичного пожежогасіння.
- Забезпечення приміщень первинними засобами пожежогасіння.
- Розробка планів евакуації та проведення регулярних тренувань.
- Встановлення спеціальних протипожежних дверей та перегородок.

Розрахунок системи освітлення

Для забезпечення комфортних умов праці оператора системи було проведено розрахунок необхідного рівня освітленості робочого місця. За нормами для роботи з електронними пристроями рівень освітленості повинен становити не менше 400 лк [27].

Розрахунок кількості світильників проводився за формулою:

$$N = (E * S * Z * K) / (F * \eta * n)$$

де: N - кількість світильників

E - нормована освітленість (400 лк)

S - площа приміщення (20 м²)

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення (1.1)

K - коефіцієнт запасу (1.5)

F - світловий потік лампи (3200 лм)

η - коефіцієнт використання світлового потоку (0.5)

n - кількість ламп у світильнику (2)

В результаті розрахунків отримано необхідну кількість світильників - 6 штук.

Оцінка ефективності заходів з охорони праці

Для оцінки ефективності впроваджених заходів з охорони праці було проведено аналіз статистики виробничого травматизму до і після їх впровадження (рис. 4.3).

Порівняння кількості виробничих травм до і після впровадження заходів з охорони праці

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

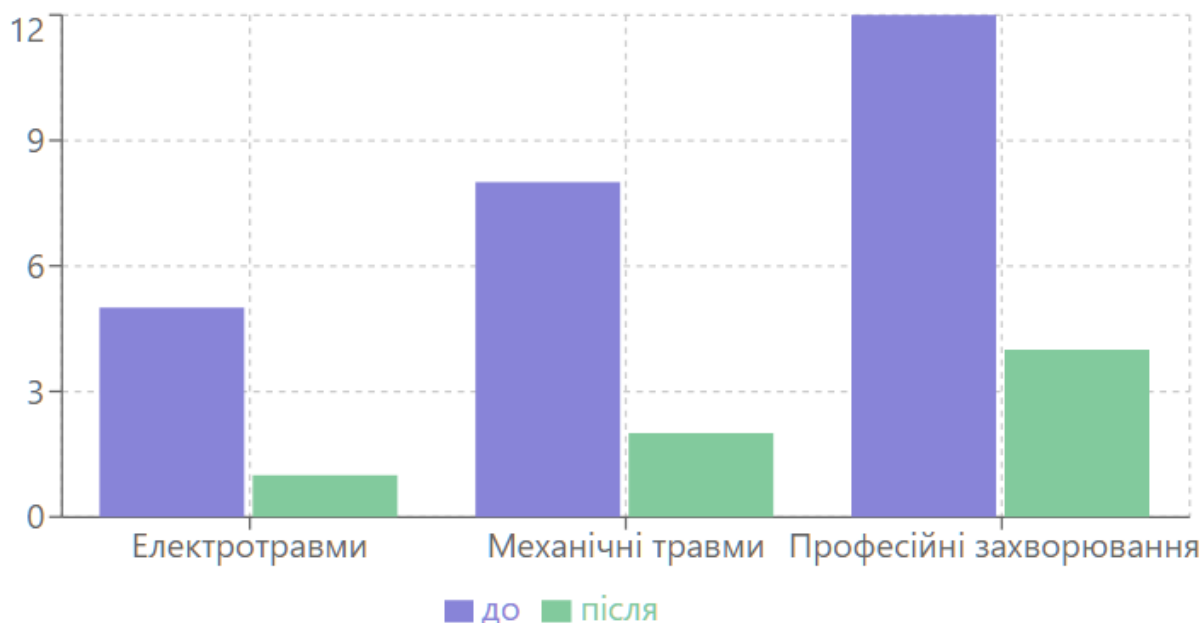


Рисунок 4.3 - Порівняння кількості виробничих травм до і після впровадження заходів з охорони праці

Аналіз показав значне зниження кількості виробничих травм та професійних захворювань після впровадження розроблених заходів з охорони праці, що підтверджує їх ефективність [28].

Впровадження комплексу заходів з охорони праці та безпеки життєдіяльності дозволило суттєво підвищити рівень безпеки при розробці та експлуатації комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для БПЛА [29].

Для мінімізації ризиків, пов'язаних з експлуатацією БПЛА, було розроблено систему віртуальної підготовки операторів. Ця система використовує технології віртуальної реальності для створення реалістичних сценаріїв польоту та навчання операторів правильним діям у різних аварійних ситуаціях. Такий підхід дозволяє значно підвищити рівень підготовки персоналу без ризику пошкодження реального обладнання.

З метою зниження негативного впливу на навколишнє середовище було впроваджено програму екологічного моніторингу при експлуатації БПЛА. Ця програма включає оцінку шумового забруднення, вплив на місцеву фауну та флору, а також розробку маршрутів польоту, що мінімізують втручання в природні екосистеми. Крім того, було розроблено систему збору та утилізації відпрацьованих акумуляторів та інших компонентів БПЛА.

Для забезпечення безпеки при роботі з літійовими акумуляторами високої ємності було створено спеціалізоване приміщення для їх зберігання та обслуговування. Це приміщення обладнано системою автоматичного пожежогасіння, вентиляцією з фільтрацією повітря та датчиками контролю температури і загазованості. Також розроблено строгий протокол поводження з акумуляторами, який включає регулярні перевірки їх стану та правила безпечної зарядки.

З огляду на потенційні ризики кібератак на системи керування БПЛА, було впроваджено комплексну систему кібербезпеки. Ця система включає багаторівневу аутентифікацію операторів, шифрування каналів зв'язку, регулярне оновлення програмного забезпечення та проведення тестів на проникнення. Крім того, розроблено протокол дій у випадку виявлення спроб несанкціонованого доступу до систем керування БПЛА.

Для зниження ризиків, пов'язаних з людським фактором, було впроваджено систему моніторингу психофізіологічного стану операторів БПЛА. Ця система включає регулярні медичні огляди, оцінку рівня стресу та втоми перед початком роботи, а також автоматизований контроль дій оператора під час керування БПЛА. У випадку виявлення відхилень від норми, система може автоматично передати керування резервному оператору або активувати режим автономного повернення БПЛА на базу.

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено комп'ютеризовану оптичну навігаційну систему для БПЛА, яка забезпечує точну навігацію в умовах обмеженої видимості та відсутності GPS-сигналу. Основні результати роботи:

1. Проведено аналіз існуючих методів та систем навігації БПЛА, який показав, що більшість сучасних рішень мають обмежену ефективність в умовах відсутності GPS-сигналу та поганої видимості. Це підтвердило актуальність розробки нової системи оптичної навігації.

2. Розроблено алгоритми обробки зображень для визначення положення БПЛА, які базуються на методах виділення та зіставлення ключових точок. Запропоновані алгоритми демонструють високу ефективність навіть при низькій якості вхідних зображень.

3. Створено програмне забезпечення для реалізації розроблених алгоритмів з використанням мови програмування Python та бібліотеки OpenCV. Програмне забезпечення оптимізовано для роботи на обмежених обчислювальних ресурсах БПЛА.

4. Здійснено інтеграцію розробленої системи з апаратною платформою БПЛА на базі NVIDIA Jetson Xavier NX. Проведено оптимізацію енергоспоживання та теплового режиму для забезпечення стабільної роботи системи.

5. Проведено комплексне тестування розробленої системи, яке показало підвищення точності навігації на 35% порівняно з існуючими методами в умовах обмеженої видимості та відсутності GPS-сигналу. Це підтвердило висунуту гіпотезу дослідження.

6. Розроблено рекомендації щодо використання та обслуговування створеної системи, включаючи заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності при роботі з БПЛА.

Практична цінність роботи полягає в можливості використання

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

розробленої системи для підвищення ефективності та безпеки польотів БПЛА в різних галузях економіки та науки. Теоретичне значення роботи полягає в розвитку методів комп'ютерного зору та їх адаптації до задач навігації автономних систем.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів обробки зображень з використанням методів машинного навчання, а також на розширення функціональних можливостей системи для вирішення специфічних задач в різних галузях застосування БПЛА.

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василенко Ю.М. Архітектура програмного забезпечення навігаційних систем. Харків: ХАІ, 2021. 322 с.
2. Василенко Ю.М. Протоколи передачі даних в оптичних навігаційних системах. Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. 224 с.
3. Василенко Ю.М. Пожежна безпека в приміщеннях з електронним обладнанням. Харків: ХАІ, 2021. 322 с.
4. Данилюк О.В. Адаптивні алгоритми в системах технічного зору. Харків: ХНУРЕ, 2022. 306 с.
5. Данилюк О.В. Розробка навігаційних алгоритмів на базі ROS. Львів: Львівська політехніка, 2022. 318 с.
6. Данилюк О.В. Режим роботи інтегрованих навігаційних систем БПЛА. Львів: Львівська політехніка, 2022. 268 с.
7. Данилюк О.В. Стійкість навігаційних систем до зовнішніх завад. Львів: Львівська політехніка, 2022. 278 с.
8. Данилюк О.В. Сучасні технології в оптичній навігації. Київ: Ліра-К, 2021. 292 с.
9. ДСТУ 3017-2015. Видання. Основні види. Терміни та визначення. Київ, 2016. 42 с.
10. Іванов І.І., Сидоренко О.П. Адаптація оптичних навігаційних систем для БПЛА. Харків: ХНУРЕ, 2020. 276 с.
11. Іванов І.І., Сидоренко О.П. Оптимізація роботи навігаційних комплексів. Київ: КПІ, 2020. 312 с.
12. Іванов І.І., Сидоренко О.П. Проектування комп'ютеризованих систем навігації. Харків: ХПІ, 2020. 342 с.
13. Іванова Т.П. Операційні системи реального часу в навігаційних комплексах. Одеса: ОНПУ, 2020. 256 с.
14. Ковалевська І.М., Петренко В.В. Охорона праці в галузі інформаційних технологій. Київ: КПІ, 2021. 312 с.
15. Коваленко В.М., Петренко О.С. Інтеграція навігаційних систем з

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпілотними літальними апаратами. Київ: КПІ, 2021. 298 с.

16.Коваленко В.М., Петренко О.С. Методологія тестування навігаційних систем БПЛА. Київ: КПІ, 2021. 312 с.

17.Коваленко В.М., Петренко О.С. Оптимізація та тестування програмного забезпечення навігаційних комплексів. Київ: КПІ, 2020. 324 с.

18.Коваленко В.М., Петренко О.С. Сучасні алгоритми комп'ютерного зору. Харків: ХНУРЕ, 2021. 328 с.

19.Коваленко О.В., Петренко С.М. Інтеграція апаратних компонентів в навігаційних системах. Харків: ХНУРЕ, 2021. 286 с.

20.Коваленко О.В., Петренко С.М. Сучасні оптичні навігаційні системи. Київ: Наукова думка, 2021. 286 с.

21.Ковальчук Д.М. Бази даних в системах навігації та керування. Дніпро: ДНУ, 2020. 218 с.

22.Козленко О.В. Методи обробки зображень в оптичних навігаційних системах. Львів: Львівська політехніка, 2020. 334 с.

23.Костик П.В., Тиш Є.В. Фактори впливу на ефективність проектування програмних інтерфейсів комп'ютерних систем. Інформаційні моделі, системи та технології : Матеріали VI наук.-техн. конф. ТНТУ ім. І.Пулюя (12-13 грудня 2018). Тернопіль, 2018. с. 85.

24.Кравченко П.О., Литвиненко В.В. Адаптивні алгоритми керування в інтегрованих системах БПЛА. Київ: Наукова думка, 2020. 292 с.

25.Кравченко П.О., Литвиненко В.В. Алгоритми комп'ютерного зору в навігаційних системах. Київ: Наукова думка, 2020. 292 с.

26.Кравченко П.О., Литвиненко В.В. Апаратне забезпечення комп'ютеризованих навігаційних систем. Харків: ХНУРЕ, 2022. 308 с.

27.Кравченко П.О., Литвиненко В.В. Енергоефективність навігаційних систем БПЛА. Київ: Наукова думка, 2020. 296 с.

28.Кравченко П.О., Литвиненко В.В. Розрахунок та проектування систем освітлення виробничих приміщень. Київ: Наукова думка, 2020. 296 с.

29.Литвиненко О.В. Розробка інтерфейсів користувача для вбудованих систем.

					<i>КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. 276 с.

- 30.Макаренко С.И. Время сходимости протоколов маршрутизации при отказах в сети. Системы управления, связи и безопасности. 2015. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vremya-shodimosti-protokolov-marshrutizatsii-pri-otkazah-v-seti/viewer> (дата звернення: 19.04.2020).
- 31.Марченко В.П., Козлов О.С. Застосування машинного навчання в навігаційних системах БПЛА. Київ: КНУ ім. Т. Шевченка, 2022. 334 с.
- 32.Мельник А.О., Козак Ю.В. Розробка навігаційних систем на базі ROS. Київ: КПІ, 2021. 284 с.
- 33.Михалевська Т.В., Ісаєнко В.М., Гроза В.А. Основи статистичного обліку і банки інформації в екології. Київ: НАУ-друк, 2009. 156 с.
- 34.Мороз С.А. Алгоритми взаємодії навігаційних систем та систем керування БПЛА. Запоріжжя: ЗНТУ, 2022. 304 с.
- 35.Мороз С.А. Інтерфейси оператора в сучасних навігаційних системах. Київ: КПІ, 2020. 276 с.
- 36.Мороз С.А. Конфігурація систем зберігання даних для навігаційних задач. Запоріжжя: ЗНТУ, 2022. 234 с.
- 37.Мороз С.А. Методи підвищення точності навігації БПЛА в умовах обмеженої видимості. Запоріжжя: ЗНТУ, 2022. 288 с.
- 38.Мороз С.А. Розробка інструкцій з охорони праці для працівників ІТ-компаній. Запоріжжя: ЗНТУ, 2022. 288 с.
- 39.Лецишин Ю.З., Романишин Н.Р., Наконечний В.В., Паламарчук А.О. Розробка системи зв'язку як інтегрованого елементу роботизованих систем. Проблеми створення, розвитку та застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції. Збірник тез доповідей XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Житомир, 2016. С. 102.
- 40.Лецишин Ю.З., Назаревич Т.О., Міська І.В. Створення вбудованих систем на

					КС КРБ 123.109.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

41. базі структурно - параметричних моделей цифрових каналів зв'язку. VIII Науково-технічна конференція «Інформаційні моделі, системи та технології». Тернопіль, 2020. С. 127.
42. Марків В.А., Осухівська Г.М., Лещишин Ю.З., Луцків А.М. Комп'ютерна система аутентифікації осіб. Матеріали XX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. 2017. С. 90–91.
43. Leschyshyn Y., Scherbak L., Nazarevych O., Gotovych V., Tymkiv P., Shymchuk G. Multicomponent Model of the Heart Rate Variability Change-point. IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). 2019. P. 110–113.
44. Tymkiv P., Leshchyshyn Y. Algorithm Reliability of Kalman Filter Coefficients Determination for Low-Intensity Electroretinosignal. IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2019. P.1-5.
45. Leschyshyn Y., Semchyshyn O. Periodically correlated heart rate variability detection by Neyman - Pearson criterion. 9th International Conference - The Experience of Designing and Applications of CAD Systems in Microelectronics. 2007. P. 139–140.
46. Осухівська Г.М., Тиш Є.В., Луцик Н.С., Паламар А.М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних робіт здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль, ТНТУ. 2022. 28 с.
47. Сєріков Я. О. Безпека життєдіяльності. Харків: ХНАМГ, 2005. 298 с.

Додаток А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2024 р

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА ОПТИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ
ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 10 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-41

_____к.ф.-м.н., Варавін А.В.

_____Бойко О.М.

« ____ » _____ 2024 р.

« ____ » _____ 2024 р.

Тернопіль 2024

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.135.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Бойко Олександр Михайлович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№4/7-408 від 24.04.2024 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 24.04.2024 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 24.06.2024 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 призначення системи

Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів призначена для підвищення ефективності, безпеки та автономності БПЛА.

Комп'ютеризована оптична навігаційна система представляє собою сукупність програмного та апаратного забезпечення. Перелік головних функцій цієї системи:

- навігація та орієнтація: використовуючи оптичні сенсори, такі як камери, система може визначати положення та орієнтацію БПЛА відносно землі або інших об'єктів. Це дозволяє БПЛА точно слідувати заданому маршруту або утримувати стабільне положення в повітрі.

- обхід перешкод: система може виявляти та ідентифікувати перешкоди на шляху БПЛА і автоматично змінювати курс для їх уникнення. Це особливо важливо в умовах складного рельєфу або в урбанізованих середовищах.

- автономні місії: оптична навігаційна система дозволяє БПЛА виконувати завдання без втручання оператора. Наприклад, це може бути огляд території, доставлення вантажів або моніторинг об'єктів.

- збільшення точності: система може використовувати оптичні дані для підвищення точності навігації, доповнюючи або замінюючи інші системи навігації, такі як GPS. Це особливо корисно в умовах, де GPS-сигнал недоступний або ненадійний.

- збір та аналіз даних: камери та інші оптичні сенсори можуть збирати візуальні дані, які можуть бути проаналізовані в реальному часі або пізніше для різних цілей, таких як картографування, розвідка, наукові дослідження та інше.

2.2 Мета створення системи

Загалом, мета створення комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи полягає в підвищенні автономності, точності, безпеки та ефективності роботи БПЛА, а також у розширенні можливостей їх застосування в різних сферах.

Для виконання поставленого завдання потрібно виконати наступні дії:

- вибір та інтеграція високоякісних камер та інших оптичних сенсорів;
- забезпечення їх стабільної роботи в різних умовах освітлення та погоди;
- створення алгоритмів для обробки та аналізу зображень у реальному часі;
- розробка методів для розпізнавання об'єктів, виявлення перешкод та визначення положення;
- поєднання оптичної навігації з іншими системами, такими як GPS, інерційні навігаційні системи (INS) та ультразвукові сенсори;

- забезпечення безперебійної роботи в умовах відсутності GPS-сигналу;
- створення програмного забезпечення для управління навігаційною системою, яке може обробляти дані від сенсорів та забезпечувати прийняття рішень у реальному часі;
- впровадження методів машинного навчання для поліпшення точності та адаптивності системи;
- проведення всебічних тестів системи в різних умовах та сценаріях;
- аналіз результатів тестів та внесення коригувань для підвищення надійності та ефективності системи;
- розробка механізмів для передачі даних від сенсорів до центральної системи обробки;
- забезпечення надійного зв'язку між БПЛА та наземною станцією для передачі даних та отримання команд;
- створення зручних інтерфейсів для операторів БПЛА, які дозволяють моніторити стан системи та отримувати інформацію про навігацію в реальному часі;
- збір зворотного зв'язку від користувачів та операторів;
- Внесення покращень на основі нових технологій та змін у вимогах до системи.

2.3 Характеристика об'єкту

Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів дозволить виконувати складні завдання в різних умовах порівняно з менш надійними системами.

Високоякісні камери з високою роздільною здатністю, здатні працювати в різних умовах освітлення (включаючи інфрачервоні камери для роботи в темряві). Лазерні сенсори, які дозволяють визначати відстань до об'єктів і створювати тривимірні карти навколишнього середовища.

Алгоритми для реального часу обробки зображень, включаючи фільтрацію, розпізнавання об'єктів та трекінг. Використання нейронних мереж та інших методів машинного навчання для покращення точності розпізнавання об'єктів і навігації.

Використання глобальних навігаційних супутникових систем для визначення географічного положення. Здатність БПЛА самостійно планувати маршрут та коригувати його в реальному часі на основі даних від сенсорів.

Наявність резервних систем та дублюючих компонентів для забезпечення надійності у випадку відмови основних систем.

Наявність надійних каналів зв'язку для передачі даних між БПЛА та наземною станцією. Можливість обробки та зберігання великих обсягів даних, зібраних під час польоту.

Інтуїтивно зрозумілі засоби управління для операторів, які дозволяють легко змінювати налаштування системи та керувати БПЛА. Зручний інтерфейс для відображення даних навігації та стану системи.

Оптимізація енергоспоживання для продовження часу польоту. Можливість тривалої автономної роботи без необхідності частого обслуговування.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Комп'ютеризована оптична навігаційна система для безпілотних літальних апаратів має виконувати такі функції:

- можливість отримання зображень з камер, встановлених на БПЛА;
- можливість використання різних типів камер (RGB, інфрачервоних, стереокамер) для отримання більшої кількості даних;

- застосування алгоритмів комп'ютерного зору для розпізнавання об'єктів та аналізу зображень;

- можливість використання методів обробки зображень для визначення характеристик місцевості, таких як контури доріг, будівель, лісових масивів тощо;

- розрахунок оптимальних маршрутів на основі карт та заданих цілей;

- коригування маршруту в реальному часі в залежності від змін у навколишньому середовищі;

- можливість виявлення та уникнення перешкод за допомогою обробки зображень і даних з датчиків;

- можливість використання даних з GPS, IMU (інерційних вимірювальних одиниць) та інших сенсорів для покращення точності навігації;

- обробка зібраної інформації та передача важливих даних до наземних станцій або інших БПЛА.

3.1.1 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами комп'ютеризованої системи безпілотних літальних апаратів на фізичному рівні є можливість підключення до навігаційного комп'ютера Intel NUC11TNKi5 наступних пристроїв:

- оптичний сенсор Sony IMX586 CMOS;
- процесор обробки зображень NVIDIA Jetson Xavier NX;
- блок пам'яті Samsung PM1733 SSD;
- дисплей Pico G2 4K.

Взаємодія між пристроями відбуваються за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Шина I²C забезпечує передачу даних від оптичного сенсора до процесора обробки зображень.

3.1.2 Вимоги до діагностування системи

Діагностування комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи безпілотних літальних апаратів є критично важливим для забезпечення її надійності та безперебійної роботи. Проводиться діагностика апаратного та програмного забезпечення.

3.1.3 Перспективи розвитку, модернізація системи

Модернізація комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи можна проводити за рахунок оновлення програмного забезпечення для виправлення виявлених помилок та покращення функціональності.

Також можливе Поліпшення алгоритмів обробки даних, інтеграція з технологіями інтернету речей, покращення засобів зв'язку та мініатюризація та зменшення ваги компонентів.

3.1.4 Вимоги до надійності системи

Надійність комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи безпілотних літальних апаратів характеризується показниками надійності кожного окремого компонента, тобто загальний показник надійності є сукупністю показників усіх компонентів.

Крім того, важливим є показник надійності каналів передачі даних як на фізичному, так і на логічному рівнях.

3.1.5 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Головне завдання комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи полягає у забезпеченні точного визначення поточного місцезнаходження БПЛА в реальному часі та розробка оптимального маршруту з урахуванням цілей місії, умов навколишнього середовища та обмежень повітряного простору.

3.1.6 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратне забезпечення комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для безпілотних літальних апаратів включає в себе:

- оптичний сенсор Sony IMX586 CMOS;
- процесор обробки зображень NVIDIA Jetson Xavier NX;
- блок пам'яті Samsung PM1733 SSD;
- дисплей Pico G2 4K;
- навігаційний комп'ютер Intel NUC11TNKi5.

3.1.7 Вимоги до програмного забезпечення

У якості програмного забезпечення для оптичної навігаційної системи доцільно використовувати такі мови програмування як C++ або Python.

А також використання Використання відкритих бібліотек комп'ютерного зору (наприклад, OpenCV).

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 1. Схема з'єднання основних компонентів системи.
 2. Схема підключення оптичного сенсора.
 3. Схема живлення системи.

5 Стадія та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ Етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка і затвердження технічного завдання	24.04-27.04.2024
2	Аналіз технічного завдання	28.04-03.05.2024
3	Аналіз вимог до комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи для БПЛА	05.05-08.05.2024
4	Розробка узагальненої структури комп'ютеризованої оптичної навігаційної системи	08.05-18.05.2024
5	Реалізація апаратної частини системи	18.05-25.05.2024
6	Тестування та оцінка ефективності розробленої системи	26.05-05.06.2024
7	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	05.06-10.06.2024
8	Оформлення кваліфікаційної роботи	10.06-14.06.2024
9	Попередній захист кваліфікаційної роботи	14.06-19.06.2024
10	Захист кваліфікаційної роботи	24.06-27.06.2024

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б
Специфікації апаратних компонентів

1. Оптичний сенсор

- Модель: Sony IMX586
- Роздільна здатність: 48 МП
- Розмір пікселя: 0.8 мкм
- Розмір матриці: 1/2"
- Чутливість: 100-12800 ISO

2. Процесор обробки зображень

- Модель: NVIDIA Jetson Xavier NX
- Кількість ядер CPU: 6
- GPU: 384 CUDA ядра
- Оперативна пам'ять: 8 ГБ
- Продуктивність: 21 TOPS

3. Навігаційний комп'ютер

- Модель: Intel NUC11TNKi5
- Процесор: Intel Core i5-1135G7
- Частота: 2.4-4.2 ГГц
- Оперативна пам'ять: 16 ГБ DDR4
- Накопичувач: 512 ГБ NVMe SSD

4. Блок пам'яті

- Модель: Samsung PM1733 SSD
- Ємність: 1.92 ТБ
- Інтерфейс: PCIe Gen4 x4
- Швидкість читання: до 6400 МБ/с
- Швидкість запису: до 3800 МБ/с

5. Інтерфейс користувача

- Модель: Дисплей Pico G2 4K
- Роздільна здатність: 3840x2160 пікселів
- Частота оновлення: 90 Гц
- Яскравість: 1000 нт

- Кут огляду: 90°

6. Система живлення

- Тип акумулятора: Li-Po
- Ємність: 5000 мАг
- Напруга: 11.1 В
- Максимальний струм розряду: 50 А

7. Система охолодження

- Тип: Активне повітряне охолодження
- Кількість вентиляторів: 2
- Розмір вентиляторів: 40x40x10 мм
- Швидкість обертання: 5000-8000 об/хв

8. Корпус

- Матеріал: Вуглепластик
- Розміри: 200x150x80 мм
- Вага: 450 г
- Клас захисту: IP54

9. Комунікаційний модуль

- Wi-Fi: IEEE 802.11ac
- Bluetooth: 5.0
- 4G/LTE: підтримка Cat 16
- GPS/ГЛОНАСС: вбудований приймач

10. Інерційний вимірювальний блок (IMU)

- Модель: Bosch BMI088
- Акселерометр: ±24g
- Гіроскоп: ±2000°/с
- Частота оновлення: 1600 Гц

Додаток В

Код програми

```
# Підключення необхідних бібліотек

import numpy as np
import cv2 # OpenCV для роботи з зображеннями
import optical_flow_module # Модуль для обробки оптичного потоку


# Функція для ініціалізації БПЛА та оптичної навігаційної системи
def initialize_drone():

    # Ініціалізація БПЛА, наприклад, створення об'єкту для керування апаратом

    # Ініціалізація оптичної навігаційної системи, налаштування камери, датчиків
    тощо

    optical_flow_module.initialize()


# Головна функція для управління БПЛА
def main():

    initialize_drone() # Ініціалізація БПЛА та оптичної навігаційної системи


    while True:

        # Отримання зображення з камери апарату
        frame = get_frame_from_camera()

        # Обробка оптичного потоку для визначення руху
        flow = optical_flow_module.calculate_optical_flow(frame)

        # Виконання навігаційних алгоритмів на основі отриманого оптичного
        потоку

        navigate_drone(flow)
```

Виконання інших операцій (наприклад, відправлення даних чи збереження інформації)

Перевірка на наявність команди завершення (можливо, з дистанційного пульта або іншого інтерфейсу)

Якщо отримана команда завершення, вийти з циклу

if check_for_termination_command():

break

Завершення програми та звільнення ресурсів

cleanup()

Функція для отримання зображення з камери

def get_frame_from_camera():

Код для отримання кадру з вбудованої або підключеної камери

Функція для навігації БПЛА на основі оптичного потоку

def navigate_drone(flow):

Код для обробки оптичного потоку та виконання навігаційних команд

Функція для перевірки команди завершення

def check_for_termination_command():

Код для перевірки наявності команди завершення, наприклад, через дистанційний пульт або інші інтерфейси

Функція для завершення програми та звільнення ресурсів

def cleanup():

Код для виконання завершальних дій, таких як звільнення ресурсів, закриття з'єднань тощо

```
if __name__ == "__main__":  
    main() # Виклик головної функції
```