

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий
(магістерський) Розроблення системи автоматизації для управління
роботизованими механізмами з використанням штучного інтелекту
(тема)

Виконав:
здобувач 2 року навчання,
групи КТРСм-23-1
Давидов Н.Д.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 174 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)
Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютеризовані та
робототехнічні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц.Чала О.О.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Автоматики і комп'ютеризованих технологій _____
Кафедра _____ Комп'ютерно-інтегрованих технологій, _____
_____ автоматизації та робототехніки _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність _____ 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані _____
_____ технології _____
_____ (код і повна назва) _____
Тип програми _____ освітньо-професійна _____
_____ (освітньо-професійна або освітньо-наукова) _____
Освітня програма _____ Комп'ютеризовані та роботехнічні системи _____
_____ (повна назва) _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
«_____» _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Давидову Нікіті Денисовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації для управління роботизованими механізмами з використанням штучного інтелекту

затверджена наказом університету від 25 "листопада" 2024 р. № 1239

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 31 січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Роботизована платформа, алгоритми автоматизації руху роботизованих платформ; Платформа дрона FPV; бортовий комп'ютер MaixCam;

4. Перелік пунктів що потрібно опрацювати в роботі: Вступ; Огляд моделей штучного інтелекту для автоматизації роботизованих систем, їх аналіз;

Опис ; Аналіз вимог до реалізації алгоритмів;

Постановка мети і завдань; Побудова роботизованих систем та програмного забезпечення;

Розробка інтеграції автоматизації у роботу роботизованих систем та їх аналіз;

Порівняльний аналіз моделей, роботизованих систем та їх компонентів; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

Демонстраційний матеріал представлений у форматі PowerPoint (*.ppt) – 17 с. формату А4

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на виконання роботи	25.11.24	Виконано
2	Аналіз предметної області	27.11.24	Виконано
3	Постановка мети і задач кваліфікаційної роботи	29.11.24	Виконано
4	Вибір методів розв'язання задачі	3.12.24	Виконано
5	Розробка програмного забезпечення задачі інформаційної системи	8.12.24	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	17.12.24	Виконано
7	Подання закінченої роботи керівникові	01.01.25	Виконано
8	Усунення зауважень керівника	04.01.25	Виконано
9	Підготовка презентації	06.01.25	Виконано
10	Подання роботи на рецензування	9.01.25	Виконано

Дата видачі завдання 25 листопада 2024 р.

Здобувач _____

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

доц. Чала О.О.
(посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«25» листопада 2024 р.



Давидов Н.Д.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 98 с., 30 рис., 3 дод.,
17 джерел.

MAIXCAM, YOLO, FPV DRONE, MODEL TRAINING, CRSF
PACKAGES.

Об'єкт дослідження – навігація мобільних роботів.

Предмет дослідження – параметри руху мобільних роботів.

Мета роботи – підвищення точності навігації руху мобільного роботу для керування літаючими роботами, шляхом створення роботизованої платформи, що керується за допомогою штучного інтелекту.

Методи дослідження – створення роботизованої платформи мобільного роботу та розроблення алгоритмів навігації, аналіз параметрів руху.

На основі результатів виконаних досліджень розроблено принципову технологічну систему роботизованої платформи з можливостями виконання автоматизованих команд та рішень зроблених на основі результатів виконання алгоритмів штучного інтелекту.

Впровадження розробленої технологічної системи надає можливість використання автоматизованих роботизованих платформ на основі дронів у пересувних роботах без прямого втручання людини.

Також, отриманні результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 – “Промисловість, інновації та інфраструктура” а саме п. 9.1: “Розвивати якісну, надійну, сталу та доступну інфраструктуру” Роботизована платформа, розроблена у рамках цієї роботи оптимізує інфраструктуру у багатьох напрямках, таких як: промисловість, медицина, логістика та інші. Завдяки інноваційній технології роботизована платформа підвищує ефективність виробництва та відповідає вимогам сталого розвитку.

ABSTRACT

Explanatory Note for the Qualification Work: 98 pages, 30 figures, 3 appendices, 17 references.

MAIXCAM, YOLO, FPV DRONE, MODEL TRAINING, CRSF PACKAGES.

Object of research – mobile robot navigation.

Subject of research – motion parameters of mobile robots.

Purpose of the work – to improve the accuracy of mobile robot navigation for controlling flying robots by developing a robotic platform controlled by artificial intelligence.

Research methods – development of a robotic mobile platform and navigation algorithms, analysis of motion parameters.

Based on the research results, a conceptual technological system for a robotic platform has been developed. This platform can execute automated commands and make decisions based on the outcomes of artificial intelligence algorithms.

The implementation of the developed technological system enables the use of automated robotic platforms based on drones for mobile tasks without direct human intervention.

Additionally, the results of this work align with Sustainable Development Goal 9 – "Industry, Innovation, and Infrastructure," specifically clause 9.1: "Develop quality, reliable, sustainable, and resilient infrastructure." The robotic platform developed as part of this work optimizes infrastructure in various fields, such as industry, medicine, logistics, and others. Thanks to its innovative technology, the robotic platform enhances production efficiency and meets sustainable development requirements.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	11
1 Огляд моделей штучного інтелекту для автоматизації роботизованих механізмів.....	13
1.1 Загальний огляд штучного інтелекту у автоматизації роботів.....	13
1.2 Класифікація алгоритмів штучного інтелекту для автоматизації роботів.....	14
1.3 Аналіз моделей та алгоритмів автоматизації ШІ роботизованих систем.....	26
1.4 Технологічні перспективи та можливості розвитку.....	28
1.5 Висновки до розділу.....	28
2 Обґрунтування параметрів та складників літаючих роботів для автоматизації за допомогою гтучного інтелекту.....	29
2.1 Обґрунтування та вибір конструкції FPV дрона.....	29
2.2 Порівняльний аналіз компонентів FPV дронів.....	30
2.3 Побудова FPV дрону для використання в цілях автоматизації.....	35
2.4 Висновки до розділу.....	37
3 Інтеграція обраного обладнання у конструкцію роботизованої платформи.....	38
3.1 Обґрунтування вибору бортового комп'ютеру.....	38
3.2 Характеристики обраного бортового комп'ютера.....	44
3.3 Інтеграція плати до контролера роботизованої платформи.....	48
3.4 Висновки до розділу.....	50
4 Розробка програмної частини автоматизації руху дрона.....	51
4.1 Зчитування пакетів з пульта управління.....	51
4.2 Конвертація пакету у формат значень каналів.....	53
4.3 Конвертація пакету назад у формат CRSF.....	54
4.4 Відправка CRSF пакета до контролера дрона.....	55
4.5 Тренування моделі штучного інтелекту для	

розпізнавання об'єктів.....	55
4.6 Обгортка моделі.....	58
4.7 Модифікація пакету за допомогою даних моделі.....	59
4.8 Висновки до розділу.....	61
5 Аналіз результатів роботи автоматизації роботизованих платформ.....	62
5.1 Аналіз якості моделі.....	62
5.2 Аналіз конструкції та програмної частини проєкту.....	64
5.3 Висновки до розділу.....	66
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	67
6.1 Промислова безпека в середовищі робототехнічних досліджень.....	67
6.2 Висновки до розділу.....	68
Висновки.....	69
Перелік джерел посилання.....	71
Додаток А Апробація наукових результатів.....	73
Додаток Б Код програм, використаних у проєкті.....	82
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	90

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ПК – персональний комп'ютер.

ІІІ – штучний інтелект.

FPV – First Person View.

NLP – natural language processing.

ВСТУП

Штучний інтелект є одним з найголовніших шляхів розвитку робототехніки та їх автоматизації. ШІ дозволяє платформам самостійно виконувати складні завдання, підвищуючи їх ефективність, точність і адаптивність до мінливих умов середовища.

Галузь робототехніки демонструє високий інтерес до засобів автоматизації роботизованих платформ, в особливості систем навігації та управління мобільними роботами. Системи, здатні підвищувати ефективність руху мобільних роботів дозволяють покращити життя людей за допомогою внесків у аграрну промисловість та промисловість навігації серед городньої місцевості. Саме тому задача розробки методів та алгоритмів автоматизації, які можна використати для роботизованих платформ, а також задача інтеграції систем керування у класичні мобільні платформи є дуже актуальною та важливою.

Предметом дослідження є моделі ШІ і їх використання для автоматизації роботизованих платформ.

Мета роботи – підвищення точності навігації руху мобільного роботу для керування літаючими роботами, шляхом створення роботизованої платформи, що керується за допомогою штучного інтелекту.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні завдання:

- а) проаналізувати та вибрати системи та обладнання роботизованої платформи;
- б) розробити роботизовану платформу здатну виконувати автоматизовані дії;
- в) розробити алгоритми автоматизації руху платформи;
- г) проаналізувати результати роботи.

Роботу виконано згідно з вимогами ДСТУ 3008:2015 [1] та рекомендаціями [2].

1 ОГЛЯД МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНІЗМІВ

1.1 Загальний огляд штучного інтелекту у автоматизації роботів

Роботи, що працюють на основі штучного інтелекту, впроваджуються у різні галузі і значно змінюють спосіб, у який ми живемо та працюємо. У промисловості вони виконують складні завдання, підвищуючи ефективність виробництва і покращуючи контроль якості. В охороні здоров'я роботи допомагають хірургам під час операцій, а також сприяють ранній діагностиці захворювань через аналіз медичних зображень та даних пацієнтів. У сфері логістики та транспорту автономні транспортні засоби знижують кількість аварій та підвищують ефективність перевезень, тоді як складські роботи сприяють продуктивності та зменшують помилки. У сільському господарстві роботи автоматизують процеси посіву та збирання врожаю, а також аналізують дані про ґрунт і клімат, допомагаючи фермерам приймати обґрунтовані рішення. Нарешті, в обслуговуванні клієнтів чат-боти підвищують рівень сервісу, а автономні прибиральні роботи підтримують чистоту в громадських місцях. Таким чином, роботи з штучним інтелектом стають невід'ємною частиною багатьох галузей, сприяючи підвищенню ефективності, якості та безпеки.

Загалом, ШІ кардинально змінює поняття роботизації. Він не лише автоматизує завдання, а й дає змогу роботам навчатися, адаптуватися та вдосконалюватися з часом. Це робить їх гнучкішими та ефективнішими в різних середовищах. Такий рівень автоматизації і інтелекту дозволяє підприємствам досягати нових висот продуктивності і якості, знижувати витрати та створювати нові робочі місця для спеціалістів з управління та обслуговування цих систем. Інтеграція ШІ у роботизацію впливає на всіх – від виробничих ліній до складних медичних операцій, змінюючи спосіб нашої взаємодії з технологіями.

1.2 Класифікація алгоритмів штучного інтелекту для автоматизації робіт

Існує кілька основних типів алгоритмів, які використовуються для автоматизації роботизованих платформ, кожен з яких володіє своїми унікальними перевагами і підходить для різних типів завдань. Ці алгоритми є критично важливими для забезпечення функціональності робіт у складних середовищах. Вони варіюються за рівнем складності, використанням обчислювальних ресурсів та ступенем адаптивності до навколишнього середовища. Алгоритми можуть бути як простими і легкими для реалізації, так і складними, з урахуванням великої кількості зовнішніх даних та тренуваних на великих вибірках. Використання різних типів алгоритмів дозволяє роботам ефективно виконувати завдання в різних умовах та галузях.

1.2.1. Експертні системи

Експертні системи (рис. 1.1) – це різновид штучного інтелекту, створений для вирішення складних завдань шляхом імітації мислення експертів у певній галузі.

Вони використовують накопичені знання та досвід фахівців для аналізу ситуацій і прийняття рішень.



Рисунок 1.1 – Схема експертної системи [3]

Алгоритм експертної системи, зображений на рисунку 1.1, починається зі збору даних, які можуть бути введені користувачем або отримані з зовнішніх джерел.

База знань K містить набір правил R та фактів F . Правила представлені у вигляді логічних умов:

$$R_i : \text{Якщо } (A_1 \text{ і } A_2 \text{ і } \dots \text{ і } A_n), \text{ то } B, \quad (1.1)$$

де A_i – умови, які повинні бути виконані для виведення висновку B .

Дані D , що вводяться користувачем або отримуються з зовнішніх джерел, аналізуються на відповідність умовам A_i :

$$D \rightarrow \{A_i\}. \quad (1.2)$$

Механізм виведення M використовує правило логічного висновку для отримання результату B з даних D :

$$M: (D \text{ та } R) \rightarrow B. \quad (1.3)$$

Для обчислення ймовірності вірності висновку використовується метод Байєса:

$$P(B \mid A_1, A_2, \dots, A_n) = P(A_1, A_2, \dots, A_n \mid B) \cdot P(B) / P(A_1, A_2, \dots, A_n). \quad (1.4)$$

Цей підхід дозволяє оцінити впевненість системи в правильності зробленого висновку. Кінцеві результати передаються через інтерфейс користувача, що забезпечує взаємодію системи з користувачем та надає рекомендації на основі аналізу.

1.2.2. Машинне навчання

Машинне навчання представляє собою одну з найперспективніших галузей штучного інтелекту, що дозволяє системам адаптуватися та навчатися на основі досвіду і даних.

Основним компонентом машинного навчання (рис. 1.2) є модель, яка навчається на основі тренувальних даних. Цей процес складається з трьох основних етапів: навчання, валідації та тестування. Під час навчання модель підбирає параметри, що найкраще відповідають тренувальним даним, мінімізуючи різницю між передбаченими і реальними значеннями. Валідація дозволяє перевірити узагальнювальні здібності моделі на нових даних, що не використовувалися під час навчання. Тестування здійснюється на спеціально відкладеній вибірці, щоб оцінити загальну ефективність моделі.

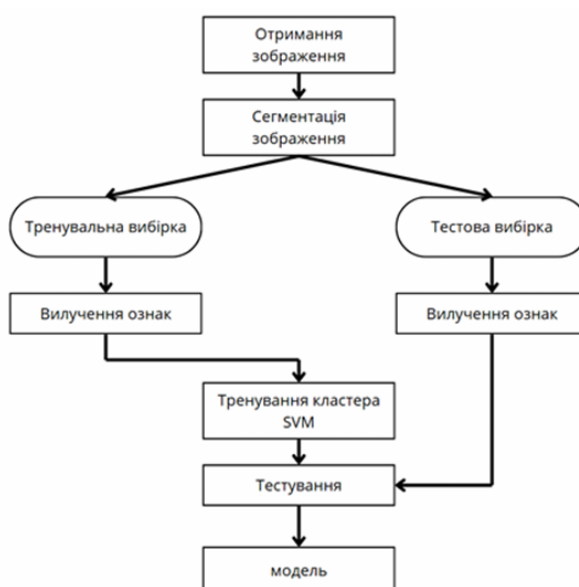


Рисунок 1.2 – Приклад машинного навчання моделі комп'ютерного зору [3]

На рисунку 1.2 зображено приклад тренування машинного навчання моделі, розробленої для задачі комп'ютерного зору. Математично процес машинного навчання подібних моделей можна описати таким чином: модель $f(x)$, де x – вхідні дані, повинна передбачати результати y . Для цього

використовується функція втрат $L(y, \hat{y})$, яка оцінює різницю між передбаченим значенням $\hat{y}$ та реальним значенням y . Завдання моделі - мінімізувати цю функцію втрат:

$$\min(\theta) L(y, f_{\theta}(x)), \quad (1.5)$$

де θ – параметри моделі, які налаштовуються під час навчання.

1.2.3. Нейронні мережі

Нейронні мережі – це одна з найбільш передових технологій штучного інтелекту, яка імітує роботу людського мозку для обробки інформації та навчання. Ці моделі складаються з численних взаємозалежних нейронів, які працюють спільно для вирішення складних завдань.

Нейронні мережі (рис. 1.3) є потужним інструментом, який забезпечує високу точність та ефективність у вирішенні складних завдань у різних сферах діяльності, відкриваючи нові можливості для інновацій та розвитку штучного інтелекту.

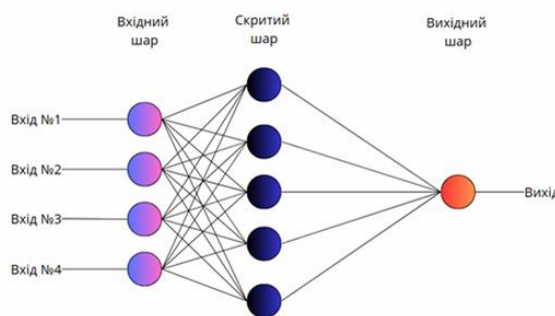


Рисунок 1.3 – Приклад шарів нейронної мережі [3]

На рисунку 1.3 зображено шари нейронної мережі, з яких складається сам алгоритм. Процес навчання нейронних мереж полягає у налаштуванні ваг і зміщень шляхом мінімізації функції втрат, що вимірює різницю між передбаченими та реальними значеннями. Використовується метод

зворотного розповсюдження помилки (backpropagation), який обчислює градієнт функції втрат і оновлює ваги, застосовуючи метод градієнтного спуску.

1.2.4. Багатоагентні системи

Багатоагентні системи представляють собою комплексні системи, у яких декілька автономних агентів взаємодіють один з одним і з навколишнім середовищем. Як показано на рисунку 1.4, кожен агент у системі є самостійною одиницею, здатною сприймати середовище, обробляти отриману інформацію та приймати рішення на основі своїх знань і цілей.



Рисунок 1.4 – Приклад багатоагентної системи [4]

Математично, взаємодія агентів у багатоагентній системі (рис. 1.4) може бути описана за допомогою теорії ігор, де кожен агент має свою стратегію S_i і функцію виграшу U_i , яка залежить від стратегій інших агентів:

$$U_i(S_1, S_2, \dots, S_n) = f(S_1, S_2, \dots, S_n). \quad (1.7)$$

Завдання агентів полягає у максимізації своєї функції виграшу шляхом вибору оптимальних стратегій та координації з іншими агентами. Це дозволяє досягати глобальних оптимумів у вирішенні комплексних завдань.

1.2.5. Системи обробки природної мови (NLP)

Системи обробки природної мови (NLP), алгоритм якої зображено на рисунку 1.5, є важливою складовою штучного інтелекту, що забезпечують можливість комп'ютерам розуміти, інтерпретувати і генерувати людську мову.

Системи NLP поєднують різні підходи, включаючи лінгвістичні правила, статистичні методи і машинне навчання. Основні етапи обробки природної мови включають:

- морфологічний аналіз: включає аналіз і розпізнавання слів у тексті, включаючи форми слів та їх морфологічні властивості (відмінювання, відміни тощо);
- синтаксичний аналіз: визначає граматичну структуру речень, включаючи виявлення частин мови, синтаксичних зв'язків і залежностей між словами;
- семантичний аналіз: спрямований на розуміння значення слів і речень, включаючи визначення контекстуального значення та наміру користувача;
- прагматичний аналіз: враховує контекст, у якому використовується мова, і інтерпретує намір користувача, ґрунтуючись на знаннях про ситуацію та світ [5].

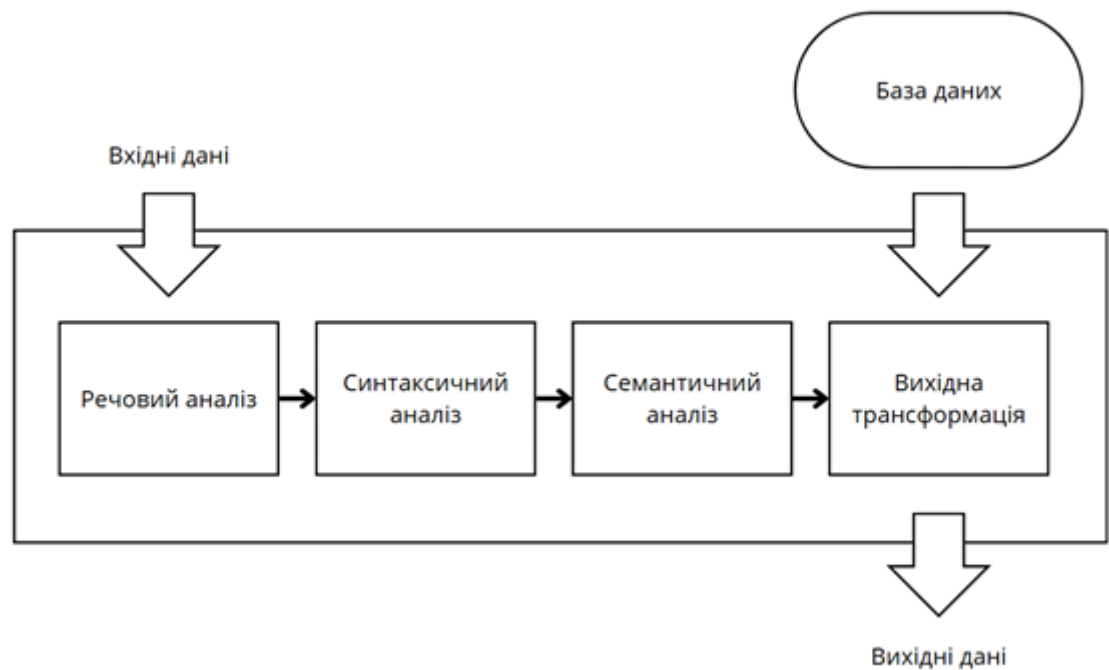


Рисунок 1.5 – Приклад алгоритму системи NLP

Однією з основних моделей є мовна модель, яка вивчає ймовірності послідовностей слів. Наприклад, модель n-грам аналізує ймовірності слів на основі їхнього контексту. Ймовірність наступного слова в реченні можна розрахувати як:

$$P(w_n / w_{n-1}, w_{n-2}, \dots, w_1) = C(w_{n-1}, w_n) / C(w_{n-1}), \quad (1.8)$$

де C – кількість появ відповідних слів у корпусі текстів.

Для синтаксичного аналізу використовуються дерева синтаксичного розбору, які представляють граматичну структуру речення. Наприклад, дерево залежностей ілюструє відношення між словами, де вузли представляють слова, а ребра – граматичні зв'язки.

У семантичному аналізі застосовуються дистрибутивні семантичні моделі, що використовують векторні представлення слів (embeddings). Векторне представлення слова w у вигляді вектора $\vec{w}$ дозволяє обчислювати семантичну схожість між словами за допомогою косинусної схожості.

Такі моделі, як рекурентні нейронні мережі (RNN) та трансформери, використовують механізми обробки послідовностей. RNN використовують стан h_t , який оновлюється на кожному кроці:

$$h_t = f(W_h h_{t-1} + W_x x_t + b), \quad (1.9)$$

де W_h та W_x – ваги;

x_t – вхідний сигнал;

b – зміщення;

f – активаційна функція.

Трансформери використовують механізм уваги (attention), що дозволяє моделі враховувати всі попередні слова в реченні:

$$Attention(Q, K, V) = softmax(QK^T dk)V, \quad (1.10)$$

де Q – запити;

K – ключі;

V – значення;

dk – розмірність ключів.

1.2.6. Глибинне навчання

Алгоритми навігації відповідають за здатність роботизованих платформ орієнтуватися в просторі, планувати свій шлях та уникати перешкод під час руху. Ці алгоритми об'єднують інформацію з сенсорів (лідарів, камер, радарів) для створення карти середовища та розрахунку оптимального маршруту.

Глибинне навчання, алгоритм якого зображено на рисунку 1.6, допомагає роботам навігувати у складних середовищах. За допомогою алгоритмів глибинного навчання, роботи можуть створювати карти навколишнього простору, планувати маршрути та уникати перешкод, що особливо корисно для мобільних роботів, дронів та автономних транспортних

засобів. Крім того, глибинне навчання дозволяє роботам маніпулювати об'єктами, що є критичним для виробничих процесів.

Ці застосування демонструють важливість глибинного навчання у робототехніці, відкриваючи можливості для розвитку інтелектуальних систем і автоматизації.



Рисунок 1.6 – Приклад глибинного навчання

Математично процес глибинного навчання можна описати через функцію $f(x; \theta)$, де x – вхідні дані, а θ – параметри моделі (ваги та зміщення нейронів). Мета навчання моделі полягає у мінімізації функції втрат $L(y, y^\wedge)$, що вимірює різницю між передбаченими значеннями $y^\wedge$ і реальними значеннями y :

$$\text{Min}_{\theta} L(y, f_{\theta}(x)). \quad (1.11)$$

Використовується метод градієнтного спуску для оновлення параметрів моделі, що дозволяє поступово зменшувати значення функції втрат:

$$\theta = \theta - \eta \nabla_{\theta} L(y, f_{\theta}(x)), \quad (1.12)$$

де η – швидкість навчання;

$\nabla_{\theta} L$ – градієнт функції втрат по параметрах моделі.

1.2.7. Розпізнавання образів

Розпізнавання образів, алгоритм якого зображено на рисунку 1.7, є важливою складовою в області штучного інтелекту, зокрема у глибокому навчанні та робототехніці. Ця технологія дозволяє системам автоматично ідентифікувати і класифікувати об'єкти в зображеннях або відео. Завдяки розпізнаванню образів роботи можуть "бачити" і розуміти навколишній світ, що значно розширює їхні можливості та сфери застосування.

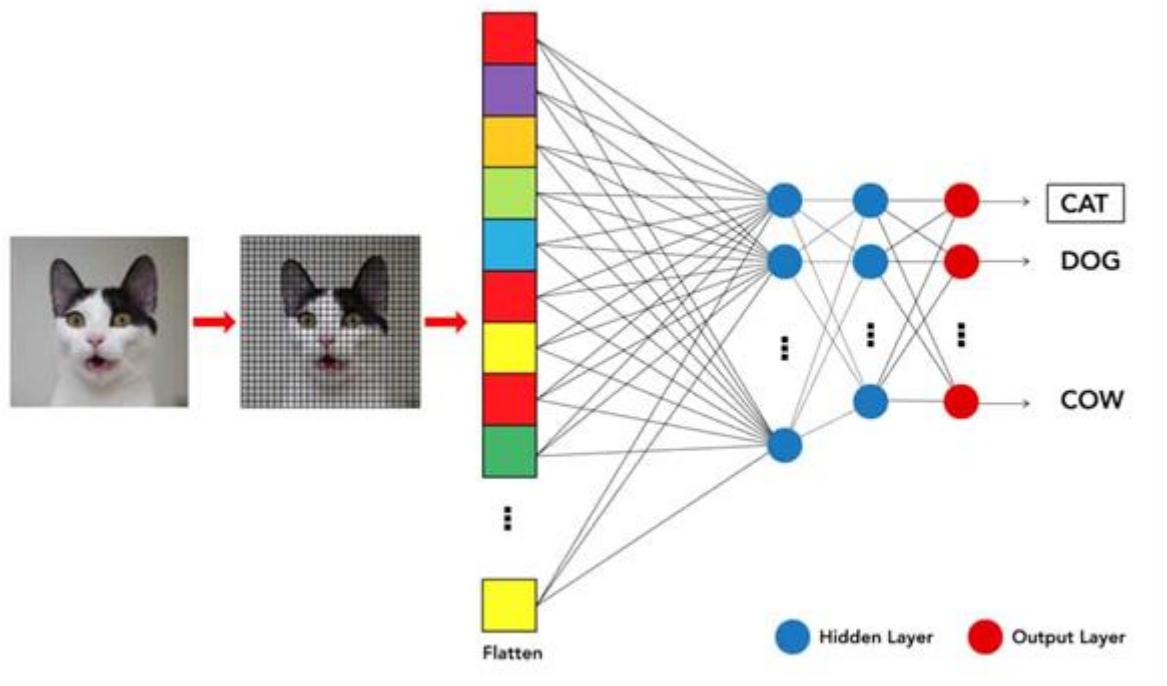


Рисунок 1.7 – Приклад алгоритму розпізнавання образів [6]

Математично, згорткова нейронна мережа (CNN) складається з кількох шарів згортки (convolutional layers), де кожен шар застосовує фільтри для виявлення локальних патернів у зображенні. Згортка для кожного пікселя (i,j) можна описати так:

$$f_{ij} = M \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N w_{mn} x_{(i+m-1)(j+n-1)}, \quad (1.13)$$

де f_{ij} – результат згортки;

w_{mn} – ваги фільтра, x – вхідне зображення;

M і N – розміри фільтра.

Підвибірка (pooling), як правило, максимальна або середня, зменшує розмір просторового представлення і видаляє непотрібні деталі, зберігаючи найважливішу інформацію. Формула для максимального підвибірки виглядає так:

$$p_{ij} = \max_{(m,n) \in W} f_{(i+m)(j+n)}, \quad (1.14)$$

де p_{ij} – результат підвибірки;

W – розмір вікна підвибірки.

1.2.8. Підсилювальне навчання

Підсилювальне навчання (Reinforcement Learning, RL) є важливою галуззю машинного навчання, що дозволяє агентам навчатися оптимальної поведінки через взаємодію з середовищем. Основна концепція підсилювального навчання полягає в тому, що агент отримує винагороду або покарання залежно від своїх дій, що стимулює його до виконання правильних дій для максимізації загальної винагороди.

У підсилювальному навчанні агент діє у середовищі, здійснюючи дії та отримуючи зворотний зв'язок у вигляді винагороди. Процес можна описати за допомогою Марковського процесу прийняття рішень (MDP), який включає

чотири основні компоненти: стани (S), дії (A), функцію винагороди (R) та функцію переходів (P).

Також підсилювальне навчання, зображене на рисунку 1.8, застосовується у задачах командної роботи, де кілька роботів мають співпрацювати для досягнення спільної мети. Наприклад, роботи у складі рятувальних команд можуть координувати свої дії для ефективного пошуку та порятунку постраждалих у зонах стихійного лиха.

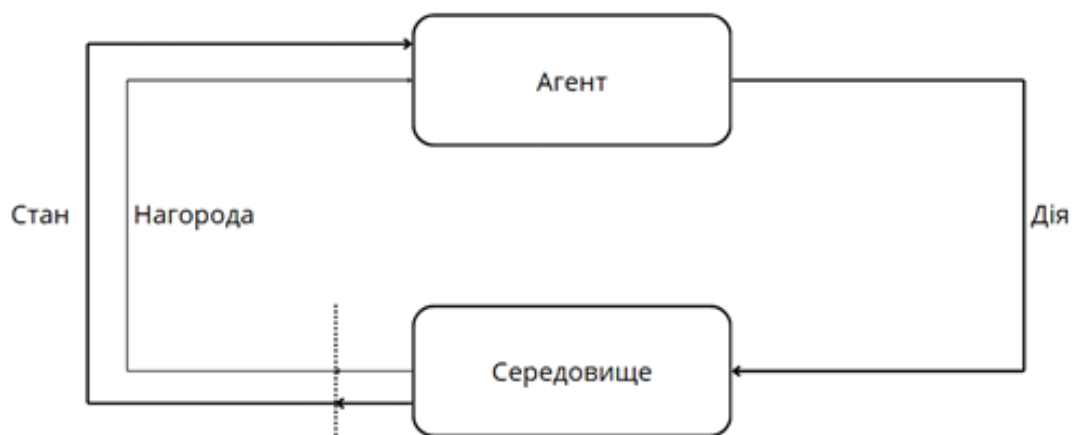


Рисунок 1.8 – Схема підсилювального навчання

Метою агента є визначення оптимальної політики (π), яка максимізує очікувану зведену винагороду. Політика — це правило, за яким агент вибирає дії на основі поточного стану. Формально, завдання агента можна виразити як максимізацію функції вартості (V):

$$V_{\pi}(s) = E[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R(s_t, a_t) | s_0 = s, \pi], \quad (1.15)$$

де γ — коефіцієнт дисконтування, що визначає важливість майбутніх винагород.

Одним із ключових алгоритмів підсилювального навчання є Q -навчання. Він дозволяє агенту оцінювати вартість дій у кожному стані, використовуючи Q -функцію:

$$Q(s,a)=E[R(s,a)+\gamma \max_{a'} Q(s',a') \mid s,a]. \quad (1.16)$$

1.3 Аналіз моделей та алгоритмів автоматизації ШІ роботизованих систем

В моделях і алгоритмах автоматизації ШІ роботизованих систем можна виділити основні переваги і недоліки. Зробимо порівняльний аналіз характеристик цих моделей.

Щодо основних характеристик експертних систем відноситься:

- простота реалізації: використовують правила, створені експертами;
- застосування: добре підходять для вузькоспеціалізованих задач;
- обмеження: не здатні адаптуватися до нових ситуацій без ручного оновлення правил.

Для Машинного навчання (ML) можна виділити такі основні характеристики:

- навчання на даних: моделі вчаться на великих обсягах даних;
- гнучкість: можуть адаптуватися до змін у даних;
- обмеження: потребують великої кількості даних для ефективного навчання та налаштування параметрів.

Нейронні мережі мають такі характеристики:

- нехарактеристичність: здатні моделювати складні нелінійні взаємозв'язки;
- застосування: ефективні для розпізнавання образів, обробки мови;
- обмеження: висока вимогливість до обчислювальних ресурсів, складність в інтерпретації.

Багатоагентні системи мають такі переваги та недоліки:

- децентралізація: агенти працюють автономно, взаємодіючи один з одним;
- гнучкість: можуть координувати дії для досягнення спільної мети;
- обмеження: складність у розробці координаційних протоколів і алгоритмів взаємодії.

Глибинне навчання (DL) має такі основні характеристики:

- висока точність: здатні досягати високих результатів у складних задачах;
- застосування: обробка зображень, мови, прогнозування;
- обмеження: потреба у великих обсягах даних та обчислювальних ресурсах, складність у налаштуванні гіперпараметрів.

Проведемо порівняння за адаптивністю:

- глибинне навчання та багатоагентні системи демонструють високу адаптивність завдяки здатності навчатися на даних та взаємодіяти з іншими агентами;
- експертні системи мають низьку адаптивність, оскільки базуються на фіксованих правилах.

Проведемо порівняння за точністю:

- глибинне навчання зазвичай показує найвищу точність у задачах розпізнавання образів та обробки мови;
- машинне навчання також демонструє високу точність, але потребує більше зусиль для налаштування моделей.

Порівняння за обчислювальними ресурсами:

- нейронні мережі та глибинне навчання потребують значних обчислювальних ресурсів;
- експертні системи та базові алгоритми машинного навчання менш вимогливі до ресурсів.

Проведемо порівняння за інтерпритованністю:

- експертні системи та деякі моделі машинного навчання легше інтерпретувати;
- глибинне навчання та нейронні мережі є складнішими для інтерпретації.

1.4. Завдання до кваліфікаційної магістерської роботи

Одже, виходячи з аналізу предметної області було вирішено, що завданнями до моєї роботи будуть такі задачі:

- створення роботизованої платформи мобільного роботу на основі літаючих роботів;
- розробка алгоритму моделі штучного інтелекту для генерації даних, потрібних для покращення навігації мобільного роботу;
- розробка алгоритму обробки даних, отриманих з моделі ШІ для покращення управління мобільного роботу шляхом автоматизації завдань;
- інтеграція програмного забезпечення алгоритмів керування мобільним роботом у обладнання та програмну структуру самого робота.

У результаті виконання цих завдань буде отримано роботизовану платформу, здатну покращити управління навігацію мобільного робота та значно підвищити ефективність роботи мобільної роботизованої платформи.

1.5 Висновки до розділу

Як висновок, технологічні перспективи та можливості розвитку робототехніки та штучного інтелекту дають можливість створити цей проєкт за допомогою доступних для споживачів компонентів, таких як First Person View (FPV) дрон, який є мобільним літаючим роботом, а також багатого вибору бортових персональних комп'ютерів (ПК), який буде здатний виконувати алгоритм автоматизації за допомогою штучного інтелекту.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА СКЛАДНИКІВ ЛІТАЮЧИХ РОБОТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

2.1 Обґрунтування та вибір конструкції FPV дрона

FPV дрон – це високотехнологічний апарат, який складається з кількох ключових компонентів, кожен з яких грає важливу роль у його функціонуванні. Основою для всіх інших частин є рама, яка зазвичай виготовляється з міцних і легких матеріалів, таких як карбон. Вона забезпечує структурну підтримку і розподілення ваги всіх компонентів.

Мотори, які кріпляться до рами, генерують тягу, дозволяючи дрону злітати і маневрувати у повітрі. Щоб контролювати швидкість і обертання моторів, використовуються регулятори швидкості (ESC), які перетворюють електричні сигнали з пульта керування у керуючі команди для моторів.

Політний контролер є центральним процесором дрона, який обробляє дані з різних сенсорів, таких як гіроскопи та акселерометри, щоб підтримувати стабільний політ. Він також приймає команди з пульта керування і коригує роботу ESC та моторів відповідно.

FPV камера, встановлена на передній частині дрона, передає відео в реальному часі на окуляри або екран пілота через відеопередавач (VTX). Антени забезпечують стабільну передачу відеосигналу та керуючих команд між дроном і пультом керування.

Для живлення всіх компонентів використовуються акумулятори, зазвичай літій-полімерні (LiPo), які забезпечують високу енергоємність і легкість. Пропелери, прикріплені до моторів, генерують підйомну силу і забезпечують маневреність дрона у польоті [7].

Конструкція дрона, зображена на рисунку 2.1, також включає додаткові сенсори, такі як барометри і GPS, які допомагають політному контролеру

визначати висоту і місцезнаходження дрона. FPV окуляри або дисплей використовуються пілотом для отримання зображення з камери дрона, дозволяючи керувати апаратом з перспективи першої особи.

Таким чином, кожен компонент FPV дрона працює разом, щоб забезпечити стабільний і контрольований політ, зберігаючи при цьому легкість і маневреність конструкції.

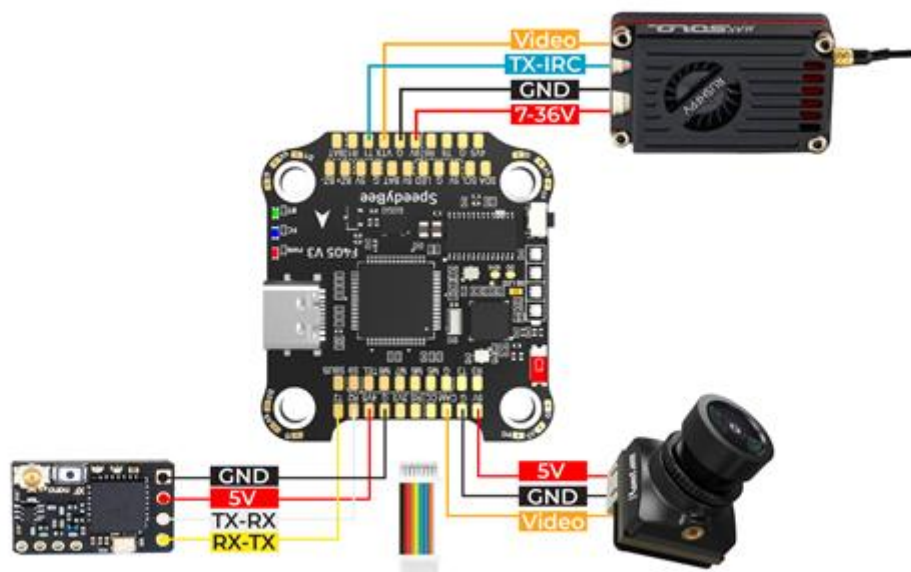


Рисунок 2.1 – Схема розпайки компонентів FPV дрона [8]

2.2 Порівняльний аналіз компонентів FPV дронів

FPV дрон складається з декількох ключових компонентів, що забезпечують його функціональність. Найважливішими з них є рама, яка виступає основою для кріплення інших частин, мотори, що забезпечують тягу для зльоту та польоту, і контролер з регуляторами, які уразом контролюють усі процеси польоту. Вибір цих компонентів напряду впливає на характеристики дрона, тому їх порівняння є важливим для створення найкращої платформи для автоматизації.

Рами для FPV дронів можуть бути різноманітних типів, залежно від їх призначення та характеристик. Зглянемо основні види рам:

- Рама True-X , яка зображена на рисунку 2.2, має однакову відстань між моторними стійками по всім чотирьом напрямкам, утворюючи форму хреста. Ця рама є відмінною у стабільності та маневреності, підходить для фристайлу та гонок, однак може бути важчою, ніж інші типи рам.

- Конструкція рами Stretch-X особлива тим, що передні та задні мотори розташовані трохи далі один від одного в порівнянні з боковими моторами. Така конструкція забезпечує покращену стабільність при високих швидкостях, підходить для гонок, але може бути менш маневреною на малих швидкостях.

- Рама Hybrid-X це комбінація True-X та Stretch-X. Відстань між передніми та задніми моторами більша, ніж між боковими. Ця рама поєднує у собі маневреність True-X та стабільність Stretch-X, але може бути складнішою у налаштуванні.

- Рами H-Frame побудовані у формі літери "Н", де центральна частина розширена. Це надає великий простір для встановлення компонентів, зручно для зйомок та налаштувань. Однак, ц цей же час рама менш маневрена, та має більшу вагу.

- Рами Deadcat мають конструкцію, де передні мотори розташовані ширше, ніж задні, утворюючи асиметричну форму. Це сприяє мінімізації видимості пропелерів у кадрі при зйомці, підходить для кінозйомок. Особливість рами також створює менш симетричний політ, а також складність у налаштуванні PID.

- Рами Toothpick є надлегкими рамами з невеликими пропелерами, зазвичай 2-3 дюйми. Це надає відмінну маневреність, підходить для кімнатних польотів та новачків, але також сприяє обмеженій вантажопідйомності, та меншій стабільності при вітрі.

- Рама Cinewhoop має захист для пропелерів, який забезпечує безпеку та зменшують шум. Дрони з таким типом рами також безпечні для

польотів у приміщенні, стабільні для зйомок. Нажаль вони також менш маневрені та швидкі у порівнянні з іншими типами рам.

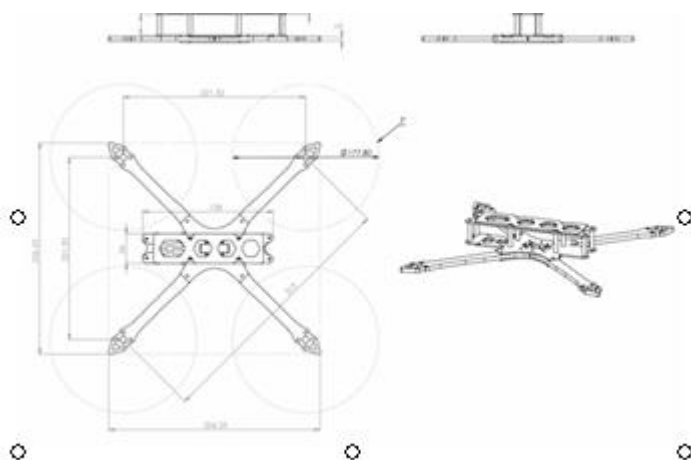


Рисунок 2.2 – Схема рами True-X FPV дрона [9]

Мотори є одним з найважливіших компонентів дрона. Кожен тип мотора має свої унікальні характеристики, що підходять для різних стилів польоту та завдань. Розглянемо декілька типів моторів:

- Безщіткові мотори (Brushless Motors)), схема яких зображена на рисунку 2.3, мають високу ефективність та потужність. Вони також є довговічними та потребують меншого обслуговування. Прозводять менше шуму під час роботи. К недолікам можна віднести вищу вартість у порівнянні з щітковими моторами та складність у встановленні та налаштуванні.

- Щіткові мотори (Brushed Motors) є доступними та мають низька вартість. Простота в експлуатації та налаштуванні. Менша ефективність і потужність. Потребують частого обслуговування через зношення щіток. Менший термін служби.

- Тип моторів Outrunner має високий показник потужності до ваги, а також хорошу стабільність при високих обертах. Нажаль вони також можуть бути складними в налаштуванні, та мають більші розміри порівняно з іншими типами.

- Inrunner мотори мають компактний дизайн та високу ефективність при високих обертах, і меншу потужність у порівнянні з outrunner моторами. Також мають меншу стабільність при низьких обертах.
- Герметичні мотори (Gear Motors) мають підвищений крутний момент завдяки редуктору. Компактний дизайн, зручний для інтеграції. До недоліків можна віднести більшу складність і вага через наявність редуктора. Можуть вимагати більше обслуговування.
- Coreless мотори мають меншу вагу та габарити, висока швидкість обертання. З недоліків мають меншу довговічність. Можуть бути менш ефективними при високих навантаженнях.

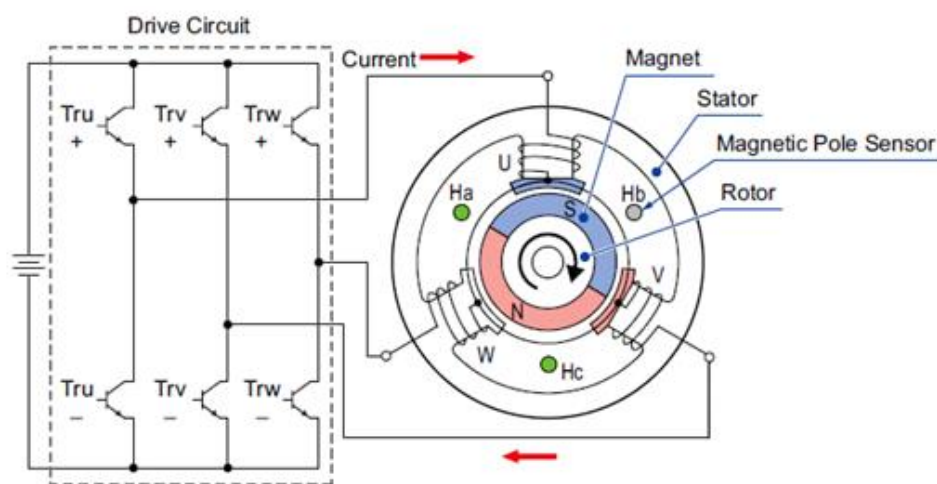


Fig. 2.8 Simplified Model of a Brushless Motor

Рисунок 2.3 – Схема безщіткового мотору [10]

Регулятори моторів, приклад якого представлений на рисунку 2.4, відповідають за транслявання команд з контролера до моторів. Розглянемо декілька варіантів:

- Single ESC є окремим ESC для кожного мотора дозволяє гнучкість у налаштуванні та заміні. Вони також можуть бути дешевшими в разі

необхідності заміни одного з них. Більше проводів і з'єднань можуть ускладнювати налаштування та обслуговування.

- 4-in-1 ESC має усі чотири ESC об'єднані в одному пристрої, що зменшує кількість проводів і спрощує налаштування, зменшується вага і площа, яку займають ESC. До недоліків можна віднести важливість збою, адже якщо один з ESC виходить з ладу, часто доводиться замінювати весь модуль, що може вивести з ладу усі мотори разом.

- BLHeli Firmware ESC має популярне програмне забезпечення для ESC, що забезпечує високу стабільність та ефективність роботи. Підтримує широке налаштування параметрів, але може бути складним у налаштуванні для новачків.

- BLHeli_S Firmware ESC це оновлена версія BLHeli з покращеною продуктивністю і додатковими функціями. Забезпечує більш плавну роботу моторів, але вимагає досвіду для налаштування та інтеграції.

- BLHeli_32 Firmware ESC це найновіша версія з підтримкою 32-бітних процесорів та розширених функцій, таких як ESC Telemetry. Висока продуктивність і ефективність, але найдорожчий з типів ESC, вимагає досвіду для повного використання його можливостей.

- KISS Firmware ESC є простим у використанні і налаштуванні, з високою стабільністю. Підходить для пілотів, які хочуть мінімум налаштувань, що є також і недоліком, адже має менше можливостей налаштування у порівнянні з BLHeli_32.

- OneShot, MultiShot та DShot Protocols це різні комунікаційні протоколи між політним контролером і ESC. DShot є найновішим і найнадійнішим з них, забезпечуючи точнішу і швидшу передачу команд. Вони вимагають сумісності між політним контролером та ESC.

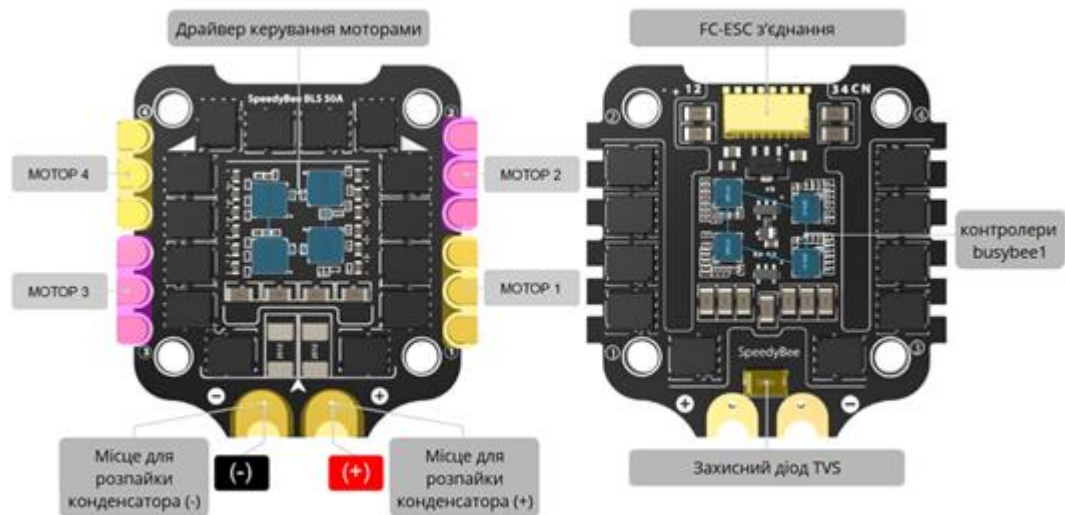


Рисунок 2.4 – Схема регулятора моторів [11]

2.3 Побудова FPV дрону для використання в цілях автоматизації

Для реалізації цієї роботи було побудовану платформу на основі FPV дрону для подільшої реалізації автоматизації за допомогою ШІ. Для платформи з ціллю автоматизації не потрібна маневреність та швидкість, що значно спрощує вимоги до конструкції дрона. Таким чином, можна не зважати на велику вагу компонентів, а також на їх розмір або енергоспоживання. У світі цього було обрано контролер SpeedyBee F405 mini controller та ESC на базі протоколу DShot 600 за їх доступність та гнучкість у адаптації під зовнішні модифікації, такі як зовнішній бортовий комп'ютер.

Як раму було обрано True-X APEX 3 inch за великий простір для компонентів не зважаючи на 3 inch формат, та сумісність з більшістю компонентів.

Для моторів було зроблено тестування багатьох моделей формату безщіткових моторів, результати якого зображені на рисунку 2.5, які найкраще підходять для роботи з важкою платформою.

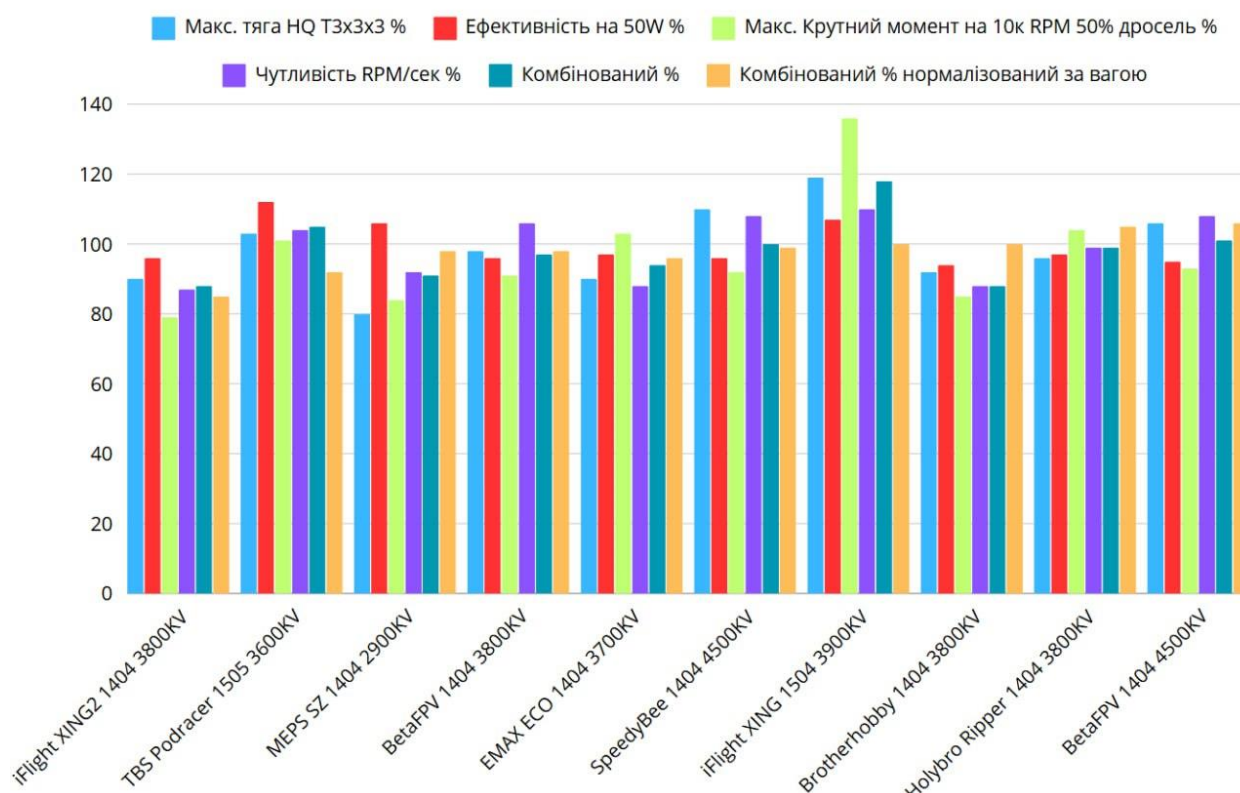


Рисунок 2.5 – Порівняння різних характеристик моторів

Вибір моделі моторів мав критерії максимальної тяги, ефективності на 50 В, максимального крутного моменту на 10к обертів у хвилину, чутливості у секундах, а також комбінованого результату усіх параметрів нормалізованого та не нормалізованого за вагою. Для вибору моделі вага не була ключовою характеристикою, тому було обрано модель iFlight XING 1504 3900 кіловольт за її крутний момент та загальні характеристики, які не зважаючи на вагу були набагато вищі за конкурентів.

Також були обрані інші компоненти, які не є важливими факторами для автоматизації, тому їх тестування було менш детальним. Для фінальної збірки платформи було обрано камеру Foxeer Predator 5, відеоприймач RUSH SOLO TANK 5.8G VTX, та GPS Foxeer M10Q-120. Також дрон був оснащений пропелерами, антенами та іншими малими компонентами.

Після збірки та первинного налаштування мобільний робот, зображений на рисунку 2.6, є готовим для процесу автоматизації.



Рисунок 2.6 – FPV дрон зібраний та використаний у цьому проєкті

2.4 Висновки до розділу

У результаті виконаної роботи було отримано роботизовану платформу мобільного робота, зібрану на основі обґрунтувань вибору доступних складників та проведено роботу по збиранню самої платформи.

3 ІНТЕГРАЦІЯ ОБРАНОГО ОБЛАДНАННЯ В КОНСТРУКЦІЮ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ

3.1 Обґрунтування вибору бортового комп'ютеру

В рамках технічних характеристик бортових комп'ютерів для використання в FPV-дронах було розглянуто різні платформи, зокрема Sipeed MaixCam (K210), Raspberry Pi, Nvidia Jetson, BeagleBone Black, Intel NUC та спеціалізовані бортові контролери, такі як CubePilot Cube Orange. Нижче представлено оновлений аналіз кожної платформи з точки зору їх функціональних можливостей, продуктивності та придатності до використання у інтеграції з FPV-дронами.

Raspberry Pi (моделі 4B, 5, Zero 2W).

Raspberry Pi, схема якої зображена на рисунку 3.1 – це серія одноплатних комп'ютерів, розроблена для широкого спектра завдань. Завдяки своїй популярності платформа має потужну спільноту розробників і підтримку програмного забезпечення. Новіша модель Raspberry Pi 5 також має обчислювальний прискорювач Nailo, за допомогою якого можна значно покращити швидкість роботи моделі. Всі моделі Raspberry Pi мають процесори на базі ARM Cortex, а також до 8 ГБ оперативної пам'яті та GPIO для підключення додаткової периферії або інтерфейсу з контроллером дрона.

Переваги: Висока обчислювальна потужність, великий набір функціоналу, підтримка Linux, GPIO, підтримка розробки на мові Python.

Недоліки: Високе енергоспоживання, великий розмір (особливо з модулем Nailo), великий функціонал Linux може завадити оптимізації роботи моделі та пайплайну.

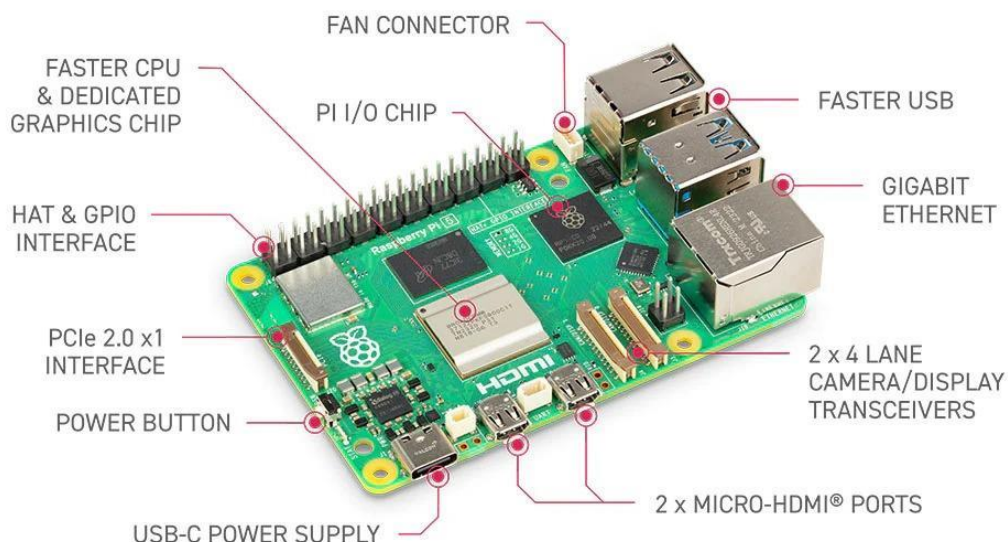


Рисунок 3.1 – Схема плати Raspberry Pi 5 [12]

Nvidia Jetson Nano / Jetson Xavier NX.

Серія Nvidia Jetson, схема якої зображена на рисунку 3.2, спеціалізується на високопродуктивних обчисленнях із використанням алгоритмів штучного інтелекту (AI). Платформа ідеально підходить для задач комп'ютерного зору та глибокого навчання. Платформа Jetson має інтегрований графічний процесор Nvidia з підтримкою CUDA, та вбудовану підтримку камер, що дає можливість досягти високої продуктивності у даній задачі. Nvidia Jetson постачається з JetPak SDK, який є спеціально налаштованою операційною системою для використання у інференсі моделей.

Переваги: Висока потужність, підтримка 4K камер, оптимізована оперативна система, CUDA.

Недоліки: Висока вага (навіть у порівнянні з RPI з модулем Hailo), висока вартість, нижча наукова цінність (через вже існуючі проєкти).

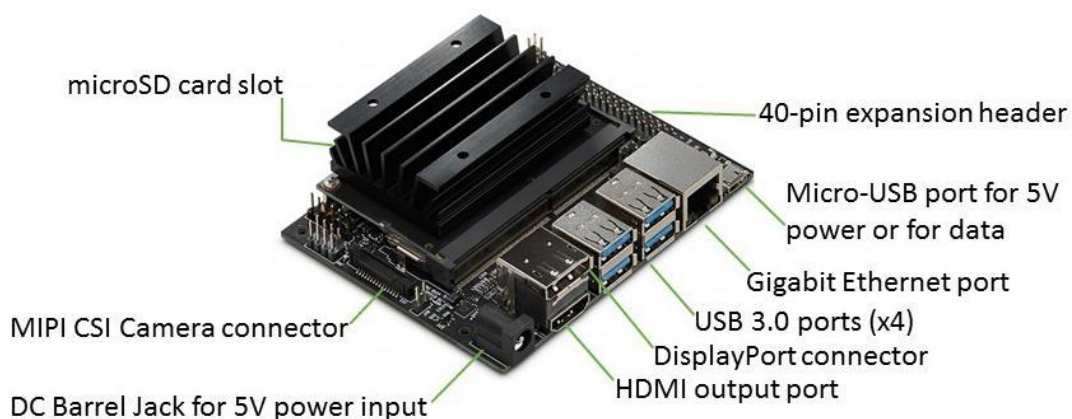


Рисунок 3.2 – Схема платформи Nvidia Jetson [12]

BeagleBone Black.

Недорога одноплатна платформа з акцентом на роботу в реальному часі та низьке енергоспоживання. BeagleBone, зображений на рисунку 3.3, постачається з процесором ARM Cortex-A8 та PRU (Programmable Real-time Unit) для задач у реальному часі. Вона відома своєю стабільністю та багатством інтерфейсів, таких як GPIO.

Переваги: Низьке енергоспоживання, підтримка реального часу через PRU, велика кількість GPIO для підключення додаткових компонентів.

Недоліки: Низька потужність, базова операційна система.

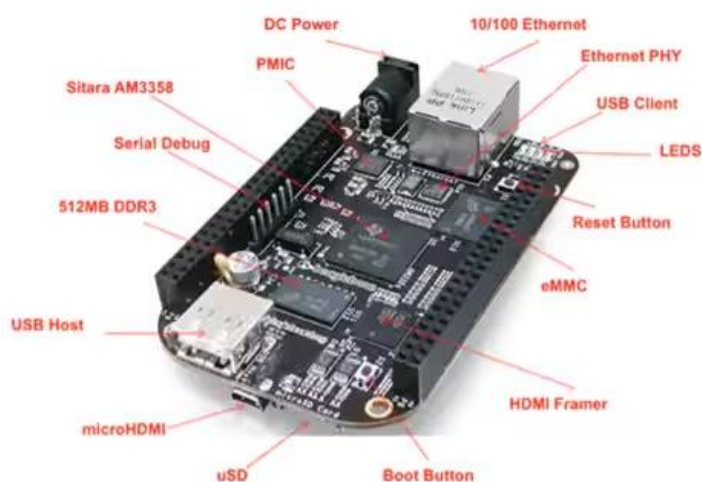


Рисунок 3.3 – Схема платформи BeagleBone [12]

Intel NUC Compute Stick.

Мініатюрний ПК із повною підтримкою x86-архітектури. Intel NUC Compute Stick, зображений на рисунку 3.4, має процесор Intel Atom або Intel Core i3/i5 та 8 ГБ оперативної пам'яті. Його основна перевага – універсальність і сумісність із десктопними операційними системами.

Переваги: Повна підтримка x86-архітектури, висока обчислювальна потужність, можливість запуску десктопних операційних систем (Windows, Linux).

Недоліки: Висока ціна, великі розміри і вага, підвищене енергоспоживання, закритий дизайн заважає інтеграції.

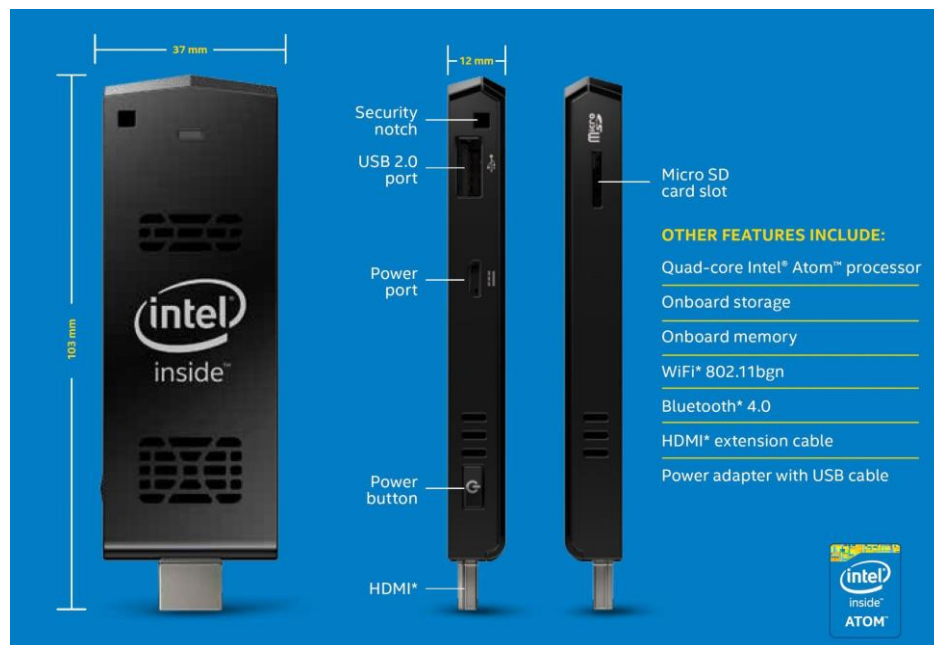


Рисунок 3.4 – Схема рами Intel Compute Stick [12]

CubePilot Cube Orange.

Модульний контролер, оптимізований для роботи на дронах. Він забезпечує стабільну та безпечну роботу навіть у складних умовах. CubePilot Cube Orange, схема якого зображена на 3.5, має інтеграцію з автопілотами ArduPilot і PX4, підтримка різноманітних датчиків (GPS, IMU, барометри) та велику кількість можливостей інференсу моделі.

Переваги: Оптимізована для дронів (низьке енергоспоживання, інтеграція з іншими компонентами), підтримка програмного забезпечення для автопілотів (ArduPilot, PX4), стабільність і надійність у реальному часі.

Недоліки: Висока ціна для преміальних моделей, Менше можливостей для кастомізації порівняно з самостійними ПК, потребує будувати дрон навколо платформи.

Connector Assignments

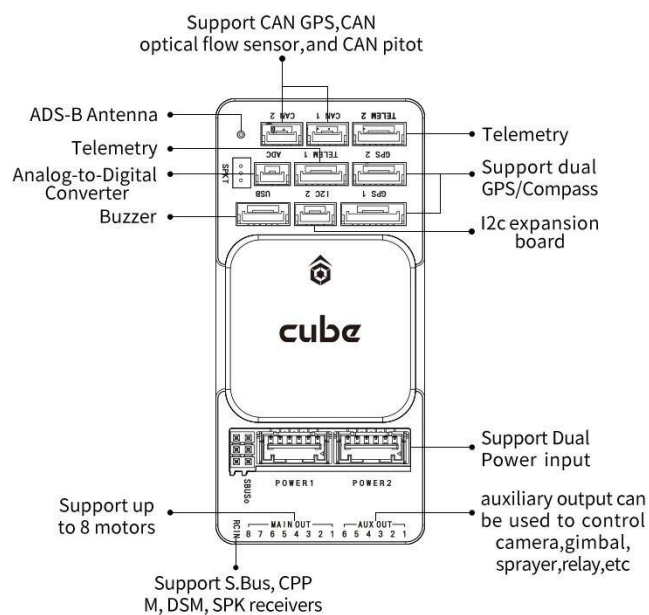


Рисунок 3.5 – Схема платформи Cube Orange [12]

Sipeed MaixCam (K210).

Портативний ПК, зображений на рисунку 3.6, з вбудованими камерою та прискорювачем. Sipeed MaixCam побудований на базі чіпа Kendryte K210, який оптимізований для задач штучного інтелекту та обробки відео. Це надзвичайно компактний і енергоефективний пристрій.

Переваги: Компактний розмір і легка вага, вбудовані AI-можливості, низьке енергоспоживання, інтегрована камера, ціна.

Недоліки: Обмежена потужність, власний пакет для розробки MaixPy.

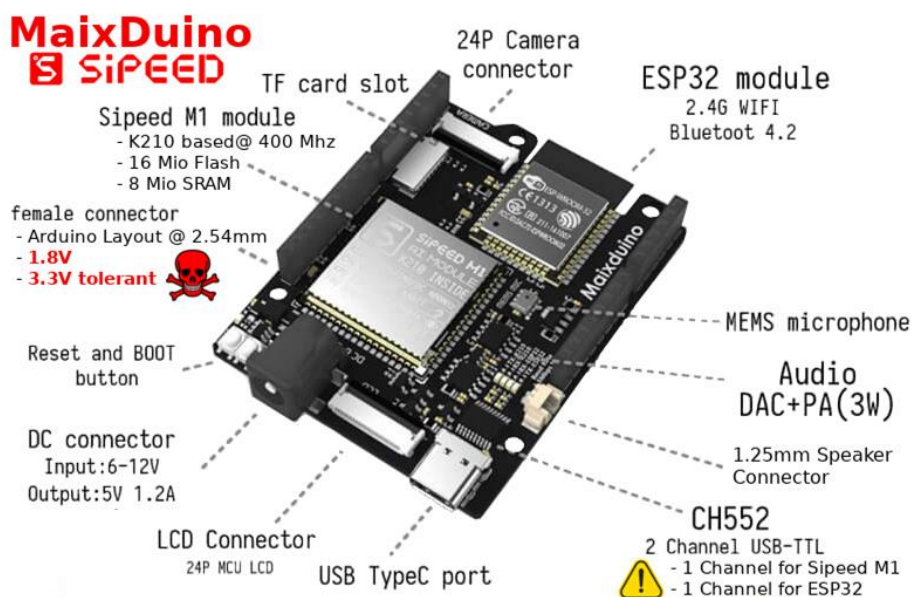


Рисунок 3.6 – Схема платформи MaixCam [12]

Зважаючи на даний аналіз платформ для інференсу моделі, для цього проєкту було обрано портативний ПК Sipeeno MaixCam. Дана платформа є оптимальним вибором для інтеграції в FPV-дрони завдяки поєднанню енергоефективності, компактності та інтегрованих AI-можливостей. Його низьке енергоспоживання, що не перевищує 300 мВт, дозволяє зменшити витрати енергії, що особливо важливо для забезпечення тривалого польоту дронів з обмеженими ресурсами живлення. Компактні габарити пристрою сприяють легкій інтеграції в мікродрони, де кожен грам ваги впливає на аеродинаміку та маневреність.

Однією з ключових переваг MaixCam є наявність вбудованого нейронного процесора Kendryte K210, який забезпечує ефективну обробку алгоритмів штучного інтелекту в реальному часі, зокрема розпізнавання об'єктів і класифікацію зображень. Це дозволяє реалізувати автономну навігацію та аналіз відеоданих без необхідності використання зовнішніх обчислювальних ресурсів. Інтегрована камера спрощує налаштування та

виключає потребу в додаткових периферійних пристроях, що знижує загальну складність системи.

Платформа також вирізняється своєю економічністю, забезпечуючи високий рівень функціональності за помірну ціну, що робить її доступною для проєктів із обмеженим бюджетом. Завдяки цим характеристикам MaixCam підходить для розробки автономних FPV-дронів, які потребують базової обробки даних і виконання завдань у реальному часі, особливо в умовах, де важлива мінімізація маси та споживання енергії.

3.2 Характеристики обраного бортового комп'ютера

MaixCam є сучасною мікропроцесорною платформою, яка поєднує високий рівень інтеграції апаратних компонентів із вузькою спеціалізацією на виконанні задач штучного інтелекту (AI). Основою пристрою є процесор Kendryte K210, побудований на архітектурі RISC-V, що забезпечує енергоефективність та високу продуктивність при виконанні операцій із використанням нейронних мереж. Kendryte K210 має інтегрований модуль KPU (Kendryte Processing Unit), який підтримує прискорення обчислень для згорткових нейронних мереж, зокрема алгоритмів розпізнавання образів, класифікації та обробки потокових відеоданих.

Однією з визначальних характеристик платформи є її компактні габарити, що дозволяють використовувати MaixCam у системах з обмеженим простором, наприклад, у FPV-дронах, автономних сенсорах або портативних пристроях. При цьому пристрій демонструє надзвичайно низьке енергоспоживання, яке не перевищує 300 мВт, що є критичним для застосувань, орієнтованих на роботу в умовах обмеженого енергетичного ресурсу.

Вбудована камера, інтегрована в конструкцію MaixCam, забезпечує можливості збору та первинної обробки зображень без необхідності підключення зовнішніх периферійних модулів. Це суттєво спрощує

конструкцію та зменшує загальні витрати на реалізацію проєктів. Камера підтримує передачу відеопотоку з низькою затримкою, що забезпечує актуальність її використання у системах комп'ютерного зору, таких як розпізнавання об'єктів у реальному часі або навігація FPV-дронів.

Платформа MaixCam оснащена комплексною системою інтерфейсів, які забезпечують інтеграцію з різними периферійними пристроями, модулями зв'язку та сенсорами. Ці інтерфейси побудовані на основі стандартів промислової електроніки, що робить платформу універсальною для багатьох застосувань, включаючи автономні системи, FPV-дрони, робототехніку та IoT-рішення [13].

Однією з основних функцій інтерфейсної системи, зображеної на рисунку 3.7, є підтримка цифрових протоколів зв'язку, зокрема UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), який забезпечує простий двонаправлений обмін даними з низькою затримкою. UART підходить для інтеграції з модулями бездротового зв'язку, GPS-приймачами або іншими мікроконтролерами.

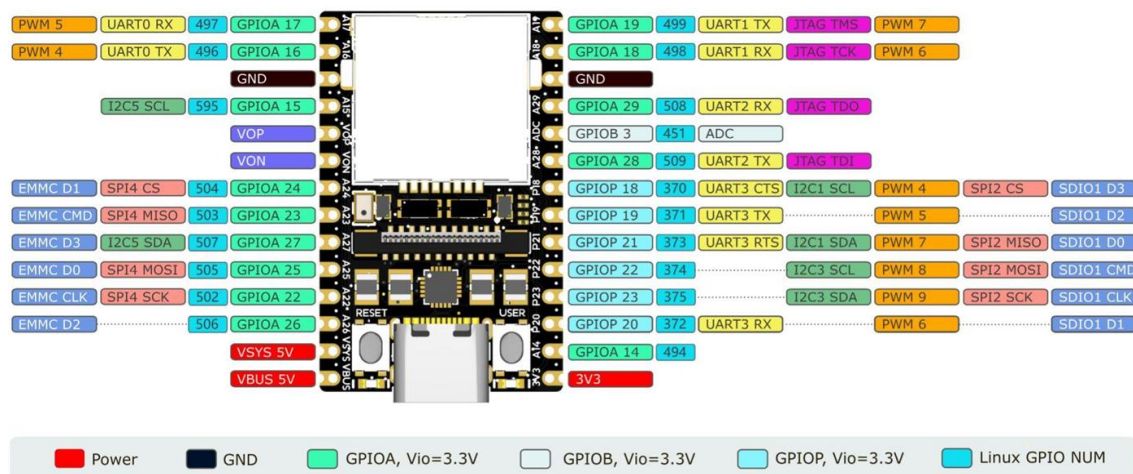


Рисунок 3.7 – Схема систем інтерфейсів MaixCam [13]

SPI (Serial Peripheral Interface) є ще одним критично важливим інтерфейсом, доступним на MaixCam. Цей протокол забезпечує швидкісну передачу даних між головним процесором і периферійними пристроями, такими як енергоефективні дисплеї, флеш-пам'ять або високопродуктивні датчики. Завдяки високій швидкості передачі SPI ідеально підходить для задач, які потребують великої пропускної здатності.

Підтримка I²C (Inter-Integrated Circuit) дозволяє платформі підключати численні сенсори та модулі, що працюють із низькими швидкостями передачі даних. Цей протокол ідеально підходить для зчитування інформації з датчиків температури, вологості, тиску або акселерометрів. Завдяки підтримці багатопристроєвого підключення, I²C дозволяє створювати мережі сенсорів з мінімальною кількістю проводів.

Крім того, MaixCam оснащено GPIO (General Purpose Input/Output), які можуть бути налаштовані для роботи як цифрових входів або виходів. Ці порти забезпечують пряме підключення до користувацьких пристроїв, дозволяючи інтегрувати плату в специфічні електронні системи, такі як дрони та інші роботизовані платформи.

Інтеграція USB-інтерфейсу забезпечує можливість прямого підключення платформи до комп'ютера для завантаження прошивки, налагодження або передачі даних. Це значно спрощує процес розробки та тестування програмного забезпечення.

Завдяки комплексній системі інтерфейсів, MaixCam може бути використана у широкому спектрі прикладних задач, включаючи високоточне управління роботами, інтеграцію численних сенсорів для аналізу навколишнього середовища, створення систем автономної навігації для дронів або реалізацію IoT-пристроїв. Синхронна робота інтерфейсів дозволяє забезпечити високу швидкість обміну даними та точну координацію всіх компонентів системи, що робить MaixCam перспективною платформою для наукових та інженерних досліджень [14].

Приклади застосування MaixCam охоплюють широкий спектр завдань, включаючи автоматизацію, створення автономних роботизованих систем і реалізацію IoT-проектів. У FPV-дронах MaixCam може бути використаний для виконання задач комп'ютерного зору, таких як розпізнавання об'єктів на місцевості або контроль траєкторії польоту. У галузі безпеки платформа може виконувати функції моніторингу та ідентифікації об'єктів у потоковому відео.

MaixPy дозволяє розробникам виконувати широкий спектр завдань у межах обмежених апаратних ресурсів. Однією з ключових функцій є підтримка інференсу моделей машинного навчання, таких як згорткові нейронні мережі (CNN), оптимізовані для Kendryte KPU. Завдяки цьому можливо здійснювати розпізнавання об'єктів, класифікацію зображень, аналіз відеопотоків у реальному часі та інші AI-завдання.

MaixPy також забезпечує доступ до периферійних інтерфейсів платформи, таких як GPIO, UART, SPI, I²C, та підтримує роботу з датчиками і виконавчими механізмами. Підтримка бібліотек для роботи з камерами, дисплеями, мікрофонами та іншими пристроями розширює можливості застосування платформи.

Використовувати можливості MaixPy можна за допомогою його IDE. Офіційне інтегроване середовище розробки дозволяє підтримує написання коду, завантаження програм на пристрій і налагодження. Воно забезпечує зручний графічний інтерфейс для швидкого прототипування. IDE дозволяє працювати через USB-з'єднання, яке реалізує UART-комунікацію між комп'ютером та MaixCam.

Приклад основних команд для інтерфейсу з MaixCam.

Робота з файловою системою:

- `uos.listdir()` – відображає список файлів у поточній директорії;
- `uos.mkdir('directory_name')` – створює нову папку;
- `uos.remove('file_name')` – видаляє файл.

Керування GPIO:

- `from machine import Pin` – імпортує модуль для роботи з GPIO;

- `pin = Pin(12, Pin.OUT)` – налаштовує GPIO 12 як вихід;
- `pin.value(1)` – встановлює високий сигнал.

Використання KPU (інференс):

- `from kpu import KPU` – імпортує модуль для роботи з моделями;
- `task = KPU.load('/sd/model.kmodel')` – завантажує модель для інференсу;
- `result = KPU.run(task, img)` – виконує інференс над вхідним зображенням.

Робота з камерою:

- `import sensor` – імпортує модуль для роботи з камерою;
- `sensor.reset()` – ініціалізує камеру;
- `img = sensor.snapshot()` – отримує кадр із камери.

Підключення до Wi-Fi:

- `from network import WLAN` – імпортує мережевий модуль;
- `wlan = WLAN(mode=WLAN.STA)` – встановлює режим клієнта Wi-Fi;
- `wlan.connect('SSID', 'password')` – підключає пристрій до Wi-Fi мережі [15].

3.3 Інтеграція плати до контролеру роботизованої платформи

Інтеграція MaixCam до системи управління FPV дрона є багаторівневим процесом, який охоплює як апаратну, так і програмну складову. Цей процес передбачає встановлення фізичного з'єднання між MaixCam та контролером дрона, налаштування каналів зв'язку, а також забезпечення обробки та передачі даних у реальному часі для виконання завдань керування або обробки зображень.

На початковому етапі необхідно визначити, які саме інтерфейси використовуються контролером дрона для зв'язку. Для цього було використано UART інтерфейси обох платформ. MaixCam підтримує UART

через універсальні GPIO-піни, які можуть бути налаштовані за допомогою програмної оболонки MaixPy.

Фізичне підключення передбачає з'єднання виводів TX (передача) та RX (приймом) між MaixCam та контролером дрона (рис. 3.8). Для цього слід дотримуватись логічної відповідності: передавальний сигнал одного пристрою підключається до приймального сигналу іншого. Крім цього, важливо забезпечити спільний контур заземлення (GND). Напруга сигналів MaixCam становить 3,3 В, тому у випадку, якщо контролер дрона працює на іншій напрузі, необхідно використовувати перетворювач рівнів сигналу.

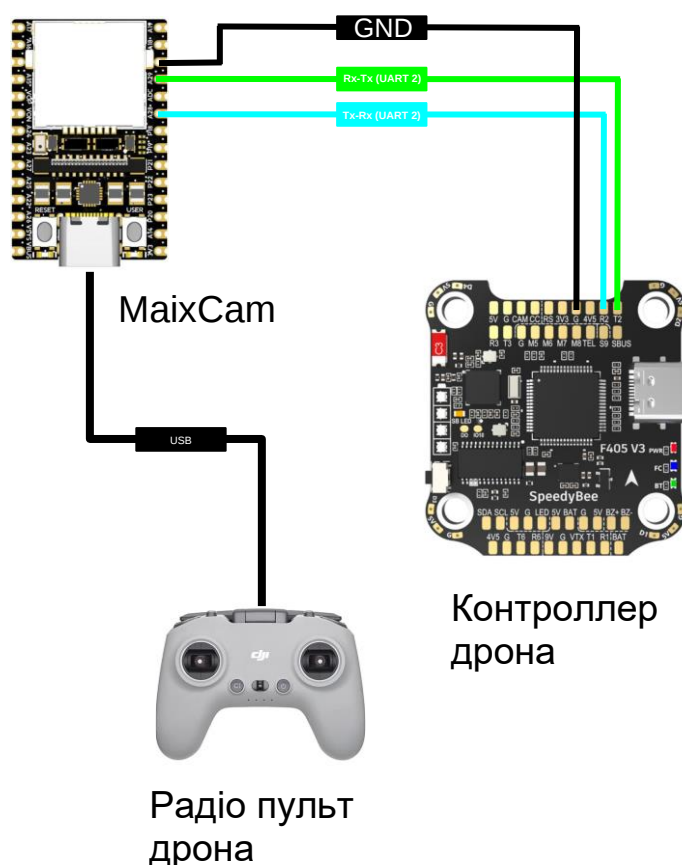


Рисунок 3.8 – Розпіновка з'єднання MaixCam та контроллера дрона

Після встановлення апаратного з'єднання наступним кроком є конфігурація програмного забезпечення. На MaixCam потрібно налаштувати UART-порт для обміну даними. Це виконується шляхом визначення відповідних GPIO-пінів для функцій TX і RX, а також встановлення

параметрів зв'язку, таких як швидкість передачі даних (baudrate), кількість біт даних, парність і стоп-біти. Контролер дрона також має бути налаштований для взаємодії через той самий UART-порт з такими самими параметрами зв'язку.

Програмна інтеграція MaixCam до контролера FPV дрона може передбачати виконання завдань збору телеметрії, управління польотом або обробки відео з подальшою передачею результатів до інших модулів системи. Наприклад, MaixCam може бути налаштований для виконання інференсу нейронних мереж у реальному часі з використанням модуля KPU для аналізу зображень із камери дрона. Результати аналізу, такі як виявлення об'єктів або оцінка траєкторій, передаються до контролера дрона через UART для виконання відповідних команд.

Для перевірки коректності інтеграції обмін даними між MaixCam і контролером було протестовано. Цей процес включає надсилання тестових команд через UART та аналіз їхньої обробки контролером дрона. У випадку даного проєкта бортовий ПК буде вдавати з себе радіомодуль, тому достатньо лише перевірити, що контролер дрона реагує на пакети у BetaFlight .

3.4 Висновки до розділу

У результаті було обрано модель бортового ПК MaixCam, вибір якої було обґрунтовано на її характеристиках потужності, ваги та інтерфейсів підключення та розробки. Цей бортовий ПК є платформою для розробки алгоритмів руху та навігації, а також обчислювання інференсу моделі.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИН АВТОМАТИЗАЦІЇ РУХУ ДРОНА

Програмне рішення управління дроном з MaixCam складається з декількох етапів:

- зчитування пакетів з пульта управління під'єданого до MaixCam за допомогою USB;
- конвертація пакетів з пульта управління у формат `ch00=992, ch01=992 ... ch15=992` і його подальшої модифікації за допомогою результатів моделі;
- конвертація пакету у формат `[sync] 0x18 0x16 [channel00:11] [channel01:11] ... [channel15:11] [crc8]`, де `crc8` це контрольна сума пакету;
- відправка пакету до контролера дрона через UART;
- тренування моделі для розпізнавання цільових об'єктів;
- обгортка моделі для зчитування інформації про розпізнаванні об'єкти;
- модифікація пакету управління за допомогою даних з моделі.

Комплекс з цих програм зчитує пакет, який буде розцінюватися контролером дрона як сигнал з пульта управління, але буде модифікований за допомогою інформації, отриманої з моделі.

4.1 Зчитування пакетів з пульта управління

Для зчитування пакетів з пульта управління було з'єднано MaixCam та пульт управління через USB провідне підключення. MaixCam підтримує з'єднання через USB, і буде використовуватися як послідовний порт (UART) через USB який можна перевірити через `/dev/ttyUSB0`.

Сама програма була розроблена на Python та використовує PySerial для зчитування сигналів. Ініціалізація роботи із UART-портом передбачає його

налаштування на відповідний інтерфейс, через який здійснюється підключення MaixCam до комп'ютера за допомогою USB.

Зчитування даних із UART-порту реалізується у функціональному модулі, який постійно моніторить наявність нових даних, використовуючи метод `in_waiting`. У разі виявлення вхідних даних вони зчитуються та передаються до функції обробки. Подальша обробка здійснюється за допомогою окремого програмного блоку, який виконує декодування отриманих пакетів. На цьому етапі проводиться аналіз структури вхідних даних, їх перевірка на валідність та виконання відповідних дій, наприклад, обробка команд, що надходять із пульта дистанційного управління.

Циклічний алгоритм основної програми передбачає безперервне зчитування даних із порту з додаванням часової затримки у 10 мс між ітераціями. Це забезпечує оптимальне використання ресурсів центрального процесора та підвищує загальну ефективність системи. Для початкового тестування системи необхідно підключити MaixCam до персонального комп'ютера, ідентифікувати активний порт підключення за допомогою команд оболонки Linux або засобів «Device Manager» у Windows, після чого виконати запуск програмного забезпечення. У результаті програмний модуль розпочне зчитування даних, що надходять із пульта керування.

Для подальшого вдосконалення системи можливо інтегрувати алгоритми обробки специфічних протоколів, таких як CRSF. Це дозволить виконувати декодування структури протоколу, виділяти окремі канали передачі сигналів та інші важливі параметри, що містяться у пакетах даних. Таким чином, розроблене рішення забезпечує зчитування, аналіз та обробку інформації, яка передається через MaixCam, та дозволяє інтегрувати систему із пультом дистанційного управління дрона (рис. 4.1).

Рисунок 4.1 – Зчитування пакетів CRSF

4.2 Конвертація пакету у формат значень каналів

Отримані пакети з пульта управління було конвертовано у їх значення каналів, що дає змогу подальшої модифікації. Для цього також було написано програму Python яка описувала функцію конвертації для подальшого використання у головній програмі.

Функція обчислення CRC8 використовується для генерації контрольної суми, що враховує всі байти пакета, за винятком синхронізаційних байтів і типу пакета. Її завдання полягає у забезпеченні цілісності даних шляхом перевірки їхньої відповідності заданому алгоритму.

Механізм перетворення значення каналу у вигляді двох байтів реалізується у функції, яка приймає числове значення каналу, що може містити до 11 біт. У результаті першій частині відповідають старші 8 біт значення, тоді як молодші 3 біти поміщаються до іншого байта із застосуванням зміщення на п'ять позицій. Цей підхід забезпечує компактне кодування інформації про канал у двох байтах.

Процес формування пакета CRSF реалізується у функції, що включає всі необхідні компоненти для його структури. В пакет додаються синхронізаційні байти (0xA5, 0x5A), тип ідентифікатора пакета (0x18 і 0x16 відповідно), а

також інформація про 16 каналів, кожен із яких закодовано у вигляді двох байтів. Завершальним етапом є обчислення контрольної суми CRC8, яка забезпечує цілісність пакета.

У головній частині програми відбувається визначення значень каналів, що в даному прикладі встановлені на рівень 992. Після цього викликається функція формування пакета, а отриманий результат виводиться у шістнадцятковому форматі. Такий підхід забезпечує надійне створення і передачу даних через протокол CRSF.

4.3 Конвертація пакету назад у формат CRSF

Для того, щоб контролер дрону міг прочитати пакет з MaixCam як пакет даних з пульта управління, треба конвертувати його назад у формат CRSF. Слід звернути увагу, що контролер дрона буде сприймати пакети з неправильною контрольною сумою як биті пакети, тож обов'язково необхідно підсумувати контрольну суму при конвертації назад.

Функція, що реалізує алгоритм CRC8, базується на стандартному поліномі $0x07$ і забезпечує обчислення контрольної суми для пакета даних. Її основним завданням є забезпечення перевірки цілісності даних, що передаються. Для підтвердження коректності інформації функція перевірки CRC8 порівнює контрольну суму, отриману з пакета, із розрахованим значенням, що дозволяє виявляти помилки при передачі.

Процес перетворення двох байтів у значення каналу реалізується шляхом декодування 11-бітового значення. При цьому старші 8 біт кодування містяться в першому байті, тоді як молодші 3 біт вичленяються з другого байта із врахуванням відповідного зміщення. Такий підхід забезпечує збереження структури каналних даних у компактному вигляді.

Парсинг CRSF-пакета виконується шляхом аналізу його структури, що включає ідентифікацію синхронізаційних байтів, типу та ідентифікатора пакета, а також декодування інформації про канали. Завершальним етапом

аналізу є перевірка контрольної суми CRC8, яка підтверджує цілісність отриманого пакета. Ця методологія забезпечує надійне декодування та верифікацію даних, переданих за допомогою протоколу CRSF.

4.4 Відправка CRSF пакета до контролера дрона

Модифікований пакет даних тепер може бути відправлений до контролера дрона через фізичне з'єднання.

Обчислення контрольної суми CRC8 виконується за допомогою функції `calculate_crc8`, яка забезпечує верифікацію цілісності переданих даних шляхом обчислення контрольної суми пакета. Формування пакета здійснюється за допомогою функції `create_crsf_packet`, яка генерує структуру CRSF-пакета.

Цей пакет включає синхронізаційні байти, тип пакета, ідентифікаційний номер, значення каналів і обчислену контрольну суму. Основний алгоритм реалізується у функції `main`, яка виконує ініціалізацію з'єднання через інтерфейс UART, формує дані для 16 каналів і забезпечує їхню періодичну передачу до контролера в циклічному режимі.

4.5 Тренування моделі штучного інтелекту для розпізнавання об'єктів

Тренування моделі для розпізнавання об'єктів є однією з найважливіших частин проекту авжеж саме це дає можливість робити рішення з управління дрона. Для середи симульованого польоту було обрано два об'єкти розпізнавання як цілі наведення для дрону. Для цього було проведено тестовий політ у симульованому середовищі і записано відео яке містить кадри об'єктів розпізнавання. Усього було зібрано 1200 зображень які містять цільові об'єкти, і використано онлайн сервіс CVAT для помічення зображень розміткою для розпізнавання.

Розмітка в CVAT починається зі створення проєкту або задачі, де визначаються загальні параметри, включаючи назву та опис. Після цього

завантажуються зображення чи відео, які потрібно анотувати. Завантажені дані можуть бути додані безпосередньо через веб-інтерфейс або шляхом інтеграції з хмарними сховищами. Інструмент дозволяє обирати різні типи розмітки, такі як межові рамки, полігони, ключові точки, полігональні лінії або маски сегментації, що дозволяє адаптуватися до специфічних вимог задачі.

Процес анотації полягає у виділенні об'єктів на зображенні з використанням відповідних інструментів розмітки, а також у присвоєнні їм певних міток і атрибутів, які відповідають класам або властивостям об'єктів (рис. 4.2). Інструмент підтримує перевірку якості анотацій для забезпечення їхньої точності та коректності.



Рисунок 4.2 – Розмітка зображення у середі CVAT

Готовий датасет дозволяє перейти до тренування самої моделі. Спочатку здійснюється експорт даних із CVAT у формат YOLO, що є сумісним із бібліотекою Ultralytics. Цей формат передбачає текстові файли з координатами межових рамок для кожного об'єкта на зображенні, а також відповідний список класів. Отриманий датасет розділяється на три частини: навчальний,

валідаційний та тестовий набори, кожен з яких організовується у визначеній структурі папок для забезпечення коректності подальшого процесу навчання.

Далі виконується підготовка до навчання моделі. У середовищі Python, де встановлено бібліотеку Ultralytics, створюється конфігураційний файл, що задає всі необхідні параметри. Цей файл включає шляхи до наборів даних, розмір вхідного зображення, кількість класів і гіперпараметри моделі, такі як швидкість навчання та кількість епох. Залежно від задачі може бути використана як порожня модель, так і модель із попередньо навченими вагами, що дозволяє скоротити час навчання.

Процес тренування запускається за допомогою API бібліотеки Ultralytics. У ході навчання модель оптимізується відповідно до метрик якості, таких як середня точність (mAP), що дозволяє контролювати її ефективність. Для валідації результатів використовується окремий набір даних, на якому перевіряється, як модель працює на невідомих зображеннях. Завдяки гнучкості бібліотеки Ultralytics можливе також автоматичне збереження проміжних ваг моделі, що може бути корисним для подальшого донавчання або відновлення прогресу.

Після завершення навчання модель експортується у формат ONNX для подальшого використання у виробничих середовищах або додатках. Експорт здійснюється шляхом виклику відповідної функції бібліотеки, яка автоматично конвертує ваги з PyTorch у формат ONNX. Це забезпечує сумісність моделі з іншими платформами для виконання, такими як TensorRT або OpenVINO, що важливо для оптимізації продуктивності вбудованих систем і реального часу.

Отримана модель (рис. 4.3), натренована у 50 епох, має високу точність та дає можливість використовувати дані з роззнавання цілей для модифікації пакетів управління та керування дроном.

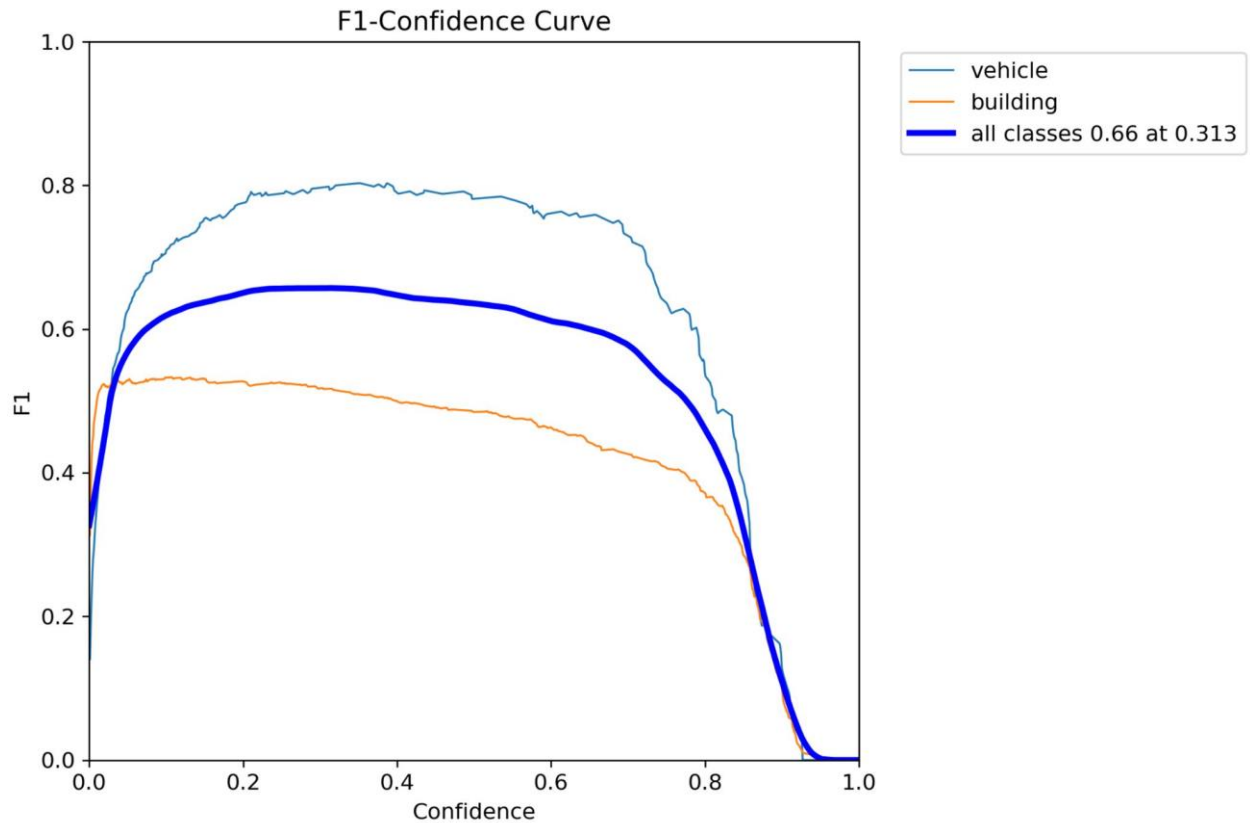


Рисунок 4.3 – Графік впевненості моделі

4.6 Обгортка моделі

Процес витягування даних баундінг боксів із моделі, такої як YOLOv8, передбачає кілька ключових етапів, які забезпечують доступ до координат виявлених об'єктів, їхніх розмірів, класів та рівнів достовірності.

Після виконання інференсу модель генерує результати, які містять інформацію про всі виявлені об'єкти на зображенні. Кожен баундінг бокс представлений у вигляді координат x_{min} , y_{min} , x_{max} , y_{max} , що відповідають лівому верхньому та правому нижньому кутам прямокутника. Ці координати дозволяють обчислити ширину та висоту баундінг боксу, що є важливими характеристиками для подальшого аналізу.

Додатково до координат модель також надає значення достовірності (confidence score), яке вказує на рівень впевненості в тому, що знайдений об'єкт належить до певного класу. Ідентифікація класу відбувається за допомогою індексації, де кожен клас об'єкта представлений числовим значенням.

```
Box 1:  
Label: 0  
Confidence: 0.92  
Coordinates: x_min=34.50, y_min=45.80, x_max=200.30, y_max=400.70  
Width: 165.80, Height: 354.90  
Box 2:  
Label: 1  
Confidence: 0.87  
Coordinates: x_min=250.00, y_min=150.20, x_max=480.60, y_max=350.90  
Width: 230.60, Height: 200.70
```

Рисунок 4.4 – Вивід інформації про баундинг боксів

Для витягування цих даних (рис. 4.4) застосовуються функції та атрибути бібліотеки, такі як `result.bboxes.xyxy`, які повертають координати боксів, `result.bboxes.conf` для рівня достовірності та `result.bboxes.cls` для класів. Ці значення можуть бути оброблені у вигляді ітераційного циклу, що дозволяє систематизувати та зберегти всю необхідну інформацію про виявлені об'єкти.

4.7 Модифікація пакету за допомогою даних моделі

Реалізація алгоритму наведення дрона на центр баундинг боксу потребує модифікації значень каналів задля зміщення положення дрона у повітрі. Важливо враховувати динаміку об'єкта, відстань до нього та специфіку умов середовища, в яких працює дрон.

Першим етапом реалізації є адаптивне регулювання впливу зміщення баундінг боксу на канали yaw і pitch. Це досягається через адаптацію коефіцієнтів масштабування на основі розмірів баундінг боксу, які дозволяють оцінити відстань до об'єкта. Менший розмір боксу свідчить про віддаленість

об'єкта, що потребує зменшення чутливості, тоді як більший розмір боксу вказує на необхідність збільшення чутливості для точного наведення. Формули для розрахунку коефіцієнтів масштабування базуються на співвідношенні між розмірами боксу та кадру:

$$k_x = k_{x_{base}} \cdot (1 - \frac{frame_width}{bbox_width}), k_y = k_{y_{base}} \cdot (1 - \frac{frame_height}{bbox_height}), \quad (1.1)$$

де k_x, k_y – коефіцієнти масштабування.

Наступним етапом є застосування алгоритмів фільтрації та прогнозування для стабілізації траєкторії руху. Використання фільтра Калмана дозволяє зменшити вплив шумів у координатах центра баундінг боксу, забезпечуючи точнішу оцінку його положення. Додатково моделювання руху об'єкта на основі його швидкості або прискорення дає змогу прогнозувати положення у наступних кадрах, що особливо важливо для цілей з високою динамікою.

Для забезпечення плавності руху необхідно обмежити швидкість змін значень каналів yaw і pitch. Це запобігає різким маневрам, які можуть призвести до втрати контролю над дроном. Градієнтне обмеження забезпечує поступове оновлення значень каналів, що сприяє стабільності польоту навіть за умов різких змін положення цілі.

Оптимізація передачі пакетів управління дозволяє ефективніше використовувати пропускну здатність каналу зв'язку. Динамічна частота оновлення пакетів регулюється залежно від швидкості руху об'єкта. Для статичних цілей знижена частота передачі зменшує навантаження на канал, тоді як для швидких об'єктів забезпечується висока частота оновлення. У випадках обмеженої пропускну здатності застосовується компресія даних про зміщення.

Інтеграція алгоритмів машинного навчання додає системі здатність до самонавчання та адаптації. Нейронні мережі дозволяють автоматично

налаштовувати коефіцієнти масштабування залежно від характеру цілі та умов середовища. Розпізнавання сценаріїв, таких як швидкість і напрямок руху об'єкта, забезпечує динамічне коригування алгоритму управління, що покращує його продуктивність у складних ситуаціях.

Загальний алгоритм роботи передбачає зчитування даних баундінг боксу, адаптивну обробку зміщення, стабілізацію координат, розрахунок значень каналів для управління та їхнє передавання до дрона.

4.8 Висновки до розділу

У результаті було отримано систему алгоритмів зчитування сигналів руху пілота, обробки даних за допомогою моделі, а також алгоритму обробки даних для модифікації руху мобільного робота. Ця система виступає основним процесом автоматизації навігації роботизованої платформи.

5 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИЗОВАНИХ ПЛАТФОРМ

Аналіз ефективності роботи проєкту передбачає комплексний підхід до оцінювання її продуктивності, точності та адаптивності в різних сценаріях. Основними аспектами такого аналізу є вимірювання точності позиціонування, динамічної реакції на зміни положення цілі, стабільності польоту, а також ресурсної ефективності системи.

5.1 Аналіз якості моделі

У динаміці втрат і метрик моделі YOLOv8 (рис. 5.1) у процесі тренування спостерігається стабільне зменшення втрат на тренувальних і валідаційних даних, що свідчить про прогрес у навчанні. Втрата, пов'язана з точністю визначення координат баундінг боксів, поступово знижується, що вказує на покращення моделі у визначенні меж об'єктів. Аналогічно, зменшення втрат, пов'язаних із класифікацією та дистрибуцією логітів, відображає вдосконалення в класифікації об'єктів і деталізації меж.

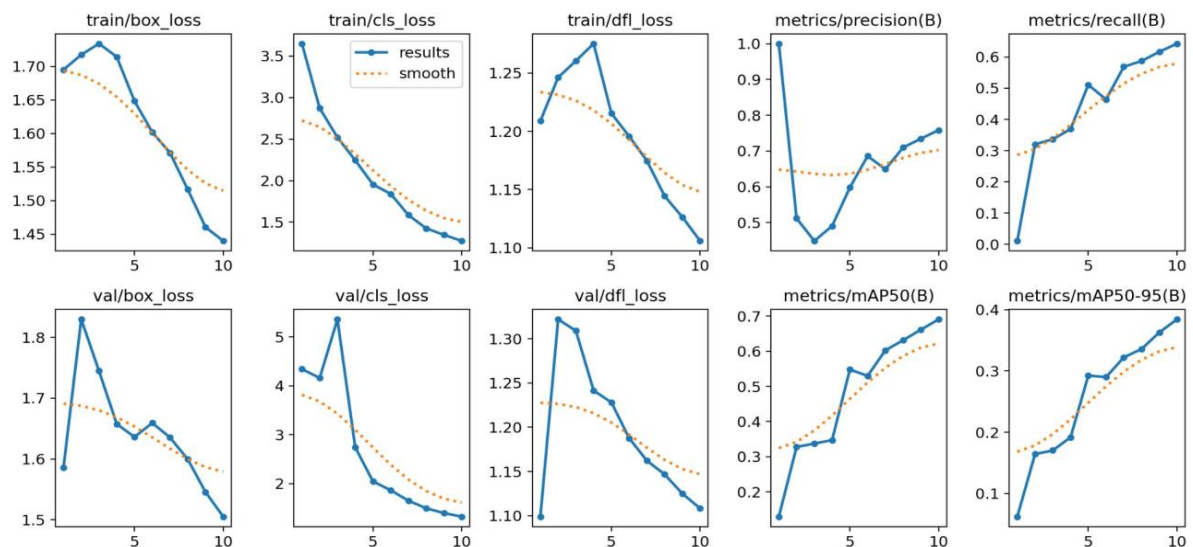


Рисунок 5.1 – Графіки якості моделі

Зростання метрик точності, таких як precision і recall, свідчить про зменшення кількості хибнопозитивних передбачень та покращення здатності виявляти всі об'єкти, присутні у зображенні. Загальні показники точності моделі, представлені через mAP50 і mAP50-95, демонструють стабільне зростання, що вказує на покращення моделі при різних умовах точності збігу.

Такі результати, які можна побачити на рисунку 5.2, свідчать про ефективний процес навчання моделі, що забезпечує хорошу узгодженість між тренувальними і валідаційними даними, без ознак перенавчання.

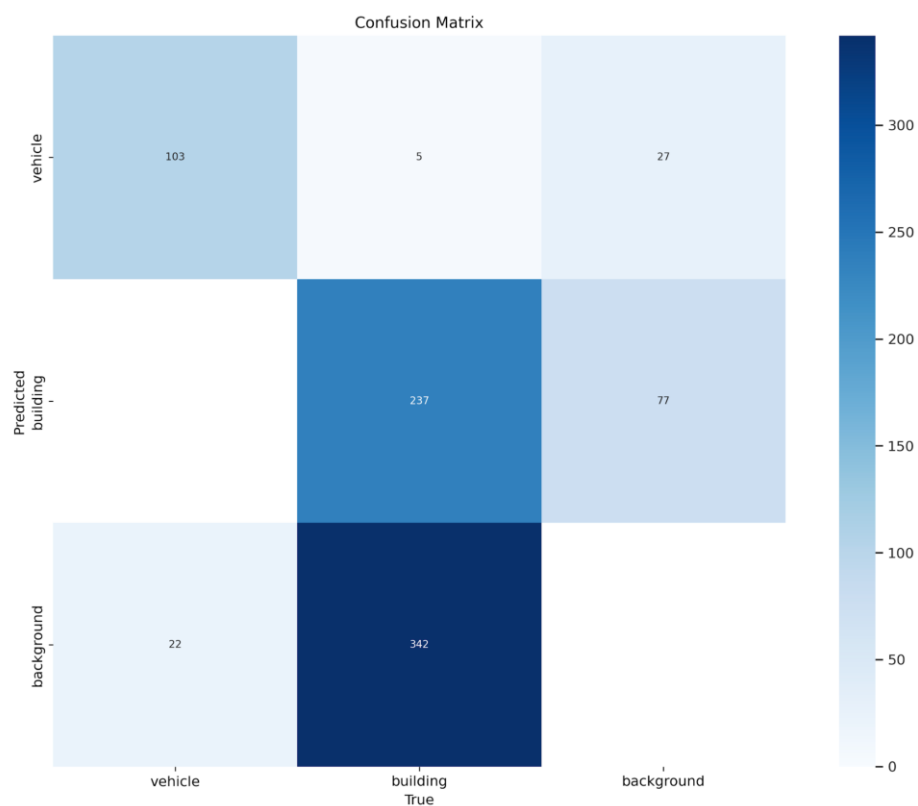


Рисунок 5.2 – Матриця конфузії параметру recall

Процес тренування моделі можна побачити на рисунку 5.3. Після тренування модель продемонструвала показник точності 0,78, а також коефіцієнт впевненості у 0,77. Ці показники дають змогу задовільно точно розпізнавати ключові об'єкти на зображенні. Низький recall є недоліком, але не впливає на результати роботи проекту у середовищі з низькою кількістю об'єктів.

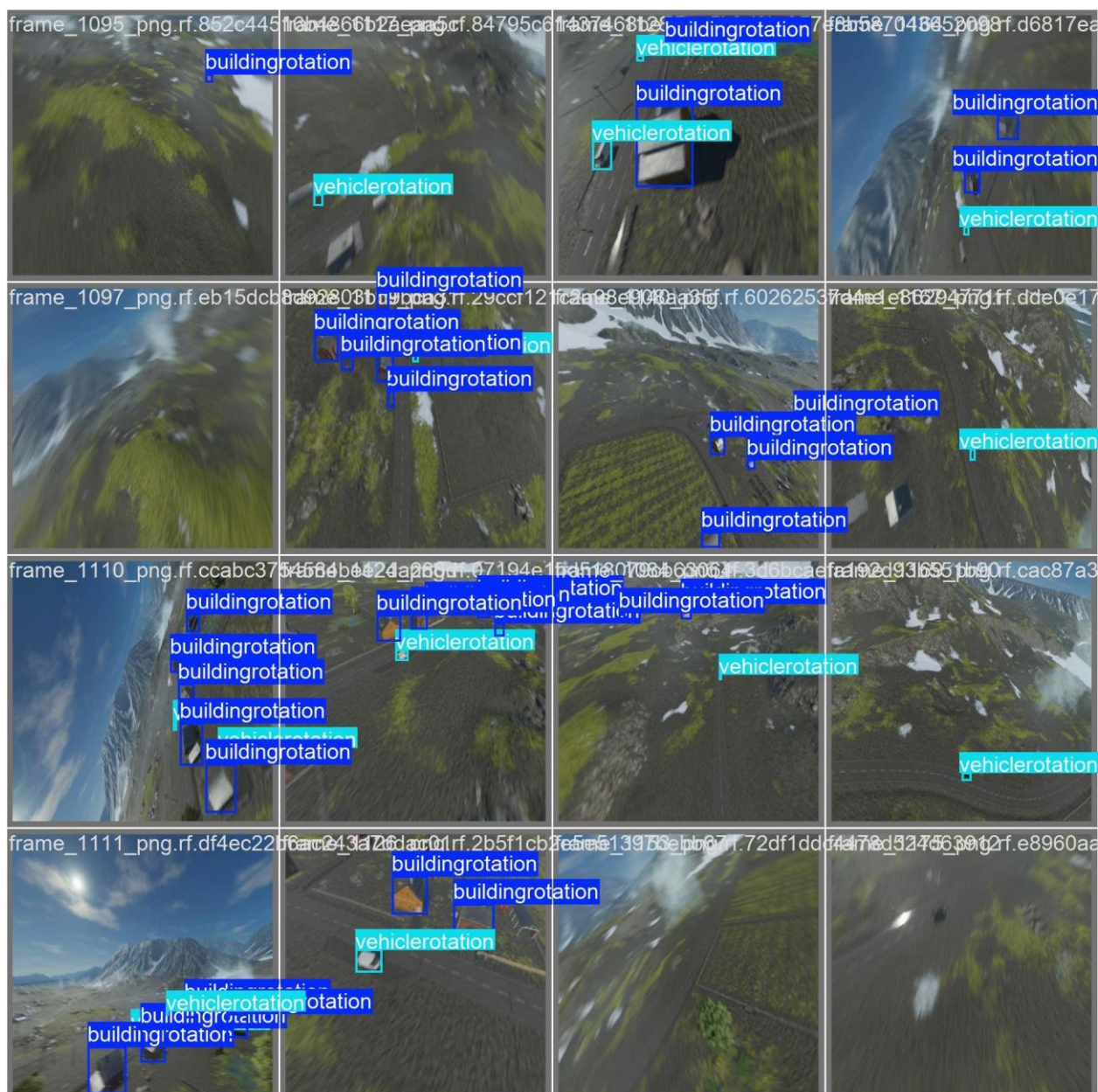


Рисунок 5.3 – Приклади роботи моделі з тренування

5.2 Аналіз конструкції та програмної частини проєкту

Дрон, оснащений бортовим комп'ютером MaixCam і системою наведення на основі моделі YOLOv8, демонструє інтеграцію сучасних технологій в області комп'ютерного зору та автономного управління. Конструкція дрона поєднує традиційні компоненти, зокрема раму, мотори, контролери швидкості, систему живлення та контролер польоту, з сучасним обчислювальним модулем MaixCam. Цей модуль, побудований на базі

процесора Kendryte K210, забезпечує обробку відео в реальному часі завдяки підтримці апаратного прискорення нейронних обчислень. Відеопотік з інтегрованої камери передається на MaixCam, де здійснюється аналіз зображення і виявлення об'єктів за допомогою моделі YOLOv8.

Інтеграція бортового комп'ютера MaixCam і системи контролера дрона, пропотип якої зображено на рисунку 5.4 створює потужну платформу для автоматизації польоту дрона.



Рисунок 5.4 – Прототип системи виводу пакетів до дрону

Ефективність цієї системи зумовлена обчислювальною потужністю MaixCam, оптимізованою роботою програмного забезпечення та високим рівнем інтеграції апаратних і програмних компонентів. Це дозволяє вирішувати складні завдання, пов'язані з комп'ютерним зором, навігацією і точним управлінням дрона в реальному часі (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 – Демонстрація роботи системи у симульованому середовищі

5.3 Висновки до розділу

У результаті система алгоритмів на основі мобільного робота продемонструвала задовільні результати у покращенні роботи навігації та руху. Роботизована платформа здатна виконувати поставлені задачі з точністю розпізнавання у 0,7 та виконувати дії керування для покращення траєкторії польоту.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Промислова безпека в середовищі робототехнічних досліджень

Промислова безпека в середовищі робототехнічних досліджень є критичним напрямом, що забезпечує стабільність функціонування інноваційних технологій у поєднанні з мінімізацією ризиків для людського життя та матеріальних ресурсів. З огляду на стрімкий розвиток робототехнічних систем, питання безпеки набувають все більшої актуальності, адже саме ці аспекти визначають довговічність, ефективність та соціальну прийнятність робототехнічних інновацій. У цьому контексті промислова безпека постає як комплексна дисципліна, яка інтегрує інженерні, управлінські та нормативно-правові підходи з метою запобігання аварійним ситуаціям і забезпечення надійності роботи автоматизованих систем.

Робототехнічні дослідження передбачають інтеграцію різноманітних технічних компонентів, включаючи програмне забезпечення, механічні системи, сенсорні технології та засоби комунікації. Усі ці елементи взаємодіють у складній технічній екосистемі, де будь-яка похибка чи технічна несправність може призвести до небезпечних наслідків. Особливості цього середовища створюють нові виклики, пов'язані зі створенням інтелектуальних систем контролю, здатних виявляти та усувати ризики на етапах, що передують їх перетворенню на потенційно небезпечні ситуації.

Ключову роль у забезпеченні промислової безпеки відіграють не лише технологічні рішення, а й людиноцентричний підхід до організації роботи робототехнічних систем. Це включає розробку ергономічних інтерфейсів, що дозволяють операторам ефективно контролювати роботу роботів, а також адаптацію процесів взаємодії між людиною та машиною, спрямовану на запобігання конфліктам у спільному робочому просторі. У цьому контексті

відповідність нормативно-правовим стандартам відіграє не менш важливу роль, адже регламентовані вимоги створюють єдині правила для розробки, тестування та впровадження робототехнічних рішень у промислових умовах.

Окрім того, важливим аспектом промислової безпеки є передбачення поведінки роботів у непередбачуваних ситуаціях. Це вимагає застосування передових підходів до моделювання ризиків і розробки алгоритмів, здатних самостійно приймати рішення в умовах невизначеності. Таким чином, промислова безпека в середовищі робототехнічних досліджень є не лише технічним завданням, але й міждисциплінарною проблемою, що потребує комплексного підходу до управління ризиками, впровадження інноваційних технологій та адаптації нормативної бази до нових викликів сучасності [16].

6.2 Висновки до розділу

Розробку роботизованих платформ необхідно проводити в умовах промислової безпеки, де має відбутися тестування ризиків та ергономічності платформ.

ВИСНОВКИ

На основі отриманих результатів, можна зробити висновок, що автоматизація роботизованих платформ за допомогою штучного інтелекту є актуальним і перспективним напрямом розвитку сучасної робототехніки. Застосування таких підходів дозволяє вирішувати комплексні завдання у сферах логістики, моніторингу, рятувальних операцій та інших галузях, де потрібна висока точність, автономність і швидкість обробки даних.

Інтеграція моделі YOLOv8 у FPV дрон забезпечує можливість виконання візуального розпізнавання об'єктів, їхнього відстеження та прийняття рішень у реальному часі. Це дозволяє дрону автономно виконувати завдання, такі як наведення, пошук об'єктів та навігація. Завдяки використанню бортового комп'ютера досягається висока швидкість обробки великих обсягів даних, необхідних для роботи нейронної мережі, із мінімальними затримками, що значно підвищує ефективність роботи платформи.

Ця робота має вагомую наукову цінність у галузі навігації мобільних роботів через впровадження нової математичної моделі управління рухом мобільного робота. Впровадження оптимізованих алгоритмів та сучасних апаратних засобів сприяє покращенню навігації робота, підвищенню його ефективності роботи та стабільності у змінних умовах середовища.

Популярність автономних роботизованих платформ свідчить про зростання їхньої значущості у багатьох галузях, а інтеграція глибокого навчання, зокрема моделей YOLOv8, відкриває нові можливості для автоматизації таких платформ. Завдяки цьому стає можливим підвищення точності розпізнавання об'єктів, адаптивності до складного середовища та здатності ефективно виконувати завдання в автономному режимі.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було вирішено наступні завдання:

а) проведено аналіз предметної області «Розробка автоматизації роботизованих платформ за допомогою штучного інтелекту»;

б) обрано роботизовану платформу та її компоненти для здійснення автоматизації;

в) розроблено роботизовану платформу з можливостями виконання автоматизованих дій;

г) реалізовано алгоритми автоматизації роботизованої платформи;

д) проаналізовано результати роботи.

Таким чином, поставлені завдання з розробки автоматизації роботизованої платформи за допомогою штучного інтелекту, що були визначені метою роботи, виконані у повному обсязі. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення автоматизації роботизованих систем та їх автономізації, а також впровадження їх у практичні завдання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Упоряд. Н. П. Демська, В.В. Євсєєв, О. М. Замірець, В. В. Невлюдова, Ю. М. Олександров. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – 42 с.
3. Використання сервісів штучного інтелекту для ведення бізнесу / О. В. Ковальчук, В. В. Петров, І. С. Мельник – Сумський державний університет. – 2024.
4. Використання штучного інтелекту в автоматизованих системах / О. В. Ковальчук, В. В. Петров, І. С. Мельник – Вісник Хмельницького національного університету. – 2023. – С. 11–20.
5. Аналіз перспектив застосування технологій штучного інтелекту для побудови автономних промислових систем автоматичного керування / О. В. Ковальчук, В. В. Петров, І. С. Мельник – Вісник Хмельницького національного університету. – 2023. – С. 11–20.
6. Image identification algorithm of AI, 2023 (<https://www.linkedin.com/pulse/image-identification-algorithm-ai-vydehi-shanmugavadivelu/>)
7. Аналіз перспектив застосування технологій штучного інтелекту для побудови автономних промислових систем автоматичного керування / О. В. Ковальчук, В. В. Петров, І. С. Мельник – Вісник Хмельницького національного університету. – 2023. – С. 11–20.
8. Світові тенденції інтеграції штучного інтелекту в автоматизацію обліку та аудиту / О. В. Ковальчук, В. В. Петров, І. С. Мельник – Аграрні інновації. – 2023. – С. 11–20.

9. Напрями використання штучного інтелекту в промислових роботах / О. В. Ковальчук, В. В. Петров, І. С. Мельник – Матеріали конференції Київського національного економічного університету. – 2023. – С. 11–20.10.
10. Дослідження інструментів штучного інтелекту в управлінні поведінкою економічних агентів у цифровому просторі на підприємствах / О. В. Ковальчук, В. В. Петров, І. С. Мельник – Вісник Харківського національного університету. – 2023. – С. 11–20.12.
11. Advanced Autonomy on a Low-Cost Educational Drone Platform / Luke Eller, Theo Guerin, Baichuan Huang, Garrett Warren, Sophie Yang, Josh Roy, Stefanie Tellex – arXiv preprint arXiv:1910.03516. – 2019
14. Leonard, J., Durrant-Whyte, H. Mobile Robot Localization by Tracking Geometric Beacons. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1991.
15. Lowering Barriers to Entry for Fully-Integrated Custom Payloads on a DJI Matrice / Joshua Springer, Gylfi Þór Guðmundsson, Marcel Kyas – arXiv preprint arXiv:2405.06176. – 2024.
16. Learning Language-Conditioned Robotic Policies from Natural Language Supervision / Gi-Cheon Kang, Junghyun Kim, Kyuhwan Shim, Jun Ki Lee, Byoung-Tak Zhang – CLIP-RT – C 234 – 2024.
17. Xplore Digital Library (<https://ieeexplore.ieee.org/>)
18. Вплив штучного інтелекту на ринок праці / О. В. Ковальчук, В. В. Петров, І. С. Мельник – Науковий вісник Одеського національного економічного університету. – 2024. – С. 100–109.