

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра інформаційні технології електронних засобів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ
АВТОНОМНОГО ПОЛЬОВОГО РОБОТА ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ БУР'ЯНІВ

Виконав: студент 2 курсу, групи БК-512м
спеціальності _____

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) _____

«Інтелектуальні технології мікросистемної
радіоелектронної техніки»

Ілля БАДРАК

(прізвище та ініціали)

Керівник Наталія ФУРМАНОВА

(прізвище та ініціали)

Рецензент Гаррі МОРОЗ

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра «Інформаційні технології електронних засобів»
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІТЕЗ Олександр МАЛИЙ
канд. техн. наук, доцент
 “ ” 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

Іллі БАДРАКА

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка апаратно-програмного комплексу автономного польового робота для видалення бур'янів

керівник проєкту (роботи) Наталія ФУРМАНОВА, к. т. н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “21” листопада 2023 р.
 №448

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 2 жовтня 2023 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) автономна роботизована система
прополювання. Необхідно розробити систему, здатну автономно видаляти
бур'яни у визначеній оператором зоні.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Аналіз предметної області;

2) Проектування польового робота прополювання;

3) Розробка та налаштування програмної складової системи;

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

Структурна схема системи робота; Електрична схема робота; Керування
завданням робота за допомогою телеграм боту; Вхідні дані для навчання
класифікації; Результат роботи класифікатора рослин; Загальний алгоритм
функціонування робота;

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	Наталія ФУРМАНОВА, к.т.н., доцент		
Нормоконтроль	Ірина ПОСПЕСВА, старший викладач		

7. Дата видачі завдання 04.09.2023 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз існуючих роботизованих систем та підходів щодо їх розробки	28.9.2023 р.	
2	Постановка завдання	05.10.2023 р.	
3	Розробка вимог до системи	07.10.2023 р.	
4	Розробка каркасу робота	12.10.2023 р.	
5	Вибір стеку апаратного забезпечення	17.11.2023 р.	
6	Розробка загальної структурної схеми	19.11.2023 р.	
7	Розробка електричної схеми системи	22.11.2023 р.	
8	Розробка загального алгоритму функціонування роботу	26.11.2023 р.	
9	Налаштування роботи системи	29.11.2023 р.	
10	Аналіз результатів роботи системи	30.11.2023 р.	
11	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2023 р.	
12	Проходження нормоконтролю	07.12.2023 р.	

Студент Ілля БАДРАК
(підпис) (ініціали та прізвище)Керівник проєкту (роботи) Наталія ФУРМАНОВА
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 60 с. 35 рис., 25 джерел.

РОБОТ, РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ДРОН, АГРАРНИЙ РОБОТ, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, PYTHON, SCIKIT-LEARN, ODROID-C4

Об'єкт розробки – польовий прополювальний робот, призначений для автоматичного виявлення і прополювання рослин на сільськогосподарських ділянках.

Мета роботи – створення ефективного й автономного польового прополювального робота, що забезпечує мінімізацію ручної праці, поліпшення якості прополювання й оптимізацію сільськогосподарських процесів.

У першій частині дипломної роботи магістра проведено аналіз предметної області, включно з історичним екскурсом розвитку робототехніки в сільському господарстві та аналізом наявних роботизованих систем. Основна увага приділяється дослідженню потреб аграріїв і визначенню основних вимог до прополювального робота. За результатами аналізу формулюється конкретна постановка задачі зі створення робота.

У другій частині дипломної роботи магістра описується процес проектування робота: від визначення основних вимог до системи до розроблення конкретної архітектури та методів виявлення рослин. У даній частині детально розглядаються структура і компоненти роботизованої системи, принципи її функціонування та алгоритм роботи.

У третій частині дипломної роботи магістра розроблено програмне забезпечення для робота. Цей розділ починається з вибору мови програмування та інструментів для реалізації. Далі описується процес

розробки алгоритмів і програмної логіки, необхідної для функціонування робота. Після етапу реалізації системи проводять тестування та налагодження програмної частини, щоб гарантувати надійне та стабільне функціонування робота в польових умовах.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	1
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1 Історичний екскурс	10
1.2 Аналіз аграрних роботів та підходів щодо їх розробки	11
1.3 Постановка задачі.....	24
2 ПРОЄКТУВАННЯ ПОЛЬОВОГО РОБОТУ ПРОПОЛЮВАННЯ	26
2.1 Вимоги до системи.....	26
2.2 Розробка каркасної архітектури	27
2.3 Вибір апаратного забезпечення роботизованої системи.....	30
2.3.1 Основний обчислювальний модуль	30
2.3.2 Сенсорна складова	32
2.3.3 Модуль зв'язку	36
2.3.4 Двигуни системи	37
2.3.5 Модулі керування двигунами	37
2.3.6 Модулі живлення	38
2.3.6 Допоміжні модулі.....	41
2.4 Розробка методу виявлення та прополювання рослин.....	41
2.4.1 Виявлення рослин	42
2.4.2 Прополювання рослин	43
2.4 Розробка структурної схеми системи робота	45
2.5 Розробка електричної схеми робота.....	48
2.6 Функціонування роботизованої системи	49
2.6.1 Загальні принципи функціонування системи.....	49
2.6.2 Загальний алгоритм функціонування роботу	50
3 РОЗРОБКА ТА НАЛАШТУВАННЯ ПРОГРАМНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ	52
3.1 Встановлення операційної системи на ODROID C4	52
3.2 Вибір мови програмування та інструментів реалізації	53

3.3 Управління роботом через телеграм-бот	54
3.3.1 Вибір платформи для реалізації телеграм-бота	55
3.3.2 Вибір платформи для реалізації телеграм-бота	55
3.3.3 Інтерфейс і взаємодія з оператором	55
3.3.3 Інтеграція з основною системою керування роботом	55
3.4 Розробка програми розпізнавання та класифікації рослин.....	55
3.4.1 Вихідні дані.....	56
3.4.2 Реалізація коду.....	57
3.5 Тестування та налагодження програмної частини	58
ВИСНОВКИ.....	62
ВПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	64
ДОДАТОК А.....	67
ДОДАТОК В.....	68

ВСТУП

У сучасному технологічному світі роботизовані пристрої стають невід'ємними інструментами, особливо коли йдеться про виконання робіт, що можуть бути небезпечними, надмірно трудомісткими або рутинними для людини. Основою для створення цих пристроїв слугує злиття трьох великих галузей: машинобудування, електроніки та комп'ютерних наук. Саме це поєднання дає можливість створювати роботів, здатних виконувати різноманітний спектр функцій.

Один із напрямів, де робототехніка проявляє свій потенціал, це аграрна сфера. Тут машини не просто посідають своє місце в ролі польових помічників, а й стають активними учасниками процесу, допомагаючи в догляді за врожаєм, контролі за розвитком рослин і боротьбі з бур'янами.

За останні роки впровадження таких роботів на фермах не тільки набирає популярності, а й стає реальною необхідністю для багатьох аграріїв. За допомогою сучасних технологій, включно з комп'ютерним зором, машинним навчанням і системами GPS, роботи можуть з високою точністю навігуватися по полях, швидко й ефективно визначати та усувати бур'яни. Цей підхід, крім економії ресурсів і зниження залежності від ручної праці, також робить внесок у підвищення якості врожаю, що вкрай важливо в умовах зростаючого населення планети.

Одна з ключових переваг роботів полягає в їхній здатності працювати безупинно. Це особливо цінно, коли зважати на умови, які можуть бути небезпечними для людини, наприклад, під час використання різних хімічних засобів на полях.

Крім того, роботи можуть надавати фермерам деталізовані дані про стан посівів та навколишнє середовище, регулярно збираючи інформацію

про вологість ґрунту, температуру повітря та стадії розвитку рослин. Ці дані можуть стати основою для ухвалення обґрунтованих рішень, наприклад, про час поливу або необхідність застосування добрив.

Загалом, можна стверджувати, що польова робототехніка в сільському господарстві є революційним підходом до аграрних процесів, і його значення буде тільки посилюватися в майбутньому. Доступ до великих ресурсів, таких як документація, дослідження і відкриті архітектури на основі штучного інтелекту та комп'ютерного зору, робить цей підхід ще більш привабливим і перспективним. Немає сумнівів, що вибір теми, пов'язаної з робототехнікою в аграрній сфері, для дипломної роботи магістра є актуальним і перспективним. Обрана тематика дипломної роботи вкрай релевантна.

Основним завданням дослідження є створення автоматизованого процесу керування дроном на основі створеного апаратно-програмного комплексу робототехнічної системи.

Для реалізації цієї мети належить вирішити такі проблеми:

- вивчити архітектурні та функціональні підходи схожих роботизованих систем;
- розробити проєкт робототехнічної системи та створити алгоритм її дій;
- підібрати відповідне апаратне забезпечення для системи;
- здійснити складання та налагодження системи;
- оцінити та інтерпретувати отримані дані.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

У цьому розділі акцент робиться на всебічному аналізі аграрних роботизованих систем. Перш за все, здійснюється подорож в історію, щоб розібратися в коренях і основних етапах розвитку аграрної робототехніки. Потім наведено детальний аналіз наявних аграрних роботів, їхню класифікацію, а також підходи до їхнього створення та розробки. Розуміння поточного стану ринку і технологій допоможе надалі сформулювати чіткі та обґрунтовані вимоги до розроблюваного прополювального робота. На завершення розділу буде поставлено конкретне завдання і визначено основні напрямки для подальшого проектування і розробки роботизованої системи. Цей підхід забезпечить економію часу, ресурсів і спрямує розробку за оптимальним руслом.

1.1 Історичний екскурс

В останні декади ми стали свідками унікальних перетворень у багатьох галузях економіки. Одним із таких перетворень є впровадження роботів у сільське господарство. Цей напрямок розвитку став наслідком глибоких революційних змін, пов'язаних насамперед із промисловою революцією.

Ця революція, що стартувала в Англії в другій половині XVIII століття, перевизначила основні принципи виробництва. Ми стали свідками переходу від ручного, ремісничо-мануфактурного і доморобного виробництва до великомасштабного машинного фабрично-заводського. Незабаром після цього промислові нововведення стали поширюватися за межі Англії, досягаючи інших країн Європи, а пізніше і США з Японією. У серці цієї революції лежало використання машин і механізмів, які покликані були замінити ручну працю, роблячи виробництво ефективнішим.

З плином часу технологічний розвиток охопив дедалі більше сфер людської діяльності. Сільське господарство не залишилося осторонь. Так, новітні технології та машини знайшли своє застосування і в цій галузі, ініціювавши локальний революційний перехід. Якщо говорити про конкретні приклади, то бавовноочисник, створений Ілаєм Вітні, чудово демонструє потенціал інновацій того часу: одна машина могла виконувати працю, яка раніше була необхідна для ста людей [1].

На початку ХХ століття світ зіткнувся з новим витком технологічного прогресу, коли інтерес до робототехніки та її застосування в сільському господарстві різко зріс. Завдяки ретельним дослідженням, до 1960-х років, аграрна галузь уже активно використовувала автоматизовані машини. Однак справжній технологічний ривок стався з появою комп'ютеризації в 1980-х.

На тлі глобального зростання населення, яке вимагало збільшення обсягів продовольства, впровадження агророботів стало критично важливим. Ці роботи не тільки оптимізували виробничі витрати фермерів, а й істотно підвищували загальну ефективність аграрного сектора.

1.2 Аналіз аграрних роботів та підходів щодо їх розробки

Є безліч методів і підходів, спрямованих на прискорення процесу створення технічного пристрою або нового продукту. Один із найефективніших – це детальне вивчення вже наявних на ринку систем. Ці системи, володіючи застосованими рішеннями, можуть вирішувати завдання, які або ідентичні, або мають схожий характер. Таке вивчення допомагає виявити найкращі практики й уникати поширених помилок.

Інший метод, який заслуговує на особливу увагу, - це застосування вже готових апаратних платформ і програмних інструментів. Такий підхід не тільки прискорює розробку, а й може призвести до модульної структури кінцевого продукту. Це, зі свого боку, робить процес обслуговування пристрою набагато простішим і ефективнішим.

Розглянемо, наприклад, робототехніку, що застосовується в сільському господарстві. Основним завданням таких роботів є автоматизація різних рутинних або потенційно шкідливих сільськогосподарських операцій. Це охоплює роботи, які можна оптимізувати і зробити більш ефективними за допомогою сучасних технологій і алгоритмів.

Першим відкритим прикладом для аналізу став сільськогосподарський автономний робот для прополовання від компанії Ecorobotix, зовнішній вигляд якого представлений на рисунку 1.1. Робот може автономно виконувати обов'язки з прополовання завдяки бортовим камерам у зв'язці з алгоритмами машинного зору, може виявляти та обробляти бур'яни гербіцидом, не пошкоджуючи сільськогосподарські культури. Робот оснащений сонячними панелями GPS RTK і сенсорами, які давали йому змогу ідентифікувати сільськогосподарські культури і прокладати маршрут руху. За заявою компанії така конструкція покривала до трьох гектарів землі на день, використовуючи при цьому на 30% менше гербіцидів, ніж традиційні методи розпилення [2].



Рисунок 1.1 – Польовий робот від компанії Ecorobotix

Система боротьби з бур'янами складається з кінематичного трьох опорного маніпулятора, відомого як дельта-маніпулятор, для точного підведення сопла, що розпилює порційно пестицид для хімічного видалення бур'янів. Типова конструкція дельта-маніпулятора [3], яку можна побачити на рисунку 1.2, може складатися з таких основних частин:

- базова платформа, під номером один, до якої кріпляться крокові двигуни з актуарною рамою. Це основна основа конструкції, що забезпечує стійкість і міцність усього маніпулятора;

- крокові двигуни, під номером два, дають змогу здійснювати точне позиціонування і рух різних частин маніпулятора. Використовуються для перетворення електричної енергії в механічний рух;

- актуарна рама, під номером три, кріпиться до двигунів і передає їх обороти в рух. Це механічний компонент, який служить для перетворення обертального руху двигунів на лінійний або інший тип руху робочої частини маніпулятора;

- пасивна рама, під номером чотири, служить перетворення руху актуаторної рами;

- пересувна платформа, під номером п'ять, на якій розташований робочий інструмент, наприклад сопло, що розпилює пестицид. Ця частина маніпулятора здійснює безпосередню взаємодію з об'єктом обробки чи маніпулювання.

Виходячи з ресурсу [2,3] і представленої на рисунку 1.3 кінематичної схеми дельта-маніпулятора, теоретична зона можливих переміщень точки К залежить від співвідношення довжин ланок L_1 , L_2 , L_3 , які далі приймаються за узагальнені координати, та від взаємного розташування точок їхнього кріплення на основі.

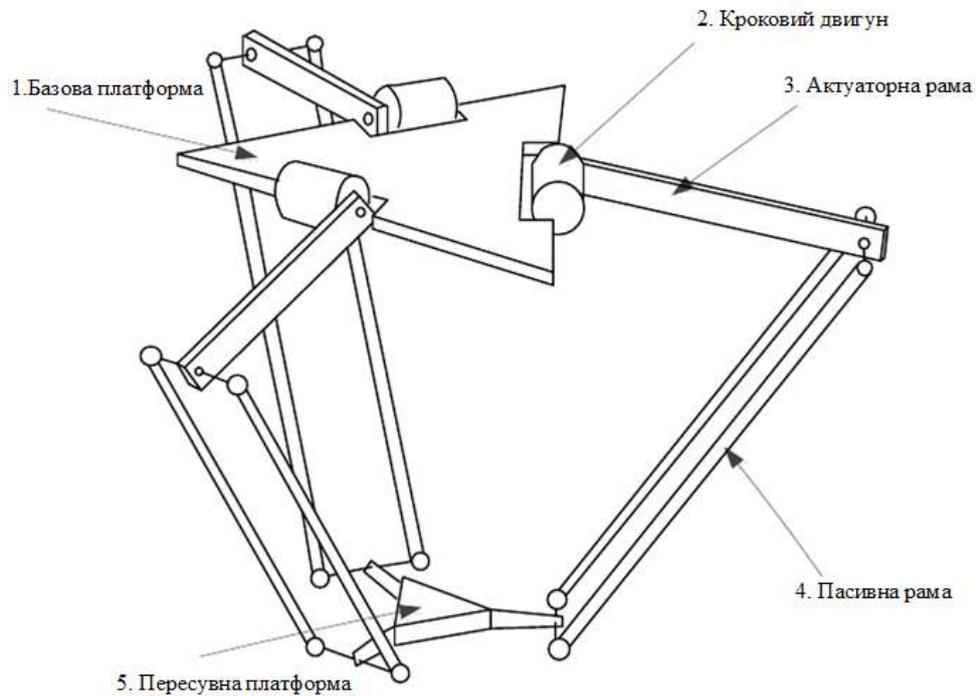


Рисунок 1.2 – Типова конструкція дельта-маніпулятора

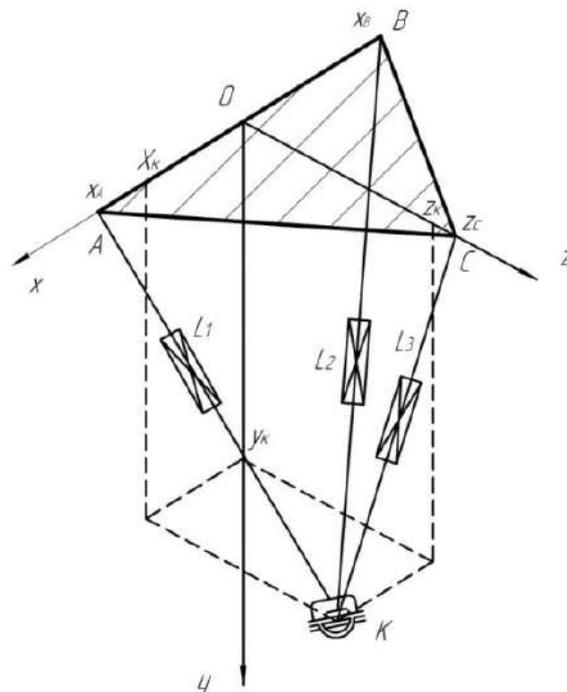


Рисунок 1.3 – Кінематична схема дельта-маніпулятора

З представлених у статті [4] даних видно, що координати точки K у рухомій системі координат залежать від таких параметрів: поточних довжин ланок маніпулятора L_1 , L_2 , L_3 і координат точок кріплення цих ланок.

Шляхом розв'язання системи рівнянь (9) було отримано залежності координат точки (X, Y, Z) від довжин ланок $L1, L2, L3$ і координат точок кріплення на базі маніпулятора. Знаючи параметри довжини виконавчого механізму (мінімальне значення $L_{min} = 600$ мм, максимальне значення $L_{max} = 950$ мм і відстань між точками кріплення виконавчого механізму на базі, що дорівнює $a = 524$ мм, було визначено робочу зону маніпулятора за допомогою програмного забезпечення MathCAD. Ця робоча зона являє собою графічне відображення розв'язання системи рівнянь [10] і формується сферичними поверхнями, як показано на рисунку 1.4. Відповідно, з робочої зони форсунки, зазначеної на рисунку 1.4, випливає, що точка K переміщується наступним чином:

по осі X від $\min(x) = -446.4$ мм до $\max(x) = 749$ мм;

по осі Z від $\min(z) = -517.6$ мм до $\max(z) = 517.6$ мм;

по осі Y до $\max(y) = -900.5$ мм.

Таким чином, дослідження дало змогу визначити теоретичний діапазон переміщень конструкції дельта-маніпулятора, який може бути корисним при розробці дипломного проекту.

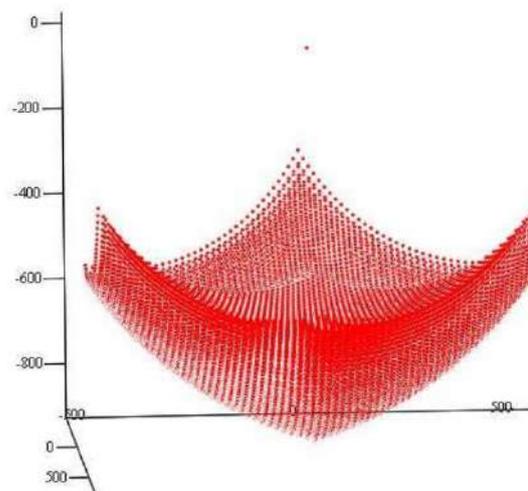


Рисунок 1.4 – Робоча зона розпилювача

У процесі дослідження особливу увагу було приділено роботу BoniRob, розробленому компанією Deepfield Robotics - підрозділом корпорації Bosch. Робот, зображений на рисунку 1.5, являє собою багатоцільову платформу, створену спеціально для потреб точного землеробства. Серед основних функцій BoniRob: механічне знищення бур'янів, селективне обприскування гербіцидами та моніторинг стану рослин і ґрунту.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд робота BoniRob

Цей чотириколісний польовий робот оснащений двома камерами для спостереження за рослинами, оцінки стану посівів, внесення добрив, а також виявлення та знищення бур'янів. Робот "забиває" бур'яни назад у ґрунт за допомогою залізного "кулака", витрачаючи на один бур'ян лише близько десятої частки секунди. Основною метою BoniRob є молоді пагони бур'янів, які він визначає за формою листа за допомогою камери високої роздільної здатності. Однак робот також може справлятися з дорослими рослинами, подрібнюючи їх низкою ударів з частотою одного удару кожні 100 мс.

Модуль для боротьби з бур'янами складається з уже розглянутого вище дельта-маніпулятора, проте замість сопла пересувна платформа спрямовує залізний "кулачок" (рисунок 1.6).

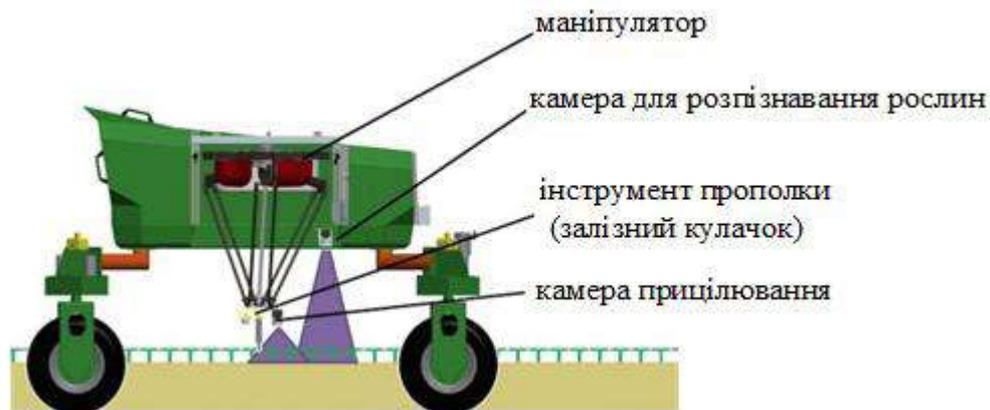


Рисунок 1.6 – Модуль для боротьби з бур'янами BoniRob

Завдяки сенсорній системі робот BoniRob здатний самостійно переміщатися, адаптуючись до різних розмірів поля. Його модульний відсік може обробити до 150 кг матеріалу, при цьому генератор енергії здатний працювати без підзарядки протягом 24 год.

З інформації, наведеної в джерелі [5], сенсорна система робота містить у собі 7 сенсорів. Розташування цих сенсорів можна побачити на рисунку 1.7. Вони надають системі управління всі необхідні дані для автономної роботи.

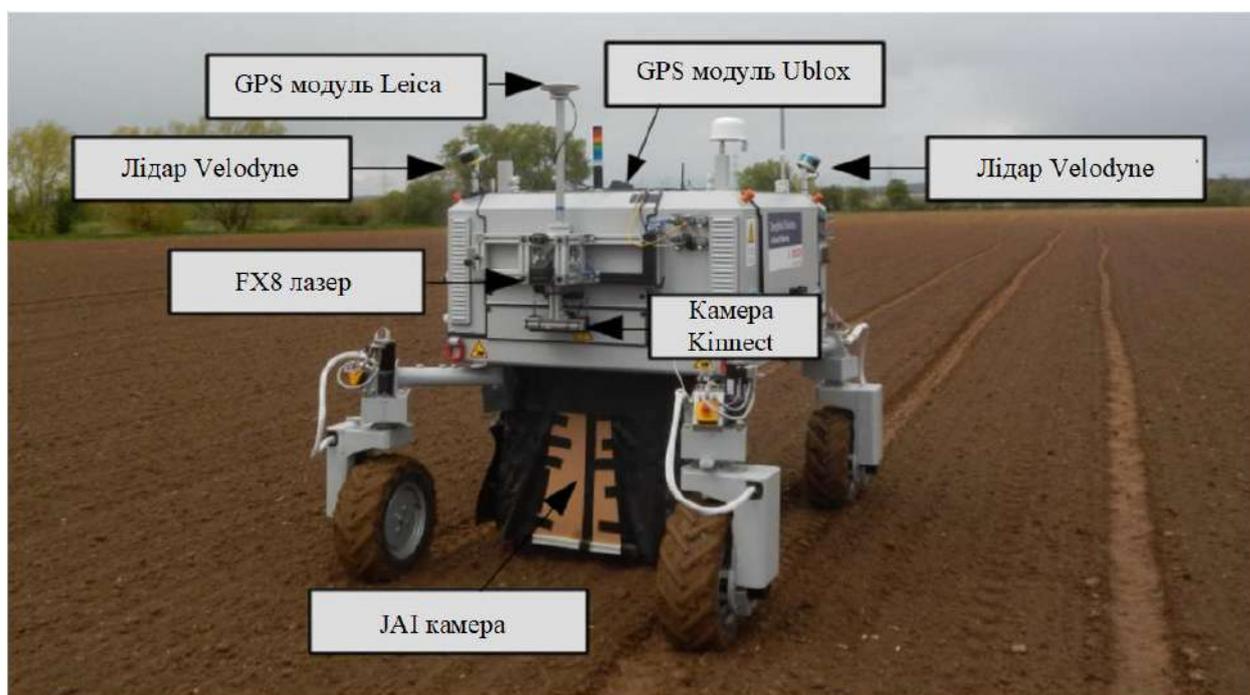


Рисунок 1.7 – Розташування цих сенсорів на BoniRob

Для точного визначення положення робота розробники інтегрували систему RTK GPS від Leica. Цей GPS-приймач RTK інтерпретує сигнали супутників і доповнює їх даними від фіксованої базової станції. Такий підхід дає змогу коригувати стандартні GPS-сигнали та підвищувати точність визначення місця розташування до кількох сантиметрів. Положення GPS-антени, розташованої на роботі, фіксують щодо всесвітньої геодезичної системи 1984 року (WGS84) з частотою 10 Гц. Як доповнення до дорогого RTK GPS від Leica, на роботі також встановлено більш доступний GPS-приймач Ublox EVK7-P. Головне завдання цього обладнання - високоточне визначення положення. Відстеження за допомогою цього приладу здійснюється з частотою 4 Гц в системі WGS84.

Лідар Velodyne VLP16 Puck - це 3D-сенсор лідар, який вимірює відстань і коефіцієнт відбиття за допомогою 16 обертових лазерних діодів. Сенсор має 16 рівнів сканування, кожен з яких надає 360° горизонтальне і 30° вертикальне поля зору з роздільною здатністю 0,4° і 2° відповідно. Сенсор може вимірювати на відстань до 100 м з частотою 20 Гц для 360° сканування. На рисунку 1.8 представлено знімок одного зі сканувань, де видно двох людей, що йдуть поруч із роботом. BoniRob обладнаний двома такими сенсорами: один спереду праворуч, другий ззаду зліва. Вони злегка нахилені вниз для кращого виявлення прилеглих об'єктів. Головне завдання сенсорів Velodyne - створювати тривимірні карти оточення і виявляти перешкоди.

Лазер FX8 від Nirpon Signal - це 3D лазерний далекомір, здатний вимірювати відстані в діапазоні до 15 м. Він оснащений горизонтальним полем зору 60° і вертикальним - 50°. Дані передаються з частотою 4 Гц за роздільної здатності 97×61 пікселя. Сенсор розміщений на передньому відсіку робота і має легкий нахил до поверхні. Це обладнання застосовується для виявлення перешкод і виявлення рядів рослин під час руху робота територією. Зовнішній вигляд одержуваних даних можна побачити на рисунку 1.9.

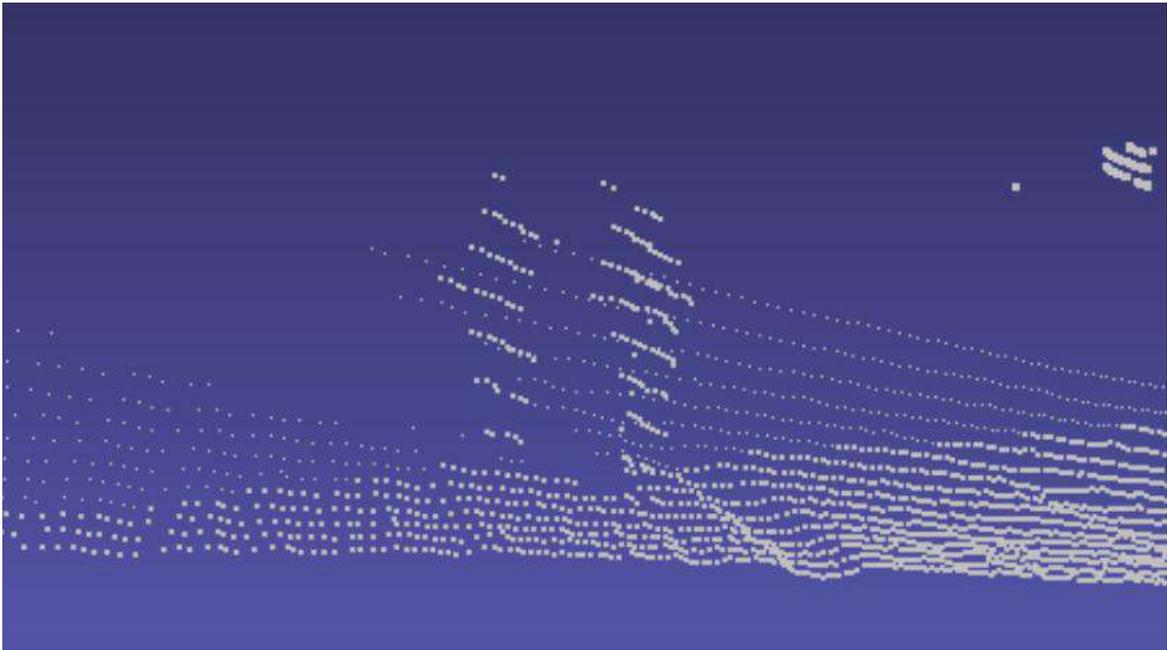


Рисунок 1.8 – Візуалізація даних з сенсора Velodyne

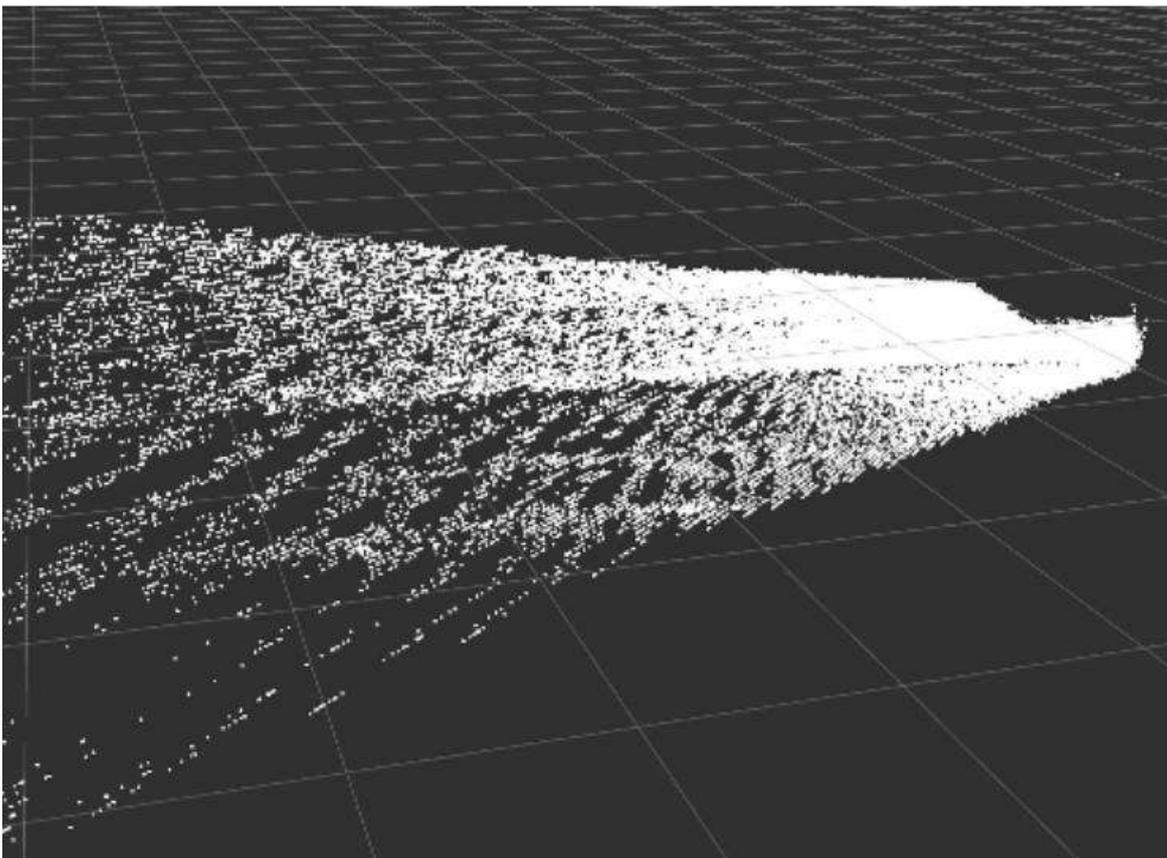


Рисунок 1.9 – Візуалізація даних з сенсора FX8

Камера JAI AD130GE розташована в кожусі під шасі робота, спрямована вниз і є мультиспектральним сенсором бачення. Вона оснащена

двома ПЗС-матрицями (CCD matrix) на основі призми, що надають зображення трьох колірних каналів у візуальному спектрі (RGB), а також одним каналом ближнього інфрачервоного (NIR) спектра. Оскільки хлорофіл у листі рослин сильно відбиває в NIR-спектрі, цей канал допомагає виділити рослинність від ґрунту та інших об'єктів. Камера JAI включає в себе мозаїчну кольорову і монохромну ПЗС-матриці розміром 1/3 дюйма, забезпечуючи роздільну здатність 1296×966 пікселів.

Камера Kinect - це бездротовий контролер камери, розроблений компанією Microsoft. Спочатку він був створений для ігрової консолі Xbox 360, а потім адаптований для Xbox One і персональних комп'ютерів. Ця камера забезпечує дані про колір (RGB) і глибину зображення. Сенсор встановлений спереду робота, не захищений кожухом, і орієнтований до землі. Рішення встановити Kinect зумовлено тим, що камера JAI створювала перешкоди, особливо в ділянці ближнього інфрачервоного спектра (NIR). У наданому датасеті містяться зображення RGB, NIR і глибини, вирівняні так, що їхні пікселі відповідають один одному. Це дає змогу генерувати 3D-хмари точок на основі даних зображень [6]. Приклади зображень від сенсора Kinect представлено на рисунках 1.10 і 1.11.

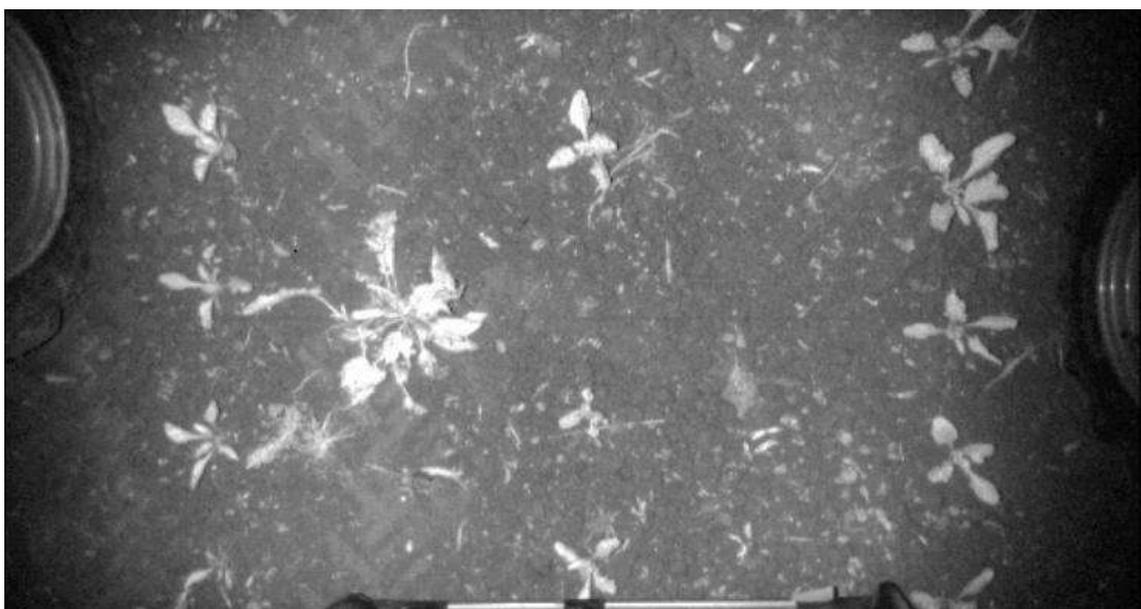


Рисунок 1.10 – Візуалізація даних з камери Kinect

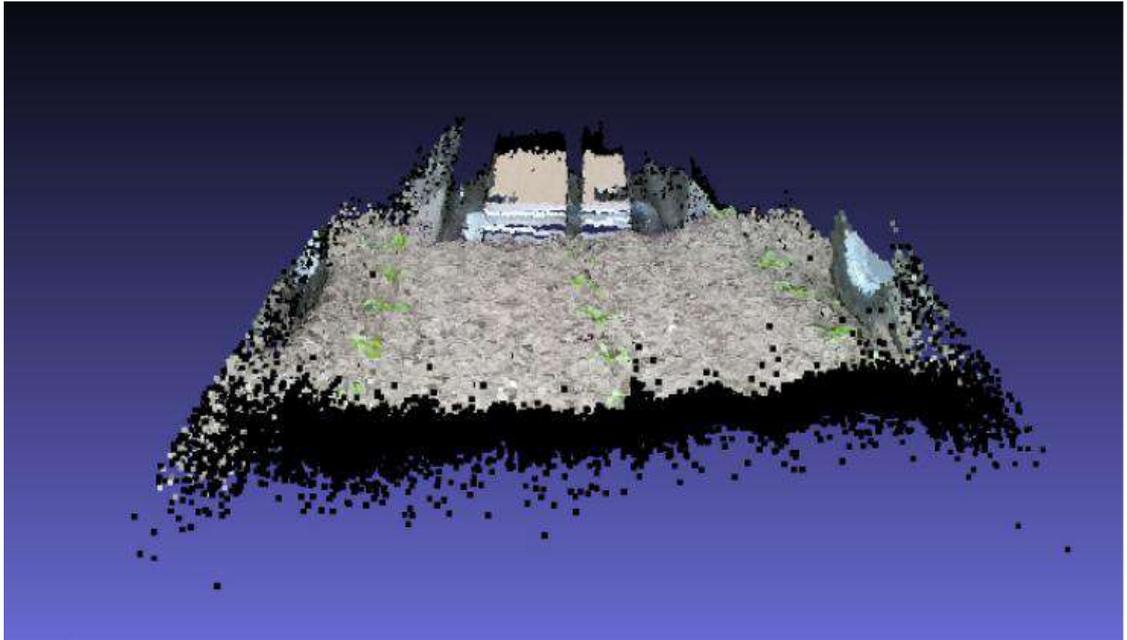


Рисунок 1.11 – Візуалізація 3D хмар точок з камери Kinect

Відповідальність за приймання та обробку даних з вищевказаних сенсорів лежить на бортовому комп'ютері BoniRob, обладнаному процесором Intel Core i7 і 6 ГБ оперативної пам'яті DDR3. На комп'ютері працює операційна система Ubuntu 14.04. За винятком Kinect, драйвери всіх сенсорів функціонують на цій платформі. У пристрої також застосовується програмне забезпечення Robot Operating System (ROS), яке широко використовується в робототехніці. Два лідари Velodyne, камера JAI і сканер FX8 пов'язані з бортовим ПК через Ethernet-концентратор. Через високі вимоги до пропускної спроможності, які має Kinect, його було під'єднано до окремого ПК, який програмно синхронізовано з основним комп'ютером через локальну мережу перед записом даних. Перед використанням, система вимагає одиничного налаштування, яке складається з набору калібрувальних параметрів. Включено опис внутрішніх (тобто конкретних для сенсора) параметрів для правильного інтерпретування даних, а також статичних зовнішніх параметрів, що описують розташування сенсорів щодо базової системи координат робота. Усі специфічні параметри калібрування для інтерпретації зображень враховують внутрішні характеристики сенсора.

Ще одним цікавим прикладом дослідження став проєкт у сфері автоматизації сільського господарства робот LaserWeeder, який представлено на рисунку 1.12, розроблений компанією Carbon Robotics [7]. Цей проєкт демонструє, як передові інженерні та технологічні рішення можуть трансформувати звичні практики і методи в аграрній сфері.



Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд роботу LaserWeeder

В основі конструкції LaserWeeder лежить значна маса пристрою в 4535 кг, що забезпечує його стабільність і надійність під час роботи на полі, у повітряну погоду. На особливу увагу заслуговує використання CO₂ лазерів, кожен з яких потужністю 150Вт. Примітно, що подібні лазери традиційно застосовувалися в промисловості для різання металу, але в цьому контексті їхня мета - точкове знищення бур'янів із частотою до 20 пострілів на секунду, результат роботи лазеру показано на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Результат роботи лазерної системи прополювання
роботу LaserWeeder

Така лазерна система працює в тісній зв'язці з системою комп'ютерного зору, що охоплює 12 високороздільних камер. Ці камери, інтегровані з алгоритмами штучного інтелекту, забезпечують диференціацію між сільськогосподарськими культурами і бур'янами, що мінімізує ризик помилкового знищення корисних рослин.

На борту LaserWeeder також є GPS-модуль і система LIDAR. GPS необхідний для точного визначення координат і планування оптимального маршруту руху по полю, в той час як LIDAR сканує навколишній простір на предмет перешкод, забезпечуючи безпечне переміщення робота.

Швидкість роботи LaserWeeder становить 8 км/год, що дає змогу обробляти значні площі - до 60 тис. км² за день.

Інтегровані потужні світлодіодні лампи дають змогу LaserWeeder працювати в нічний час, що посилює його продуктивність і дає можливість оптимізувати робочий процес [8].

1.3 Постановка задачі

На основі проведеного аналізу наявних аграрних роботів та врахуванням їхніх переваг і недоліків було визначено основну потребу в розробці нової роботизованої системи для прополювання. Наявні системи вже пропонують рішення з автоматизації усунення бур'янів, проте ще є можливості для покращення ефективності, зменшення витрат і збільшення ступеня автономності роботи.

Мета даної дипломної роботи: розробити роботизовану систему для прополювання, яка б мала високий ступінь автономності, точність розпізнавання рослин, а також оптимізоване споживання ресурсів.

Для досягнення цієї мети було визначено такі завдання:

- аналіз вимог до системи: визначити основні функціональні та нефункціональні вимоги до роботизованої системи прополювання на основі аналізу предметної області та наявних рішень;
- проектування каркасної архітектури робота: з урахуванням обраних технологічних рішень і вимог розробити архітектуру робота;
- вибір і розробка методу виявлення та прополювання рослин: на основі алгоритмів машинного зору та ШІ створити методи, що дають змогу з високою точністю визначати бур'яни та культурні рослини;
- інтеграція компонентів системи: забезпечити спільну роботу всіх компонентів робота для забезпечення його функціональності;
- розробка програмної складової: визначити програмну архітектуру, обрати мови програмування та інструменти для реалізації, створити відповідні алгоритми та програмну логіку;

- тестування та оптимізація: провести серію випробувань робота на реальних полях, визначити й усунути можливі недоліки та помилки.

Таким чином, дана робота націлена на створення сучасного, ефективного та автономного робота для прополювання, який відповідатиме потребам сучасного землеробства і надаватиме фермерам високотехнологічне рішення для боротьби з бур'янами.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПОЛЬОВОГО РОБОТУ ПРОПОЛЮВАННЯ

У цьому розділі деталізується процес проєктування польового робота для прополювання. На початку визначено ключові вимоги до системи, які лягають в основу всієї концепції і визначають основні аспекти та напрямки розробки. Потім йде фокусування на каркасній архітектурі, в якій розкривається головне бачення структури робота. Продовжуючи тему технічної реалізації, висвітлюється питання вибору апаратного забезпечення з урахуванням вимог до функціональності та ефективності. Після цього слідує розділ, присвячений розробці електричної схеми робота, що стоїть у центрі забезпечення автономної роботи пристрою.

Особливий інтерес представляє метод виявлення та прополювання рослин, де виокремлюються основні технологічні рішення та підходи. У розділі зі створення структурної схеми дається розуміння про механіку та координацію компонентів системи. В завершенні, цей розділ акцентує увагу на принципах функціонування роботизованої системи та конкретних алгоритмах її дії.

2.1 Вимоги до системи

Під час проєктування польового робота для прополювання ключовим етапом є визначення вимог до системи. Вимоги визначають основні параметри та характеристики, якими повинен володіти робот, щоб ефективно виконувати свою функцію в заданих умовах.

Ефективність роботи: робот повинен ефективно виявляти й усувати небажані рослини на полі, мінімізуючи пошкодження корисних культур.

Адаптивність: врахування мінливих умов на полі (наприклад, щільність рослинності, тип ґрунту, метеорологічні умови) і здатність коригувати свої дії на основі цих змін.

Інтеграція з апаратним забезпеченням: здатність робота взаємодіяти з різними типами сенсорів і виконавчих пристроїв, що дає йому змогу швидко адаптуватися до різних завдань.

Надійність і безпека: робот повинен володіти високим ступенем надійності в експлуатації, а також гарантувати безпеку для довкілля і людини.

Економічність: при розробці враховуються економічні аспекти, щоб забезпечити доступність рішення для потенційних користувачів і мінімізувати експлуатаційні витрати.

Модульність і розширюваність: система робота має бути модульною, що дає змогу легко додавати нові функції або замінювати застарілі компоненти без необхідності перепроєктування всього робота.

Ці вимоги слугують основою для наступних етапів проектування, починаючи з розроблення каркасної архітектури і закінчуючи вибором апаратного забезпечення та розробленням алгоритмів роботи.

2.2 Розробка каркасної архітектури

Розроблення каркасної архітектури польового робота є непростим процесом, у ньому враховується безліч чинників. Ці чинники включають функціональні вимоги, умови експлуатації, а також обмеження, пов'язані з обраними матеріалами і технологіями [9]. Щоб мінімізувати ризики, пов'язані з помилками проектування, і оптимізувати витрати часу та ресурсів, часто рекомендується використовувати вже наявні структури або архітектурні рішення як відправну точку, що й було зроблено під час розроблення дипломного проєкту. Однак, навіть за цього підходу, існує низка ключових моментів, які потребують особливої уваги.

Ключовим компонентом цього процесу є основна рама робота. Вона забезпечує необхідну жорсткість і структурну міцність пристрою. Раму

робота розроблено та доопрацьовано на основі CAD-моделі, завантаженої з сайту <https://grabcad.com> від автора з псевдонімом sai kiran [10].



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд алюмінієвої профільної круглої труби

Рама робота, представлена на рисунку 2.4, здебільшого складається з алюмінієвих профільних круглих труб (див. рисунок 2.1) із внутрішнім діаметром 31 мм і товщиною стінки 2 мм. Труби з'єднані між собою спеціальним з'єднувачем (див. рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд з'єднувачів для профільної круглої труби

Для приєднання зовнішніх або суміжних конструкцій використовується фланець для круглої профільної труби (див. рисунок 2.3). Для посилення жорсткості рами в неї вбудовані прямокутні профільні труби, які з'єднані між собою вирізами з листового металу.



Рисунок 2.3 – Зовнішній фланець для круглої профільної труби

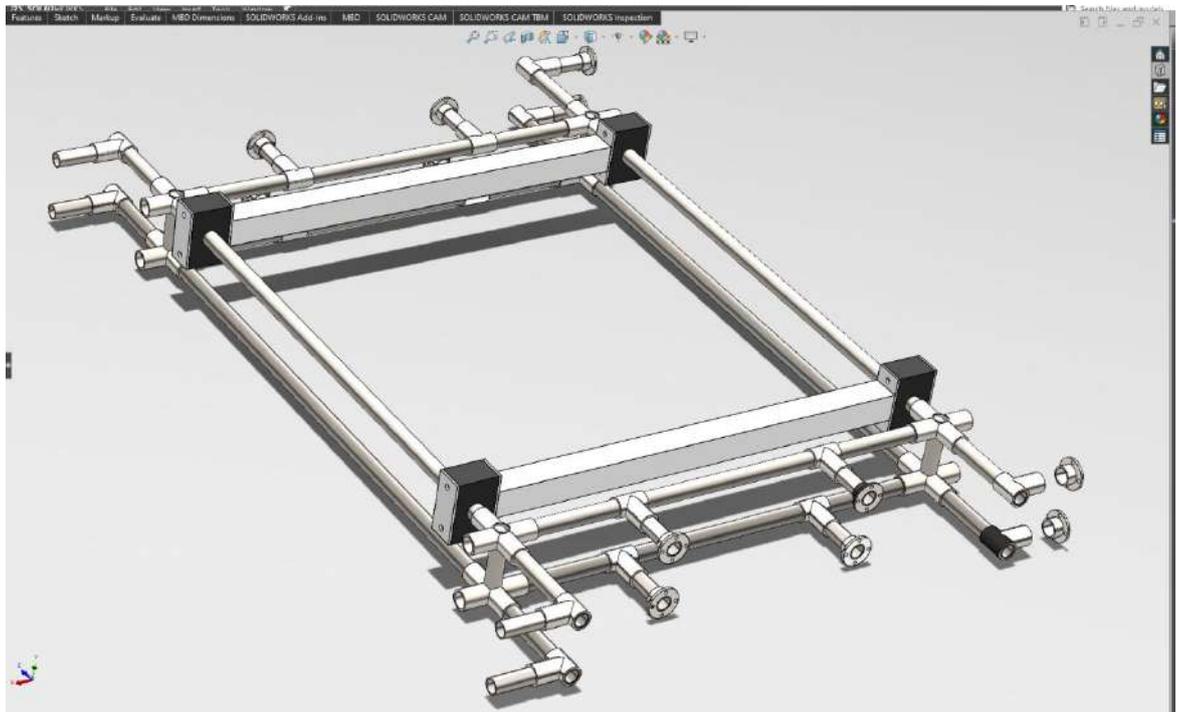


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд рами робота

На рисунку 2.5 конструкція (бокс), виділена зеленим кольором, виконана з оцинкованого листа для зниження ваги. Такий бокс легше і

швидше виготовляти, і він призначений для розміщення апаратного забезпечення та електроніки системи управління. Решта елементів, як-от стійки для електродвигунів, пофарбовані в білий колір, виготовлені з листового металу і забезпечують необхідну міцність.

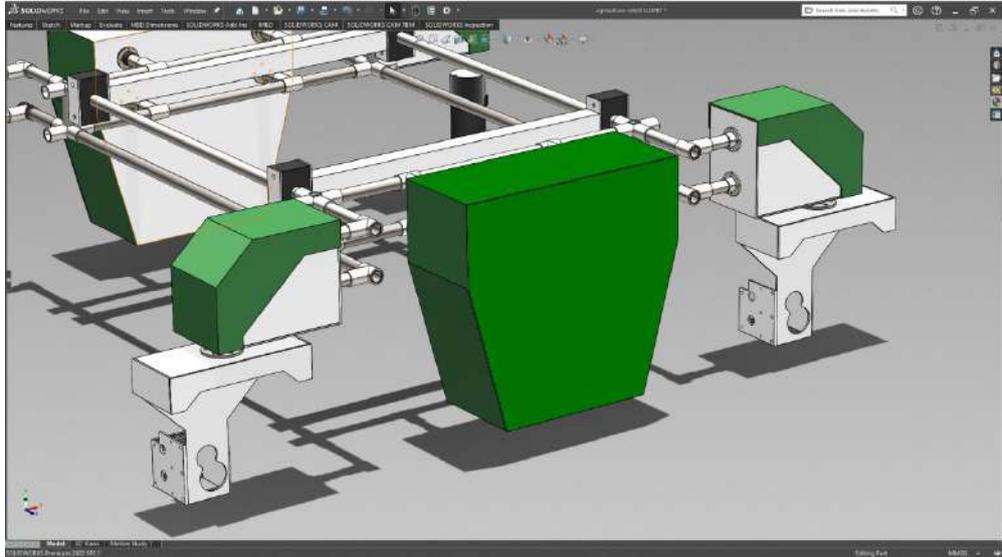


Рисунок 2.5 – Зовнішній вид боксу та стійок робота

2.3 Вибір апаратного забезпечення роботизованої системи

Вибір комплектуючих для роботизованої системи прополювання був заснований на поєднанні функціональності, надійності, ціноутворення та стандартів якості [11]. У цьому розділі представлено ключові компоненти системи, які було відібрано для реалізації проєкту.

2.3.1 Основний обчислювальний модуль

Для забезпечення центрального управління та обробки даних у системі прополювання було обрано мікрокомп'ютер ODROID-C4, зовнішній вигляд мікрокомп'ютера представлений на рисунку 2.6.

Цей модуль було обрано завдяки своїй високій продуктивності та оптимальному енергоспоживанню.

ODROID-C4 представляє нове покоління обчислювальних пристроїв, перевершуючи за багатьма параметрами свого попередника ODROID-C2. Особливо це стосується продуктивності: при схожому рівні шуму ODROID-C4 значно продуктивніший.

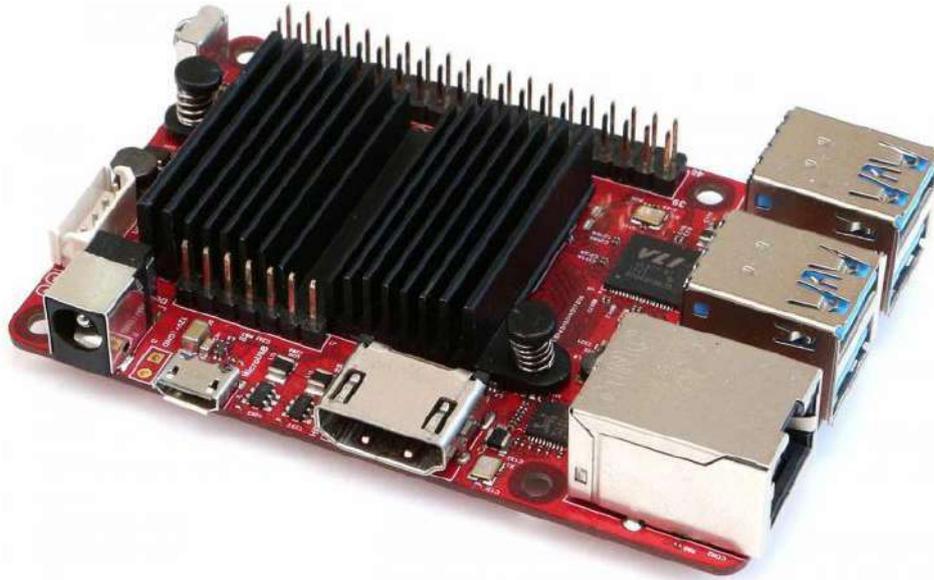


Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд мікрокомп'ютера ODROID-C4.

Модуль базується на процесорі Amlogic S905X3, виконаному за 12 нм технологією. Процесор містить ядро Cortex-A55 (2,016 ГГц) з архітектурою ARMv8-A з розширеннями Neon і Crypto. Крім того, до його складу входить графічний прискорювач Mali-G31 MP2 GPU з 4-ма потоками виконання (на частоті 650 МГц). Цей мікрокомп'ютер також оснащений 4 ГБ оперативної пам'яті [12].

ODROID-C4 сумісний з різними версіями Linux, включно з Ubuntu 16.04, а також Android версій 4.4 KitKat, 5.0 Lollipop і 7.1 Nougat.

Для забезпечення високої продуктивності під час обміну даними із зовнішніми пристроями розробники оснастили ODROID-C4 інтерфейсами eMMC 5.0, USB 3.0 і Gigabit Ethernet.

Насамкінець, вибір ODROID-C4 був зумовлений не тільки високою продуктивністю, а й низкою інших переваг, як-от малий розмір, ефективне енергоспоживання та широкі можливості для інтеграції різного програмного

забезпечення. Цей модуль чудово підходить для завдань реального часу і повністю відповідає вимогам роботизованої системи прополювання.

2.3.2 Сенсорна складова

Для детектування рослин і навігації було обрано такі сенсори:

- камера OV5693 5MP USB Camera;
- два сенсори відстеження руху гіроскопи MPU-6050;
- сенсор вологості та температури DHT22;
- GPS модуль GY GPS6MV2;
- лідар TF-Luna.

OV5693 5MP USB Camera - пристрій для отримання зображень і відеозаписів, зовнішній вигляд якого можна побачити на рисунку 2.7. Цей модуль камери має роздільну здатність 5 мегапікселів, що дає змогу отримувати зображення високої чіткості та деталізації. Основна камера цього модуля надає можливість автоматичного фокусування для отримання чіткого зображення в різних умовах зйомки, незважаючи на те, що фокусна відстань є фіксованою.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд камери OV5693 5MP.

Модуль обладнаний роз'ємом типу M12, стандартним для підключення об'єктивів. Це надає можливість встановлення об'єктивів M12 з різним фокусом або змінною фокусною відстанню. Крім того, завдяки підтримці USB, камеру можна легко під'єднати до різних пристроїв, включно з комп'ютером ODROID-C4, для передавання зображень або відео трансляцій.

Технічні параметри включають роздільну здатність статичного зображення 2592×1944 , можливості запису відео у форматах MJPG і YUY2 з різними швидкостями кадрів. Камера працює на напрузі $5V \pm 5\%$ і споживає струм у 500mA [13].

Також в системі використовуються два сенсори MPU-6050 GY-521. Ці пристрої є компактними модулями, що об'єднують у собі функціонал трьохосьового акселерометра і трьохосьового гіроскопа. З їхньою допомогою роботизована система здатна точно визначати своє положення в просторі.

Керування цими модулями відбувається через протокол I2C, що забезпечує універсальність їх застосування в різних проєктах. Ці сенсори працюють у діапазоні напруги від 3,3 до 5,0 В і базуються на чипі MPU-6050. Їхній гіроскоп може вимірювати швидкості обертання в діапазоні від ± 250 до $\pm 2000^\circ/\text{с}$, тоді як акселерометр має можливість вимірювати прискорення від ± 2 до ± 16 g. Вбудований 16-бітний АЦП гарантує високу точність одержуваних даних [14].

З розмірами плати в 20 x 16 мм, вони чудово підходять для інтеграції в роботизовану систему, забезпечуючи її здатність до автономної навігації та коректної орієнтації в просторі.

DHT22 (AM2302) – модуль сенсора вологості та температури, він надає можливість вимірювання показань вологості та температури навколишнього середовища. Відрізняється більшою точністю та широким діапазоном вимірюваних параметрів порівняно з сенсором DHT11.

Плату модуля розроблено на основі сенсора AM2302. Конструкція містить чутливий ємнісний сенсор вологості, NTC-термістор і 8-бітний АЦП для перетворення аналогових сигналів у цифрові. Сенсор характеризується

низьким енергоспоживанням, компактними розмірами і затримкою передачі даних у 2 с [15]. Діапазон вимірюваної відносної вологості становить 0 - 100%, а температури - від -40 до +80 °С.

Для інтеграції з платформами, як-от Arduino Uno, або іншими мікроконтролерними пристроями, використовуються 3 виводи: VCC, GND і OUT. Через вивід OUT на цифровий порт мікроконтролерного пристрою передаються виміряні параметри. Дані з сенсора доступні для перегляду в моніторі порту пристрою.

Живлення модуля здійснюється від зовнішнього джерела напругою 5 В, плат Arduino, іншого мікроконтролерного пристрою через контакти VCC (+5 В) і GND ("земля").

GPS-приймач GY-GPS6MV2 забезпечує визначення координат за допомогою системи глобального позиціонування і являє собою поліпшену версію попередника GY-GPS6MV1 [16]. Основою для цього модуля послужив GPS-чіп Ublox NEO-6M, який зарекомендував себе як високоточний і надійний компонент. Однією з визначних особливостей модуля є наявність вбудованої пам'яті та резервної батареї, завдяки яким зберігаються користувацькі налаштування.

Гнучкість використання GPS-приймача GY-GPS6MV2 забезпечується його сумісністю з різноманітними платформами, включно з Arduino, AVR, PIC і ARM. Крім того, пристрій оснащений керамічною антеною, що гарантує якісний прийом сигналу.

Що стосується технічних характеристик, то напруга живлення становить від 3 до 5 В, дані передаються через UART-порт зі швидкістю 9600 бод. Фізичні розміри модуля - 25x35 мм, тоді як розмір антени - 25x25 мм.

У комплект поставки, крім самого GPS-приймача GY-GPS6MV2, входить і GPS антена (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд GPS-приймача GY-GPS6MV2

TF-Luna (рисунок 2.8) являє собою високоефективний однокочковий далекомір, що працює на основі технології ToF (Time of Flight). Цей метод дає змогу проводити швидкі й точні вимірювання дальності, перетворюючи час, за який світло подорожує від джерела до об'єкта і назад, на відстань.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд далекоміра TF-Luna

Досягнута стабільність, точність і висока чутливість TF-Luna зумовлені специфічною оптичною та електричною конструкцією пристрою. Це дає змогу модулю розпізнавати об'єкти різних розмірів на різних відстанях.

Зокрема, він здатний визначати об'єкти завдовжки всього 3,5 см на відстані в 1 м і об'єкти завдовжки 28 см на відстані до 8 м [17].

Таким чином, з TF-Luna можна очікувати високої надійності вимірювань залежно від розміру об'єкта і дистанції його виявлення, що робить цей далекомір ідеальним вибором для багатьох застосунків, які потребують високої точності вимірювань відстані.

2.3.3 Модуль зв'язку

Для забезпечення надійного і швидкого зв'язку з польовим роботом прополювання вибір було зроблено на користь 4G-модему ZTE MF833. Цей модем має широкий діапазон підтримуваних частот від 800 МГц до 2600 МГц, що робить його універсальним рішенням для роботи в різних мобільних мережах, зокрема в українських LTE.

Швидкість передавання даних у модемі може досягати до 150 Мбіт/с, що забезпечує швидкий та ефективний обмін інформацією між роботом і оператором. Це особливо важливо для завдань, що вимагають оперативного реагування в реальному часі, як-от передача звіту несправності та даних із сенсорів робота.

Крім того, модем виготовлений компанією ZTE, яка відома своєю надійністю і якістю мережевого обладнання. Ця надійність є критично важливим фактором з огляду на те, що робот працюватиме в польових умовах, де потрібне стабільне і безперервне з'єднання.

Сумісність модему з різними мікроконтролерами та комп'ютерами також є його перевагою, оскільки це забезпечує більшу гнучкість під час інтеграції з іншими компонентами системи.

У рамках дипломного проєкту модем буде використовуватися для низки ключових завдань. Він дасть змогу не тільки віддалено керувати роботом, а й передавати дані з сенсорів для подальшого опрацювання та аналізу. Також через цей модем можна буде проводити оновлення

програмного забезпечення робота і відправляти оператору повідомлення про стан системи або про виникнення непередбачених ситуацій.

2.3.4 Двигуни системи

Для успішного та ефективного пересування роботизованої системи по полю, необхідно обрати оптимальний двигун, який би відповідав усім вимогам та критеріям дипломного проєкту. Після ретельного аналізу різних варіантів, перевагу було віддано двигуну постійного струму напругою 24 В, який представлено на рисунку 2.9. Однією з ключових особливостей цього двигуна є те, що він йде в комплекті з черв'ячним редуктором NMRV30. Такий редуктор забезпечує високий крутний момент, що своєю чергою гарантує стабільне та надійне функціонування роботизованої системи в різних умовах експлуатації.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд двигуна з редуктором NMRV30

2.3.5 Модулі керування двигунами

Для точного керування рухом робота було обрано чотири драйвери ММТ-4Q, які забезпечують надійне та плавне керування двигунами.

ММТ-4Q являє собою драйвер із широтно-імпульсною модуляцією, що забезпечує тихішу роботу двигуна, збільшений обсяг технічного обслуговування. Це безпосередньо впливає на довгий термін служби двигуна.

Завдяки застосуванню технології SMT, пристрій має компактні розміри. У роботі пристрою помітний низький рівень шуму, завдяки чому підвищується ККД і знижуються експлуатаційні витрати. Ці характеристики сприяють продовженню терміну служби постійного струму.

Особливістю драйвера є наявність клем роздільної здатності, гальмування і напряму, вибір функцій яких відбувається простим розмиканням або замиканням. Світлодіодні індикатори стану надають візуальний зворотний зв'язок про стан приводу, що значно полегшує контроль і діагностику, а також звідти можна взяти напругу для інформування системи керування.

Додатково, драйвер дає змогу встановлювати прямий і зворотний хід незалежно один від одного, що забезпечує гнучкість в управлінні та унеможливорює необхідність зовнішнього реверсивного контактора. Це також запобігає ризикам перегрівання або пошкодження компонентів.

Пристрій надає можливість встановлення вихідного струму та компенсації крутного моменту. Режим керування драйвером включає стандартний аналоговий інтерфейс з можливістю керування аналоговим сигналом 0-5 В або потенціометром. Захисні функції, як-от захист від перевантаження за напругою, зниженої напруги та перегрівання, забезпечують безпечну та довгострокову роботу пристрою.

2.3.6 Модулі живлення

Для забезпечення надійного і тривалого живлення роботизованої системи пропонування було обрано такі джерела живлення:

Генератор бензиновий Apollo HT-950 вироблений компанією Apollo в Китаї (рисунок 2.10). Він має номінальну потужність 0,95 кВт, працює на бензині та надає напругу 220 В за частоти струму 50 Гц. Цей синхронний

генератор має одну фазу, його двигун чотиритактний і охолоджується повітрям. Рівень шуму становить 67 дБ, і він оснащений вольтметром. Запуск генератора здійснюється вручну. Електробезпека забезпечується через клему заземлення, посилену ізоляцію силових проводів і кабелів, аварійне оперативне знеструмлення живильного електричного кола і виключення мимовільного торкання до струмопровідних частин.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд генератору Apollo HT-950



Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд імпульсного блоку живлення 12В 30А

В системі використовується чотири імпульсних блока живлення 12 В 30 А з активним охолодженням на базі контролера TL494I, зовнішній вигляд одного з таких представлено на рисунку 2.11, він забезпечує вихідну напругу 12 В з максимальним вихідним струмом 30 А і потужністю 360 Вт. Його вхідна напруга становить 220 В змінного струму, а для охолодження використовується вбудований вентилятор. Розміри блока живлення становлять 215x115x50 мм, а діапазон регулювання напруги варіюється від 9,5 В до 14,9 В. Цей блок живлення успішно застосовують не тільки для світлодіодного освітлення, а й для живлення потужної автомобільної акустики, зокрема сабвуферів, автомобільних компресорів, потужних електродвигунів постійного струму, камер систем відеоспостереження та інших споживачів постійного струму, зокрема й тих із реактивним навантаженням.

Ці джерела живлення було обрано для забезпечення стабільної та надійної роботи роботизованої системи в польових умовах.

2.3.6 Допоміжні модулі

Додаткові модулі, які реалізують системи розв'язки розроблюваної апаратної системи роботи, складаються з:

- чотирьох модулів 12-бітного ЦАП на МСР4725;
- двох драйверів крокового двигуна StepStick-2 A4988;
- двох крокових двигунів nema 17;
- реле SSR-25 DA.

Модуль 12-бітного ЦАП (цифро-аналогового перетворювача) на базі чипа МСР4725 необхідний для перетворення цифрового сигналу з мікрокомп'ютера на аналоговий сигнал, який надалі використовують для керування драйверами двигунів. Ці модулі забезпечують високу точність і стабільність сигналу, що критично для точного та надійного керування механічними компонентами системи.

Драйвери крокового двигуна на базі чипа Stepstick a4988 призначені для керування кроковими двигунами nema 17. Вони перетворюють аналогові сигнали, отримані від ЦАП, на керівні імпульси для двигунів. Ці драйвери мають можливість налаштування мікрокроків, що дає змогу досягати вищої точності руху.

Крокові двигуни nema 17 використовуються для виконання механічних рухів у системі. Вони характеризуються високою точністю і надійністю, що необхідно для виконання завдань, які потребують високої точності положення.

Реле типу SSR-25 DA (Solid State Relay) використовується для керування високими струмами або напругами в системі. Ці реле не має механічних контактів і працюють на основі напівпровідникових елементів, що забезпечує швидку та надійну комутацію.

2.4 Розробка методу виявлення та прополювання рослин

Для виявлення рослин було обрано один із найпопулярніших методів – оптичний метод, який використовує камери, OV5693 5MP обрані в розділі вище, та алгоритми комп’ютерного зору для розпізнавання рослин.

2.4.1 Виявлення рослин

Для алгоритму розпізнавання було обрано бібліотеку scikit-learn, одну з найпопулярніших для машинного навчання мовою Python [18]. Ця бібліотека надає широкий спектр алгоритмів, включно з класифікацією, яка може бути застосована для визначення типу рослин та їхнього стану. Простота використання scikit-learn забезпечує швидке та ефективне розгортання моделей на польовому роботі.

Scikit-learn побудована на основі бібліотек NumPy і SciPy і має хорошу інтеграцію з іншими бібліотеками для обробки даних і візуалізації, такими як Matplotlib. Це полегшує завдання виявлення рослин, оскільки всі етапи – від попереднього опрацювання даних, знятих з камери, до тренування і валідації моделі – можуть бути виконані в рамках однієї екосистеми.

Бібліотека пропонує функції для попереднього опрацювання зображень і даних, таких як нормалізація та кодування, які є критично важливими для точного розпізнавання рослин. Оскільки продуктивність алгоритму безпосередньо впливає на ефективність роботи робота, scikit-learn також надає зручні інструменти для оцінювання продуктивності моделі, включно з крос-валідацією та різними метриками [19].

Хоча scikit-learn може не пропонувати спеціалізовані рішення в галузі глибокого навчання, вона залишається прийнятним вибором для завдань класичного машинного навчання, якими є більшість завдань виявлення рослин для польових роботів. Широка підтримка з боку спільноти і велика кількість доступних ресурсів роблять цю бібліотеку привабливою як для новачків, так і для досвідчених фахівців у галузі машинного навчання та комп’ютерного зору.

2.4.2 Прополювання рослин

Метод прополювання рослин ґрунтуватиметься на використанні лазерної трубки CO₂ з потужністю 100W, зовнішній вигляд якої представлено на рисунку 2.12. Цей тип лазера обрано через його високу ефективність і точність в усуненні небажаної рослинності, мінімізуючи при цьому вплив на навколишні культури.



Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд лазерної трубки CO₂

Для забезпечення стабільної та надійної роботи цієї лазерної трубки в системі інтегрований спеціалізований блок живлення Cloudray 80-100W CO₂ що представлено на рисунку 2.13. Цей блок живлення постачає лазер необхідною електроенергією і утримує його в оптимальних робочих параметрах, що критично для ефективності і точності операцій прополювання.



Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд з переду та с заду блоку живлення Cloudray 80-100W CO₂

Крім блоку живлення, в систему включено модуль водяного охолодження, що складається з помпи і радіатора. Цей модуль необхідний для підтримання оптимальної температури лазерної трубки, запобігаючи перегріванню і продовжуючи термін служби обладнання.

Важливим компонентом є також дзеркало для лазера – 3Pcs Mo Mirror з діаметром 25 мм і товщиною 3 мм. Це дзеркало служить для корекції та спрямування лазерного променя, що в поєднанні з кроковими двигунами пета 17 забезпечує можливість точного спрямування променя на небажані рослини.

Крокові двигуни в цій конфігурації використовуються для управління положенням дзеркала, даючи змогу, закріпленій лазерній системі націлюватися на різні типи рослинності з високим ступенем точності.

Таким чином, інтеграція цих компонентів – лазерної трубки з потужністю 100 Вт, спеціалізованого блоку живлення, системи водяного охолодження, дзеркала для корекції та спрямування лазерного променя, а також крокових двигунів – створює потужну, надійну та ефективну систему

для лазерного прополювання рослин. Ця система не лише забезпечує можливість точного спрямування променя на небажані рослини, а й мінімізує вплив на навколишню флору та екосистему.

2.4 Розробка структурної схеми системи робота

Наведена на рисунку 2.14 розроблена структурна схема робота складається з таких компонентів:

- плати мікрокомп'ютера;
- чотирьох модулів 12-бітного ЦАП;
- чотирьох драйверів ММТ-4Q;
- чотирьох електродвигунів;
- двох драйверів крокового двигуна;
- двох крокових двигунів;
- реле;
- CO₂ лазера;
- двох гіроскопів;
- GPS модулю;
- модему ZTE MF833;
- сенсору температури й вологості;
- лідару;
- відеокамери.

Плата мікрокомп'ютера є центральним керувальним елементом, що відповідає за обробку вхідних сигналів від різних сенсорів, обчислення алгоритмів для позиціонування робота, а також за комунікацію між різними модулями. Після опрацювання вхідних даних і обчислення відповідних алгоритмів, мікрокомп'ютер подає керівні сигнали на виконавчі пристрої.

Цифро-аналогові перетворювачі використовуються для перетворення цифрових сигналів на аналогові, які потім спрямовуються на драйвери ММТ-

4Q. Ці драйвери керують електродвигунами, приймаючи аналоговий сигнал у діапазоні від 0 до 5 В.

Електродвигуни відповідають за механічний рух робота. Вони синхронізуються з драйверами ММТ-4Q, які налаштовані так, щоб оптимізувати крутний момент і швидкість двигунів залежно від завдання.

Драйвери крокового двигуна керують двома кроковими двигунами, які використовуються для точного позиціонування дзеркала. Це дзеркало направляє лазерний промінь від CO₂ лазера для точкової обробки ґрунту або видалення бур'янів.

Реле в цій системі керує увімкненням і вимкненням CO₂ лазера, надаючи можливість миттєвого перемикачання між режимами роботи.

Гіроскопи та GPS-модуль використовуються для визначення положення та орієнтації робота на полі. Це критично важливо для точного позиціонування і виконання завдань прополювання.

4G-модем ZTE MF833 включено в структуру робота з метою забезпечення зв'язку між автономною машиною та оператором. Хоча робот здатний функціонувати автономно, модем дає змогу оператору надсилати конкретні команди, як-от повернення на базу або зміна робочої ділянки. Ця функціональність робить модем важливим елементом системи, покращуючи гнучкість і адаптивність робота в різних робочих умовах.

сенсор температури і вологості здійснює моніторинг навколишніх умов, що може бути корисно для адаптації алгоритмів роботи робота залежно від кліматичних умов.

Лідар у структурі робота розташований так, що його промені падають під певним кутом до поверхні, що дає змогу отримувати інформацію не тільки про найближчі об'єкти, а й про рельєф поля. Ця особливість розташування покращує можливості робота з навігації, планування шляху і виявлення перешкод. Дані з лідача доповнюють інформацію від інших сенсорів і систем, включно з алгоритмами комп'ютерного зору на

відеокамері, для комплексного оцінювання довкілля і точного виконання завдань прополювання.

Відеокамера в структурі робота використовується для завдань комп'ютерного зору і працює в тісній зв'язці з мікрокомп'ютером, на якому виконуються відповідні алгоритми. Камера знімає навколишнє середовище й аналізує отримані зображення для розпізнавання рослин і бур'янів. Ця інформація в поєднанні з даними від лідара та інших сенсорів дає змогу роботу точно навігувати і виконувати завдання прополювання з високим ступенем точності.

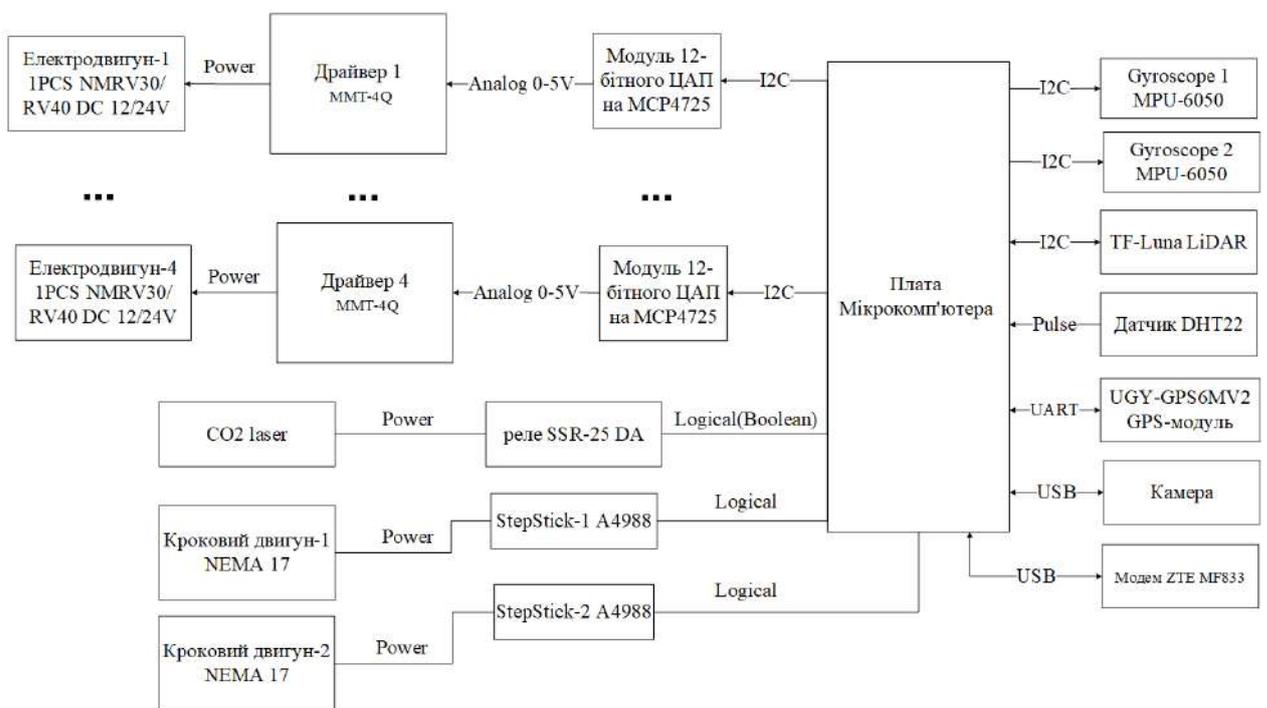


Рисунок 2.14 – Структурна схема робота

Загалом структурна схема робота формує складну, але гармонійно працюючу систему, де кожен компонент виконує певну функцію. Керований центральним мікрокомп'ютером, робот здатний автономно виконувати завдання прополювання на сільськогосподарських полях. У цій системі також присутній елемент зв'язку з оператором, що додає додаткову гнучкість для виконання команд на кшталт повернення на базу або зміни робочої

ділянки. Така інтеграція компонентів робить робота адаптивним та ефективним у різноманітних умовах експлуатації.

2.5 Розробка електричної схеми робота

На рисунку 2.15 представлено принципову електричну схему робота. Центральним керувальним вузлом є мікрокомп'ютер ODROID C4, пов'язаний через I²C шину з трьома компонентами сенсорної системи: лідаром TF-Luna і парою гіроскопів MPU-6050. I²C протокол забезпечує різні конфігурації взаємодії, включно з режимами Slave, Master і Multi-Master, і сумісний з пристроями від різних виробників. Цей двопровідний інтерфейс, розроблений компанією Philips, підтримує стандартні швидкості передачі даних до 1000 Мбіт/с. Мікрокомп'ютер ODROID C4 функціонує в ролі Master, ініціюючи всю комунікацію по шині і встановлюючи таймінг опитування сенсорів.

GPS-приймач, який є ще одним елементом сенсорної системи, під'єднаний до ODROID C4 по шині UART. Цей протокол використовує асинхронний послідовний зв'язок з налаштовуваною швидкістю. Відсутність тактового сигналу в цьому випадку забезпечує свободу в синхронізації між передавальним пристроєм GY-GPS6MV2 і ODROID C4.

Сенсор вологості та температури DHT22, інший компонент сенсорної системи, під'єднаний одним дротом DATA до мікрокомп'ютера. Зв'язок забезпечується через резистор на 10 кОм для підтяжки шини до високого рівня, що необхідно для переходу в стан IDLE за відсутності передачі даних.

Камеру OV5693 5MP під'єднано до ODROID C4 через USB-шину, що забезпечує живлення і високошвидкісну передачу даних. Крім того, до SPI-шини мікрокомп'ютера приєднано п'ять аналого-цифрових перетворювачів, з чотирьох із яких аналоговий сигнал спрямовується на драйвери двигунів MMT-4Q. П'ятий перетворювач керує потужністю лазера Cloudray 80-100W CO₂.

також використовуються для орієнтації та навігації робота. Для точного керування рухом робота було обрано чотири драйвери ММТ-4Q, які забезпечують надійне та плавне керування двигунами.

Основні елементи системи:

- сенсорна система: включає в себе лідар для рельєфу і ближніх об'єктів, гіроскопи для стабільності та орієнтації, а також GPS-приймач для визначення місця розташування.

- обробка даних: використовуються методи машинного навчання з використанням бібліотеки scikit-learn для обробки зображень від камери і визначення рослин, які потребують прополювання.

- прополювання за допомогою лазера: CO₂ лазер, керований через дзеркало і крокові двигуни, здійснює точкову прополку.

- адаптивність і гнучкість: система здатна адаптуватися до різних полів та умов, автоматично корегуючи свої методи прополювання та маршрути руху.

2.6.2 Загальний алгоритм функціонування роботи

На рисунку 2.16 представлено загальний алгоритм функціонування роботи. Робота системи починається з ініціалізації всіх компонентів, включно з мікрокомп'ютером ODROID C4, сенсорами та двигунами. Цей етап важливий для підготовки всієї системи до виконання завдання прополювання. Наступним кроком є калібрування, яке містить у собі налаштування параметрів лідара TF-Luna, двигунів і лазерної системи. Після калібрування відбувається визначення поточного місця розташування робота на полі з використанням GPS та інших сенсорів.

Після отримання завдання виконуються процес планування маршруту, після чого відбуваються виконання головного процесу поведінки дрону.

Якщо головний процес поведінки дрону виявляє об'єкт який потребує прополювання, то виконується ініціалізація лазерної установки, якщо ніяких

виключень немає, виконується процес прополювання, після чого керування знову передається процесу поведінки робота.

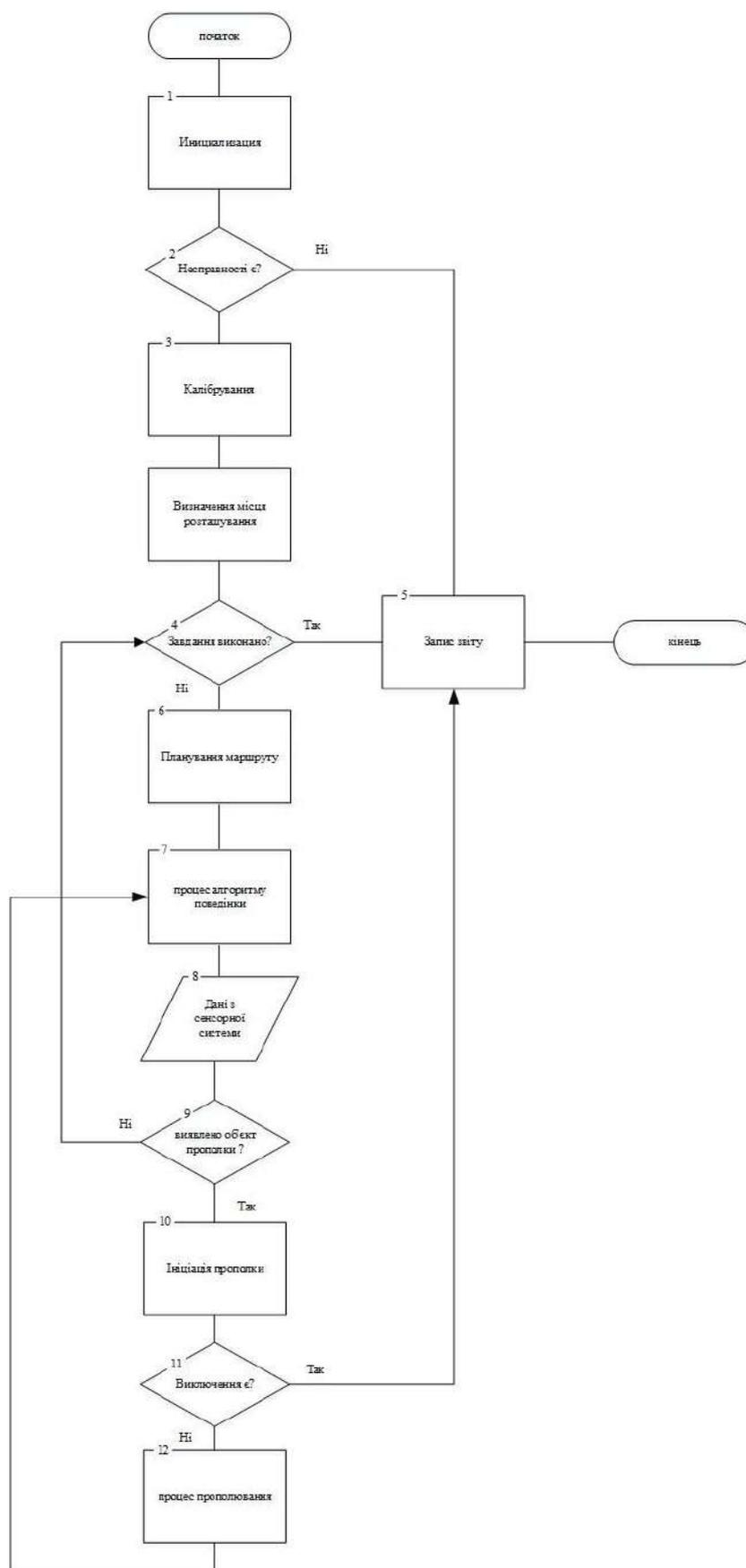


Рисунок 2.16 – Загальний алгоритм функціонування робота

3 РОЗРОБКА ТА НАЛАШТУВАННЯ ПРОГРАМНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ

У цьому розділі охоплюється весь спектр робіт з розробки та налаштування програмного забезпечення для польового робота прополювання. Це охоплює встановлення операційної системи на одноплатний комп'ютер ODROID C4, вибір відповідної мови програмування та інструментів, розробку алгоритмів і програмної логіки, а також етапи тестування і налагодження.

3.1 Встановлення операційної системи на ODROID C4

Серед доступних операційних систем на мікрокомп'ютер ODROID C4 було обрано операційну систему Ubuntu [20]. Цей вибір зумовлений низкою ключових чинників, які оптимально відповідають вимогам і завданням проєкту зі створення польового робота прополювання. Одним з основних аргументів на користь Ubuntu є її висока продуктивність і сумісність з різними апаратними платформами. ODROID C4, з його 4 ГБ оперативної пам'яті та сучасними інтерфейсами для підключення, якнайповніше розкриває свій потенціал під час використання цієї операційної системи.

Додатковою перевагою Ubuntu є активна спільнота розробників і регулярні оновлення. Це забезпечує доступ до останніх драйверів, бібліотек і безпечних патчів, що критично важливо для успішної реалізації проєкту. Специфіка роботи польового робота прополювання буде передбачати запуск ресурсномістких додатків, що в Ubuntu може бути реалізовано найефективніше завдяки хорошій оптимізації системи. Ubuntu також вирізняється модульністю і гнучкістю, що дає змогу легко встановити і налаштувати необхідні пакети програмного забезпечення.

Процес встановлення операційної системи на ODROID C4 здійснювався за допомогою кросплатформного програмного інструменту Balena Etcher, який запускався на іншому комп'ютері [21]. Програма дозволяє простим покроковим способом записати образ системи на microSD-накопичувач. Згідно з рекомендаціями, клас цієї SD-карти не повинен бути нижчим за 10. Після завантаження та встановлення програми Balena Etcher, користувач запускає її і бачить інтерфейс (рисунок 3.1), в якому потрібно вибрати "Select Image" для пошуку і вибору образу операційної системи Ubuntu. Підключивши SD-карту до комп'ютера через адаптер або спеціально відведений порт, користувач обирає цей носій, натискаючи "Select Device", і починає процес запису, натиснувши "Flash". Після завершення процесу встановлення, SD-карта вставляється в слот для карт пам'яті ODROID C4.

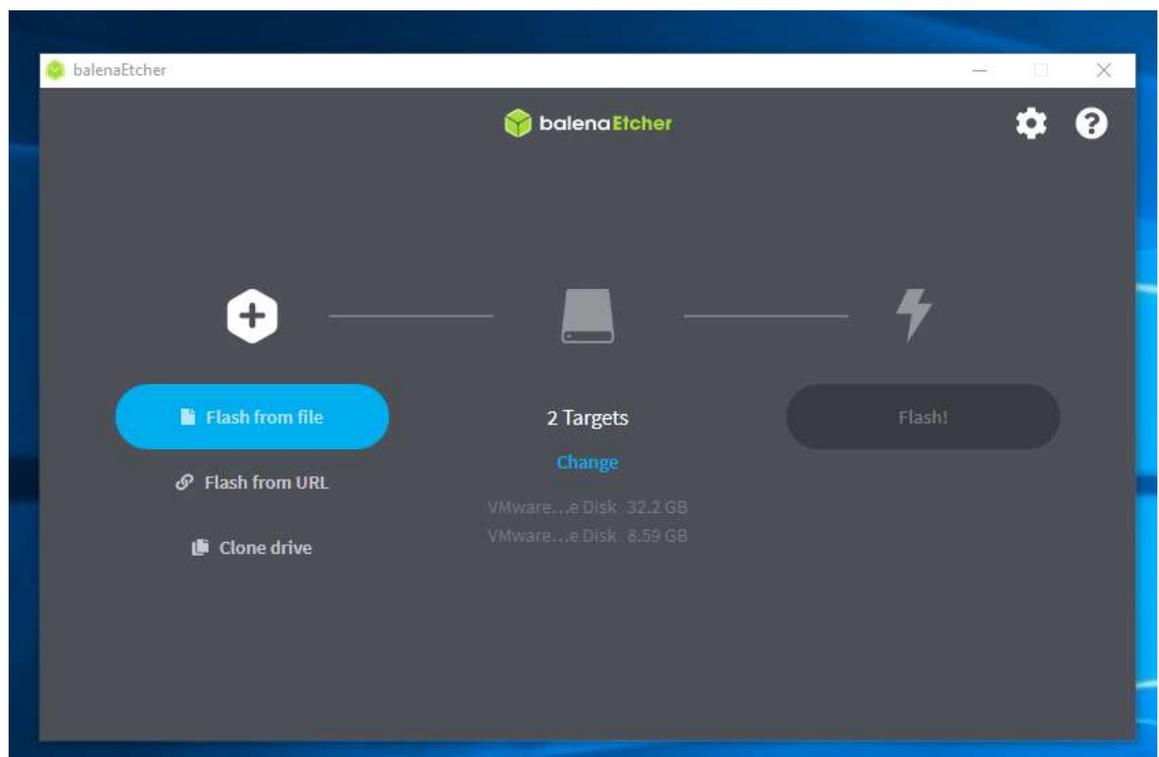


Рисунок 3.1 – Інтерфейс програми Balena Etcher

3.2 Вибір мови програмування та інструментів реалізації

Для реалізації програмної частини проєкту зі створення польового робота прополювання було обрано мову програмування Python. Цей вибір зумовлений кількома ключовими факторами. По-перше, Python є однією з найбільш популярних і універсальних мов програмування з відкритим вихідним кодом. По-друге, для Python доступно безліч бібліотек і фреймворків, які можуть значно прискорити процес розробки та тестування.

Зокрема, для розв'язання завдань машинного навчання та аналізу даних було обрано бібліотеку Scikit-learn. Ця бібліотека має широкий набір інструментів для вирішення різних завдань, починаючи від простих алгоритмів класифікації та регресії, закінчуючи складними методами для роботи з великими даними.

Що стосується управління пінами мікрокомп'ютера ODROID C4, то для цього було встановлено спеціалізований пакет для роботи з GPIO (General Purpose Input/Output) портами. Встановлення пакета здійснювалося через репозиторій hardkernel, дотримуючись наведених команд:

```
$> sudo add-apt-repository -y ppa:hardkernel/ppa \  
&& sudo apt updat  
  
$> sudo apt install -y python3 python3-dev python3-pip \  
odroid-wiringpi libwiringpi-dev  
  
$> python3 -m pip install -U --user pip Odroid.GPIO
```

Ці інструменти дають змогу керувати пінами ODROID C4 безпосередньо з коду на Python, що істотно спрощує інтеграцію між апаратною та програмною частинами проєкту.

3.3 Управління роботом через телеграм-бот

У цьому підрозділі розглядається система керування автономним роботом для прополювання сільськогосподарських угідь через телеграм-бота. Основна мета - створення інтуїтивно зрозумілого та зручного інтерфейсу для

оператора для завдання параметрів роботи та моніторингу її виконання в реальному часі.

3.3.1 Вибір платформи для реалізації телеграм-бота

За результатами дослідження різних доступних бібліотек і фреймворків, вибір зупинився на pyTelegramBotAPI. Основними критеріями вибору стали широкі можливості для розробки та активна спільнота розробників [22].

3.3.2 Вибір платформи для реалізації телеграм-бота

Телеграм-бот пропонує наступний спектр функцій для управління роботом:

- завдання географічної зони для прополювання;
- завдання географічної зони повернення;
- моніторинг стану робота (поточна позиція, несправності тощо);
- отримання звіту щодо виконаної роботи.

3.3.3 Інтерфейс і взаємодія з оператором

Інтерфейс бота реалізовано у формі текстового меню з можливістю надсилання команд і отримання відповідей у вигляді текстових повідомлень.

3.3.3 Інтеграція з основною системою керування роботом

Для забезпечення надійного і безпечного управління роботом, телеграм-бот інтегрований з основною системою управління, сервер працює на ODROID C4. Механізм інтеграції включає передавання команд та обмін даними між ботом і програмним забезпеченням, що керує роботом.

3.4 Розробка програми розпізнавання та класифікації рослин

У даному підрозділі розглядається система управління автономним роботом для прополювання сільськогосподарських угідь через телеграм-бота.

Основна мета — створення інтуїтивно зрозумілого та зручного інтерфейсу для оператора для задання параметрів роботи та моніторингу її виконання в реальному часі.

3.4.1 Вихідні дані

Для навчання моделі класифікації рослин було обрано дані з популярної платформи Kaggle. Цей майданчик спеціалізується на проведенні змагань з машинного навчання та аналізу даних. Kaggle надає дослідникам, статистикам і розробникам доступ до великої колекції наборів даних, забезпечує середовище для обміну знаннями та форум для обговорення наукових питань, що робить його незамінним ресурсом для роботи над цією дипломною роботою.

У рамках цього проєкту було обрано специфічний набір даних, що складається з 1300 високоякісних зображень розміром 512x512 пікселів, зразки даних можна побачити на рисунку 3.2. Ці зображення являють собою фотографії культурних рослин кунжуту і різних типів бур'янів. Для забезпечення високої точності розпізнавання, кожне зображення анотовано у форматі YOLO, який є оптимальним для завдань об'єктного розпізнавання в реальному часі [23].

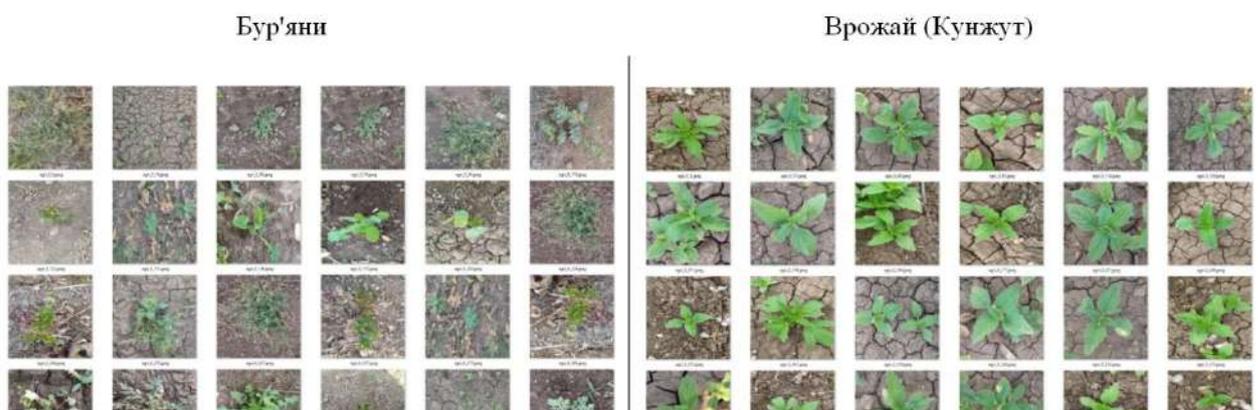


Рисунок 3.2 – Приклад вхідних даних для класифікації

Вибір цього набору даних був особливо важливий, оскільки він повинен синергічно взаємодіяти з описаним раніше модулем прополювання робота. Цей модуль містить сучасні технологічні рішення, як-от блок живлення для лазера, помпу з радіатором для водяного охолодження лазера, а також систему управління лазерним променем за допомогою двох крокових двигунів і дзеркала. Така апаратна інфраструктура, для боротьби з бур'янами, вимагає високої точності роботи програмного забезпечення, виявлення й класифікацій, для точності виконання робочого процесу робочого процесу.

Для опрацювання та класифікації зображень у цій роботі використовувалася бібліотека `scikit-learn` [24]. Вона є одним із найнадійніших та найефективніших інструментів для машинного навчання мовою Python. Вбудовані в бібліотеку алгоритми дають змогу швидко й ефективно обробляти великі обсяги даних, що ідеально підходить для роботи з набором зображень високої роздільної здатності. Завдяки простому та інтуїтивно зрозумілому API, `scikit-learn` забезпечує зручний і швидкий спосіб розроблення, тестування та впровадження машинних моделей, що стає критично важливим в умовах поля з культурами та бур'янами, яке постійно змінюється.

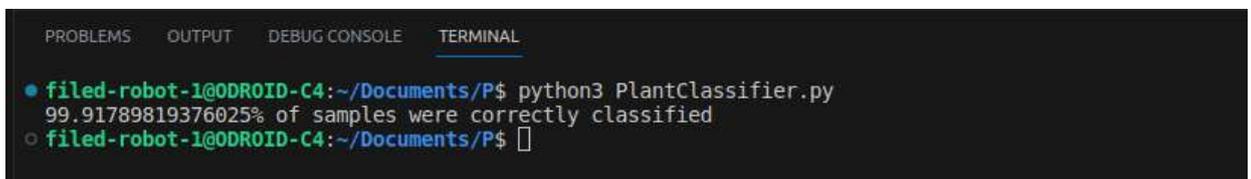
3.4.2 Реалізація коду

У розробленому програмному рішенні використовується багатий інструментарій Python для машинного навчання з бібліотекою `Scikit-learn`. Початкове завдання коду полягає в читанні та попередній обробці зображень з використанням бібліотеки `skimage`. Для цього зображення завантажуються із заданої директорії, приводяться до розміру 15x15 пікселів і трансформуються в одновимірні масиви. Таке попереднє опрацювання даних спрямоване на прискорення часу навчання й оптимізацію обчислювальних ресурсів.

Дані потім розділяються на навчальну і тестову вибірки у співвідношенні 80/20 з використанням функції `train_test_split` з бібліотеки `Scikit-learn`, що забезпечує стратифікацію вибірки.

Основою класифікації слугує метод опорних векторів (SVM). Підбір оптимальних параметрів моделі здійснюється через `Grid Search`, що дає змогу автоматично вибрати найкращі значення гіперпараметрів `gamma` і `C`.

Ефективність моделі оцінюється за метрикою "accuracy", яка обчислюється функцією `accuracy_score`. Результати оцінювання виводяться в консоль (рисунок 3.3).



```
PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL
● filed-robot-1@ODROID-C4:~/Documents/P$ python3 PlantClassifier.py
99.91789819376025% of samples were correctly classified
○ filed-robot-1@ODROID-C4:~/Documents/P$ █
```

Рисунок 3.3 – Результат ефективності оцінювання моделі

3.5 Тестування та налагодження програмної частини

Розроблений програмний код піддавався комплексному тестуванню з метою виявлення та усунення можливих помилок і недоліків. Програма, написана мовою Python і використовує бібліотеки як `Scikit-learn`, пройшла через кілька етапів перевірки. Ці етапи включали юніт-тести для окремих функцій, як-от читання та ресайз зображень, та інтеграційні тести для перевірки спільної роботи різних модулів. Також було проведено стрес-тести, щоб переконатися в здатності системи ефективно обробляти великі обсяги даних.

Специфічним моментом у тестуванні була перевірка алгоритму класифікації рослин. Результати цієї частини тестування ілюстровані двома малюнками відображеними за допомогою бібліотеки `OpenCV` [25]. На рисунку 3.4 відображено успішну класифікацію бур'янів, до яких система

націлюється лазером. Рисунок 3.5, навпаки, демонструє, як система коректно ідентифікує врожай і ухвалює рішення про відсутність дій лазера.



Рисунок 3.4 – Результат успішної класифікації бур'яна

У процесі тестування було виявлено та успішно усунуто деякі проблеми. Наприклад, було доповнено рамки прицілювання лазера, що становлять 50 на 50 пікселів, для більш точного знищення бур'янів.

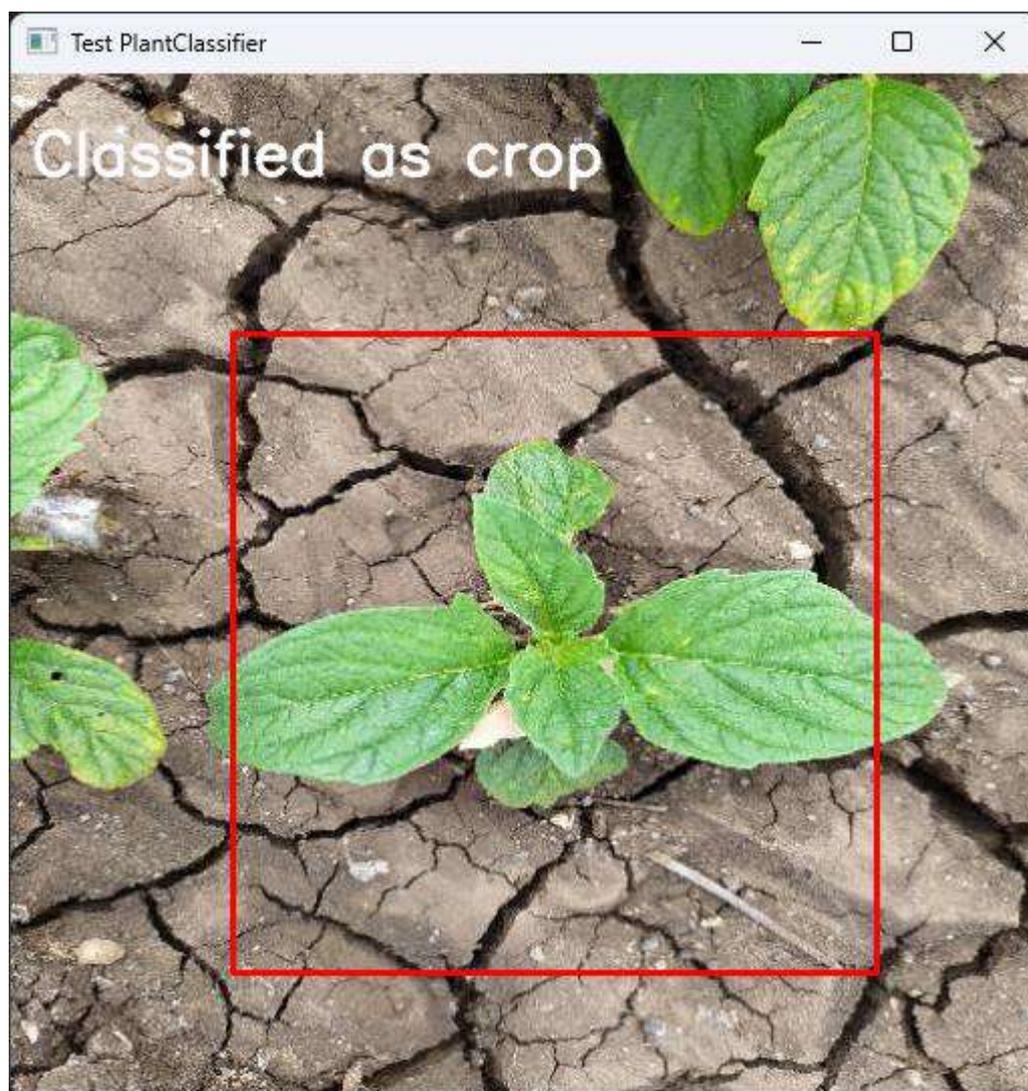


Рисунок 3.5 – Результат успішної класифікації врожаю

Щодо файлу "crop_weed.p", що містить навчену модель, варто зазначити, що цей файл специфічний для вихідного набору даних і не призначений для узагальненого використання на інших типах посівів. Однак, ця модель може бути застосована на полях з аналогічними посівами без додаткового калібрування. Крім того, за допомогою розробленого програмного забезпечення класифікатора PlantClassifier можна згенерувати модель для різних культур. Це дає змогу перемикати моделі залежно від сезонних завдань, що додає додаткової гнучкості в автоматизованих системах управління прополюванням.

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що програмний код доволі надійний та ефективний для задачі автоматизованої

прополювання. Проведене тестування підтверджує готовність програмного рішення до інтеграції в розроблювану аграрну систему прополювання.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі магістра було здійснено автоматизацію процесу управління роботом для прополювання. Це завдання розв'язували на базі спеціально розробленого апаратно-програмного комплексу, який містить у собі роботизовану систему з можливістю навігації та взаємодії з навколишнім середовищем. Під час роботи було розглянуто та проаналізовано наявні підходи до створення схожих роботизованих систем. Особлива увага приділялася методам навігації, включно з визначенням положення та орієнтації робота, а також засобам взаємодії апаратної системи з оточенням, наприклад, з використанням сенсорів і камер.

У програмній частині роботи було розроблено спеціалізований алгоритм класифікації, що використовує машинне навчання для розпізнавання бур'янів і культурних рослин. Програмне забезпечення, включно з кодом для зображень і класифікації, було протестовано з використанням різних типів тестів, включно з юніт-тестами, інтеграційними тестами і стрес-тестами. Результати класифікації бур'янів представлено на рисунку 3.4, а класифікації культурних рослин - на рисунку 3.5. Система з лазерним покажчиком успішно націлюється на бур'яни і пропускає культурні рослини, що підтверджує її ефективність.

Наукова новизна дипломної роботи магістра полягає у розробці та навчанні моделей завдяки розробленому програмному забезпеченню PlantClassifier, моделі необхідні для роботи алгоритму класифікації. У дипломній роботі було створено модель "crop_weed.p", навчену на основі заздалегідь підготовлених даних для певних сільськогосподарських культур. Ця модель демонструє високу ефективність класифікації рослин. Завдяки PlantClassifier, передбачається можливість розробки, адаптації та налаштування моделей для роботи з іншими сільськогосподарськими культурами, що дає змогу створювати модель для конкретного врожаю,

такий підхід забезпечує гнучкість, шляхом перемикання алгоритму класифікації між моделями при зміні культур на полях.

При розробці PlantClassifier у код було інтегровано можливість візуалізації робочої зони лазера. Це реалізовано через додавання на зображення червоного квадрата, позицію якого можна легко змінювати під час компіляції для точного керування.

Практична цінність полягає в тому, що було розроблено систему, яка дає змогу, створювати моделі класифікації врожаю для спеціалізованих рішень, конкретних видів врожаю, що є важливим для агрономів та фермерів. Інтеграція з телеграм-ботом додає зручність використання системи, даючи змогу користувачам отримувати інформацію та керувати процесом класифікації рослин віддалено, що значно спрощує моніторинг та прийняття рішень на сільськогосподарських угіддях. Ці аспекти в сукупності відкривають нові горизонти у сфері агротехнологій і сприяють поліпшенню якості та стійкості сільськогосподарського виробництва.

Таким чином, розроблений апаратно-програмний комплекс не лише ефективно розв'язує задачу класифікації рослин для прополювання, а й надає гнучкий інструментарій для подальшого вдосконалення та адаптації системи до різних агрокультурних умов.

Проект розробленої роботизованої системи пройшов апробацію на всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених у галузях «Телекомунікацій, автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих та інформаційних технологій»[26].

ВПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Agricultural robots advantages, automation, history, future. Agri Farming. URL: <https://www.agrifarming.in/agricultural-robots-advantages-automation-history-future#:~:text=Robotics%20was%20first%20developed%20in,years%20between%201950%20and%201960> (date of access: 09.06.2023).
2. : Our vision for the future: autonomous weeding (in development) AVO. Ecorobotix. URL: <https://ecorobotix.com/en/avo/> (date of access: 10.08.2023).
3. Ovchinnikov A. S. Kinematic study of a robot-weeder with a sprayer function and fertigation. IOP conference series: earth and environmental science. 2020. Vol. 422. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012103>.
4. Optimal design and tuning of pid-type interval type-2 fuzzy logic controllers for delta parallel robots. International journal of advanced robotic systems. 2016. Vol. 13, no. 3. URL: <https://doi.org/10.5772/63941> (date of access: 30.09.2023).
5. Chebrolu N. Agricultural robot dataset for plant classification, localization and mapping on sugar beet fields. The international journal of robotics research. 2017. Vol. 36, no. 10. P. 8. URL: <https://doi.org/10.1177/0278364917720510>.
6. Chebrolu N. Agricultural robot dataset for plant classification, localization, and mapping on sugar beet fields. The international journal of robotics research. 2017. Vol. 36, no. 10. P. 8. URL: <https://doi.org/10.1177/0278364917720510> (date of access: 18.08.2023).
7. LaserWeeder implement. Carbon Robotics. URL: <https://carbonrobotics.com/laserweeder> (date of access: 02.08.2023).

8. Groover H. Like science fiction,' Seattle startup sends laser-equipped robots to zap weeds on farmland. Seattle Times. URL: <https://www.seattletimes.com/business/seattle-startup-sends-laser-equipped-robots-to-zap-weeds-on-farmland/> (date of access: 24.09.2023).
9. Kumar S. Designing and implementing a versatile agricultural robot: a vehicle manipulator system for efficient multitasking in farming. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2075-1702/11/8/776> (date of access: 27.09.2023).
10. Kiran S. Agri robot. GrabCAD. URL: <https://grabcad.com/library/agri-robot-1> (date of access: 14.07.2023).
11. Brooks R. A robust layered control system for a mobile robot. IEEE journal on robotics and automation. 1986. Vol. 2, no. 1. 23. URL: <https://doi.org/10.1109/JRA.1986.1087032> (date of access: 14.10.2023).
12. Odroid-c4. Hardkernel. URL: <https://www.hardkernel.com/shop/odroid-c4/> (date of access: 23.08.2023).
13. Камера OV5693 5MP USB camera (24710). evo.net.ua. URL: <https://evo.net.ua/kamera-ov5693-5mp-usb-camera-24710/> (дата звернення: 09.08.2023).
14. MPU-6000 and MPU-6050 product specification : підручник. 2013. 52 p. URL: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf> (date of access: 15.08.2023).
15. Liu T. Digital humidity and temperature sensor AM2302/DHT22. 5 p. URL: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Digital+humidity+and+temperature+sensor+AM2302.pdf> (date of access: 24.08.2023).
16. Fuller J. GY-NEO6MV2 flight control GPS module. Datasheet Hub. URL: <https://www.datasheethub.com/gy-neo6mv2-flight-control-gps-module/> (date of access: 25.08.2023).
17. TF-Luna instruction manual : Manual. URL: https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove-TF_Mini_LiDAR/res/SJ-PM-TF-Luna-A03-Product-Manual.pdf (date of access: 30.08.2023).

18. Lutz M. Learning python, : підручник. 3rd ed. O'Reilly Media, 2013. 1643 p.
19. Raschka S. Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn: Develop machine learning and deep learning models with Python : підручник. 2nd ed. Packt Publishing, 2022. 774 p.
20. Clinton D. Ubuntu linux bible : підручник. 10th ed. Wiley, 2020. 752p.
21. Yang J. Odroid Etcher development thread. ODROID Forum. URL: <https://forum.odroid.com/viewtopic.php?t=40411> (date of access: 13.10.2023).
22. Modrzyk N. Building telegram bots: develop bots in 12 programming languages using the telegram bot API : підручник. Apress, 2018. 319 p.
23. Dabhi R. Crop and weed detection data with bounding. Kaggle. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/ravirajsinh45/crop-and-weed-detection-data-with-bounding-boxes> (date of access: 21.09.2023).
24. Collins R. Scikit-learn in details: deep understanding : підручник. Independently published, 2018. 69 p.
25. Howse J. Learning OpenCV 4 Computer Vision with Python 3: get to grips with tools, techniques, and algorithms for computer vision and machine learning : підручник. Packt Publishing, 2020. 372 p.
26. Архів – Всеукраїнський науково-практичний форум "ТАК". Всеукраїнський науково-практичний форум "ТАК". URL: <https://tak.donntu.edu.ua/archiv/> (дата звернення: 13.12.2023).

ДОДАТОК А

ПРОГРАМА ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ

Лістинг А – PlantClassifier.py

```
import os
import pickle

from skimage.io import imread
from skimage.transform import resize
import numpy as np
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.model_selection import GridSearchCV
from sklearn.svm import SVC
from sklearn.metrics import accuracy_score

input_dir = "./learn_data/"
categories = ["crop", "weed"]

data = []
lables = []

for category_idx, category in enumerate(categories) :
    for file in os.listdir(os.path.join(input_dir, category)):
        img_path = os.path.join(input_dir, category, file)
        img = imread(img_path)
        img = resize(img, (15,15))
        data.append(img.flatten())
        lables.append(category_idx)

data = np.asarray(data)
lables = np.asarray(lables)

x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(data, lables,
test_size=0.2, shuffle=True, stratify=lables)

classifaer = SVC()
parameters = [{'gamma': [0.01, 0.001, 0.0001], 'C': [1, 10, 100, 1000]}]
grid_search = GridSearchCV(classifaer, parameters)
grid_search.fit(x_train, y_train)

best_estimator = grid_search.best_estimator_
y_prediction = best_estimator.predict(x_test)

score = accuracy_score(y_prediction, y_test)

print('{}% of samples were correctly classified'.format(str(score * 100)))

pickle.dump(best_estimator, open("./crop_weed.p", "wb"))
```

ДОДАТОК В

ПРОГРАМА ПОВЕДІНКИ РОБОТУ

Лістинг В – PlantRobotBhav.py

```

import os
import pickle
import time
import pickle
import cv2
import numpy as np
from skimage.transform import resize
import Odroid.GPIO as GPIO
import spidev
import smbus

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

#Step NG
DIR1 = 4
STEP1 = 7
DIR2 = 16
STEP2 = 17

GPIO.setup(DIR1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(STEP1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(DIR2, GPIO.OUT)
GPIO.setup(STEP2, GPIO.OUT)

spi = spidev.SpiDev()
spi.open(0, 0)
spi.max_speed_hz = 1000000

bus1 = smbus.SMBus(1) # Для ADC
bus2 = smbus.SMBus(2) # Для сенсоров

ADC_ADDRESS = 0x48
ADC0_REGISTER = 0x00
ADC1_REGISTER = 0x01
ADC2_REGISTER = 0x02
ADC3_REGISTER = 0x03

GPS_ADDRESS = 0x42
GPS_REGISTER = 0x00
NUM_BYTES = 16

cap = cv2.VideoCapture(0)

with open("./crop_weed.p", "rb") as f:
    model = pickle.load(f)

def predict_image(image):

```

```

img_rgb = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
img_resized = resize(img_rgb, (15, 15))
img_flatten = img_resized.flatten()
img_flatten = np.expand_dims(img_flatten, axis=0)
prediction = model.predict(img_flatten)
return "crop" if prediction[0] == 0 else "weed"

def move_stepper(steps, DIR, STEP):
    GPIO.output(DIR, True)
    for i in range(steps):
        GPIO.output(STEP, True)
        time.sleep(0.001)
        GPIO.output(STEP, False)
        time.sleep(0.001)

def activate_laser():
    spi.xfer2([0x01])

def deactivate_laser():
    spi.xfer2([0x00])

def move_robot_to_next_position():
    speed = 0xFF
    bus1.write_byte_data(ADC_ADDRESS, ADC0_REGISTER, speed)
    bus1.write_byte_data(ADC_ADDRESS, ADC1_REGISTER, speed)
    bus1.write_byte_data(ADC_ADDRESS, ADC2_REGISTER, speed)
    bus1.write_byte_data(ADC_ADDRESS, ADC3_REGISTER, speed)
    time.sleep(5)
    bus1.write_byte_data(ADC_ADDRESS, ADC0_REGISTER, 0x00)
    bus1.write_byte_data(ADC_ADDRESS, ADC1_REGISTER, 0x00)
    bus1.write_byte_data(ADC_ADDRESS, ADC2_REGISTER, 0x00)
    bus1.write_byte_data(ADC_ADDRESS, ADC3_REGISTER, 0x00)

def check_current_position_with_gps():
    gps_data = bus2.read_i2c_block_data(GPS_ADDRESS, GPS_REGISTER, NUM_BYTES)
    latitude, longitude = parse_gps_data(gps_data)
    return latitude, longitude

def parse_gps_data(gps_data):
    nmea_sentence = ''.join(chr(c) for c in gps_data)
    if nmea_sentence.startswith('$GPGGA,'):
        fields = nmea_sentence.split(',')
        if len(fields) < 15:
            return None, None

        raw_latitude = fields[2]
        raw_longitude = fields[4]

        latitude = float(raw_latitude[0:2]) + float(raw_latitude[2:]) / 60.0
        if fields[3] == 'S':
            latitude = -latitude

        longitude = float(raw_longitude[0:3]) + float(raw_longitude[3:]) /
60.0
        if fields[5] == 'W':
            longitude = -longitude

        return latitude, longitude
    else:
        return None, None #
while True:
    ret, image = cap.read()

```

```
if not ret:
    print("Failed to grab image")
    break

classification = predict_image(image)

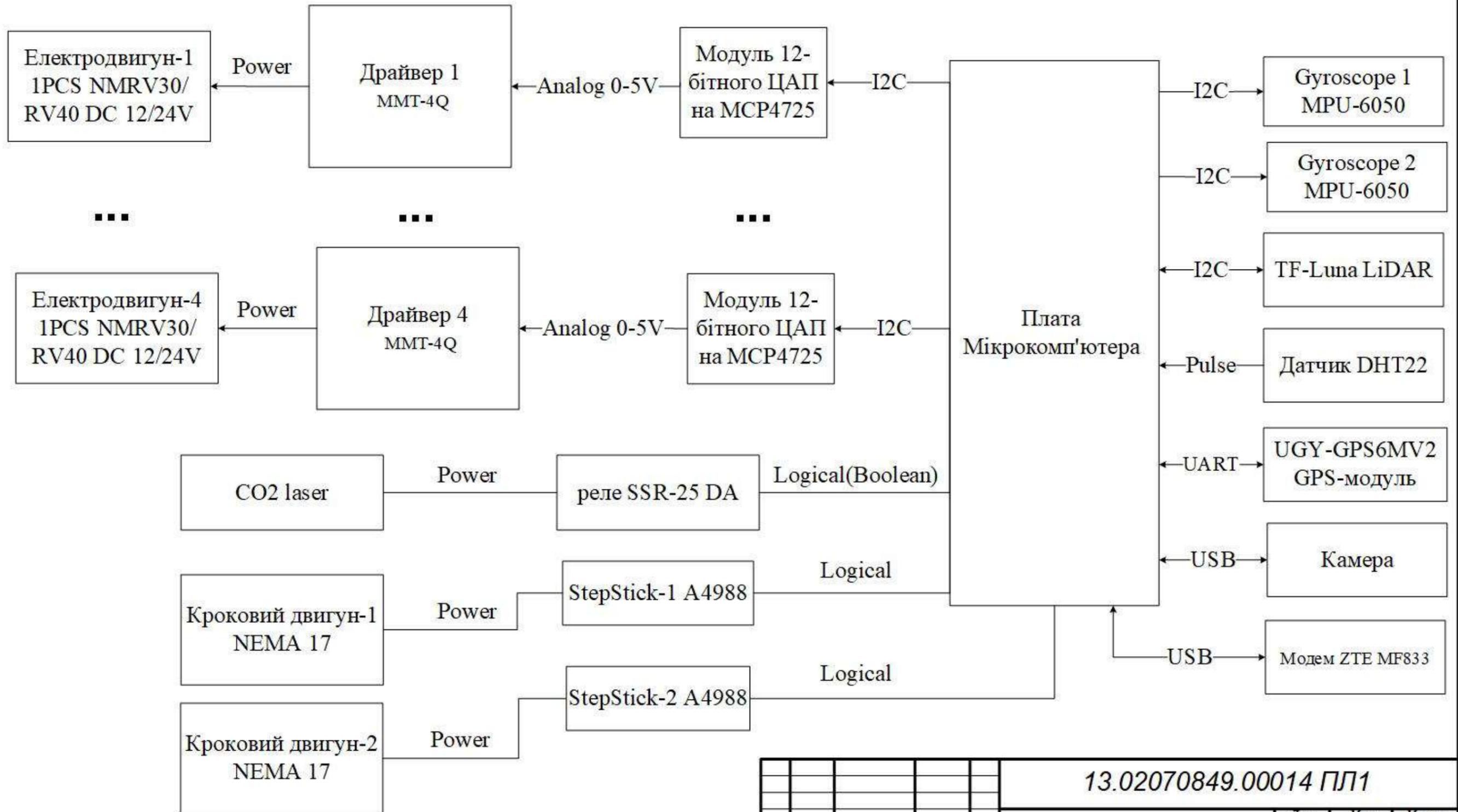
if classification == "weed":
    activate_laser()
    move_stepper(100, DIR1, STEP1)
    move_stepper(100, DIR2, STEP2)
    deactivate_laser()
else:
    print("Crop. Skip") #for debug

move_robot_to_next_position()
latitude, longitude = check_current_position_with_gps()
#forDebug
print(f"Current pos : W {latitude}, l {longitude}")

time.sleep(1)

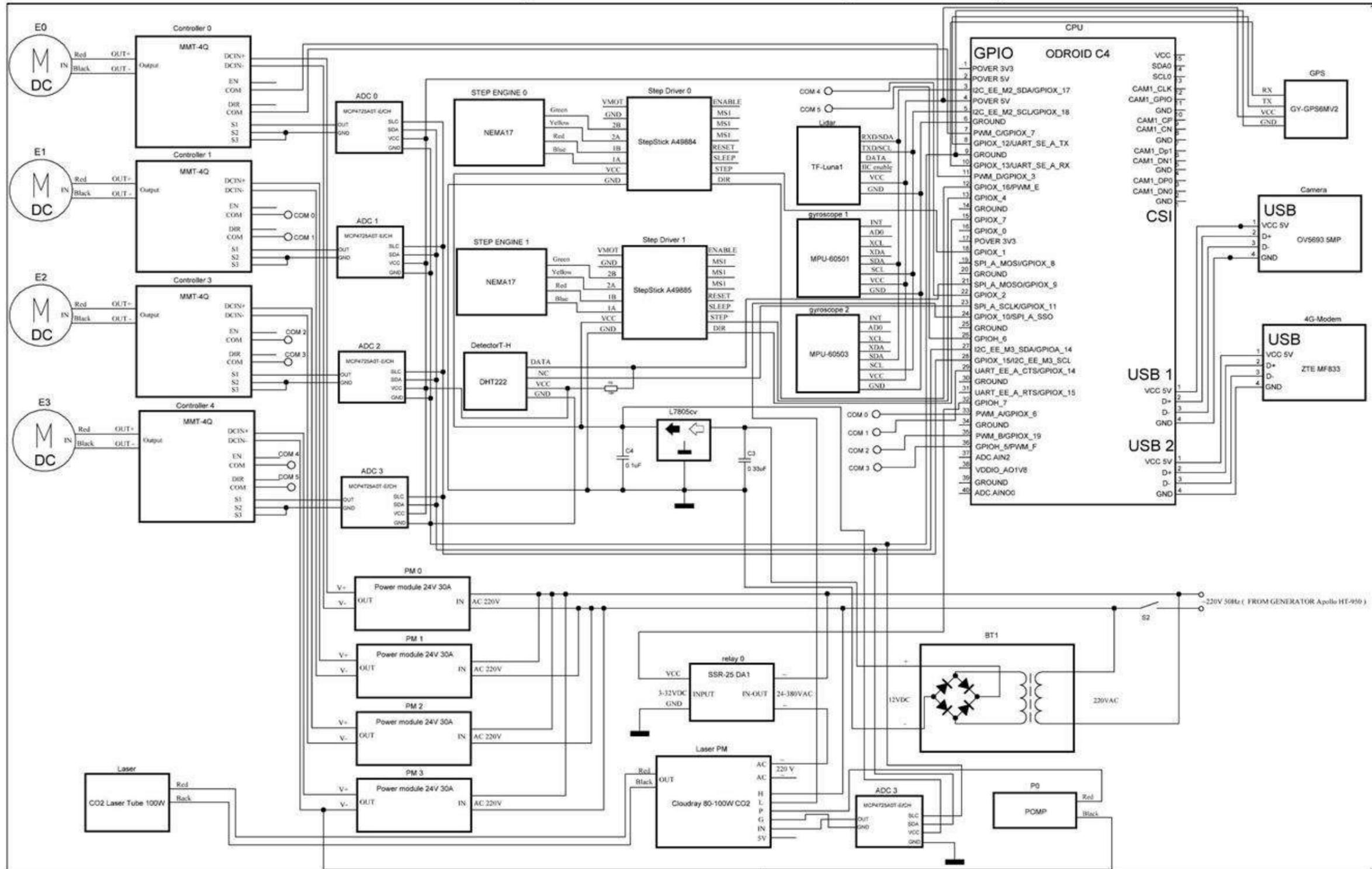
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Структурна схема роботу



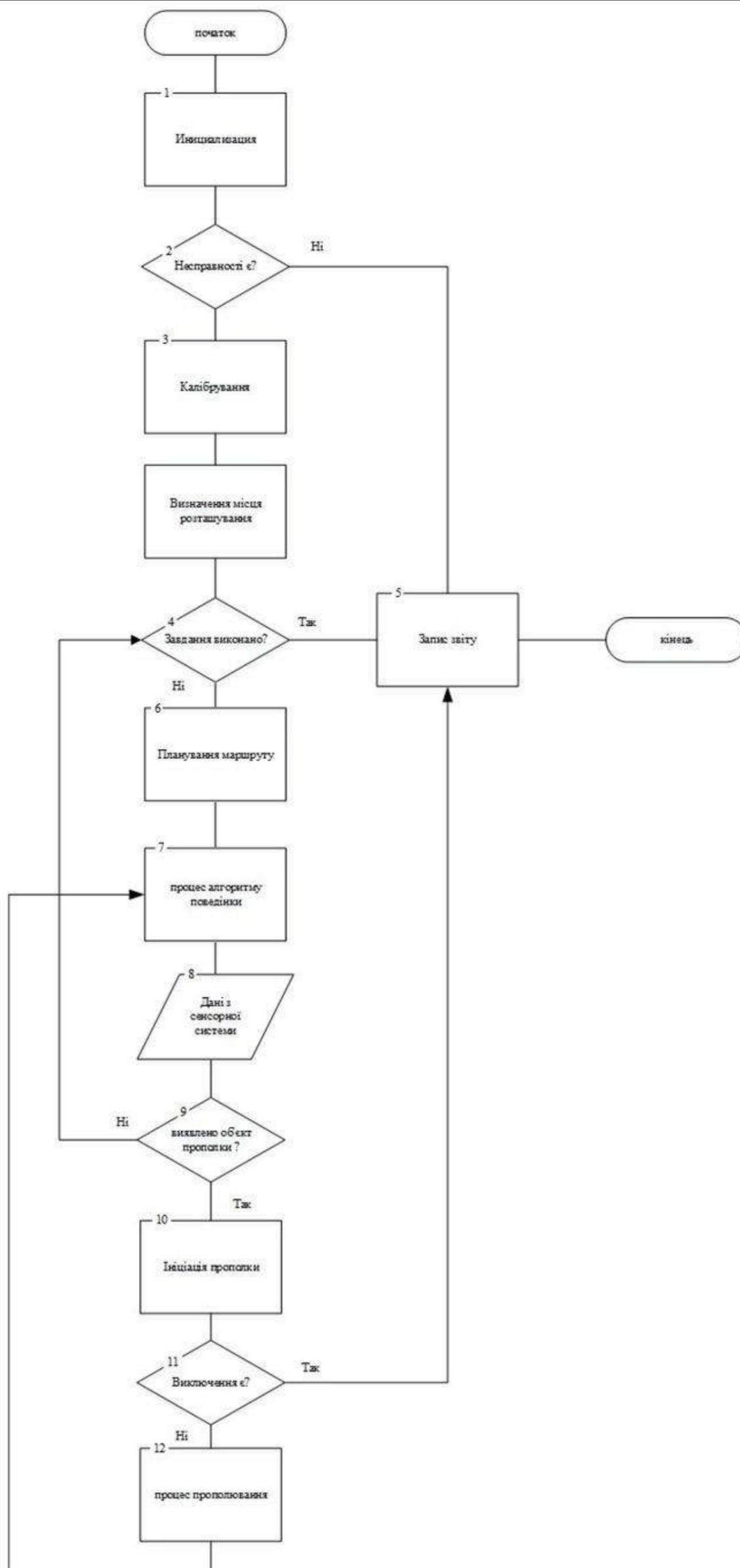
					13.02070849.00014 ПЛ1				
<i>Зам.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	Структурна схема роботу		<i>Лист.</i>	<i>Маса</i>	<i>Масшт.</i>
<i>Розроб.</i>		Бардак І.О.							
<i>Перев.</i>		Фурманова Н.І.							
<i>Т.контр.</i>							<i>Лист 1</i>	<i>Листів 1</i>	
<i>Н.контр.</i>		Поспесова І.Є.					НУ «Запорізька політехніка» БК-512М		
<i>Зств.</i>		Малий О.Ю.							

Електрична схема роботу



13.02070849.00014 ПЛ2

Зам.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Електрична схема роботу	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.		Бардак І.О.				Лист 2		Листів 1
Перев.		Фурманова Н.І.				НУ «Запорізька політехніка» БК-512М		
Т.контр.								
Н.контр.		Поспелова І.Є.						
Заств.		Малий О.Ю.						



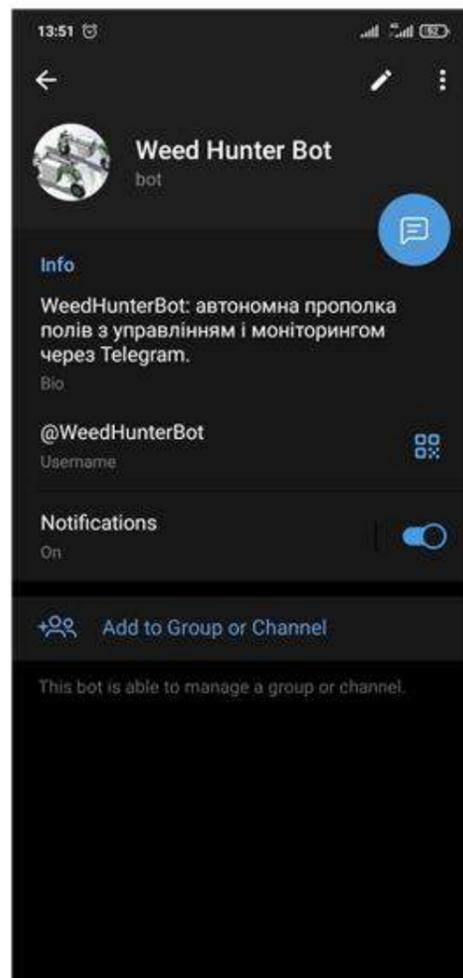
13.02070849.00014 A1

Зам.	Лист.	№ док.м.	Підп.	Дата	Лит.	Маса	Масшт.
Розроб.		Бардак І.О.					
Перев.		Фурманова Н.І.					
Т.контр.							
Н.контр.		Поспелова І.Є.					
Зств.		Малий О.Ю.					
					Лист 3		
					Листів 1		
					НУ «Запорізька політехніка»		
					БК-512М		

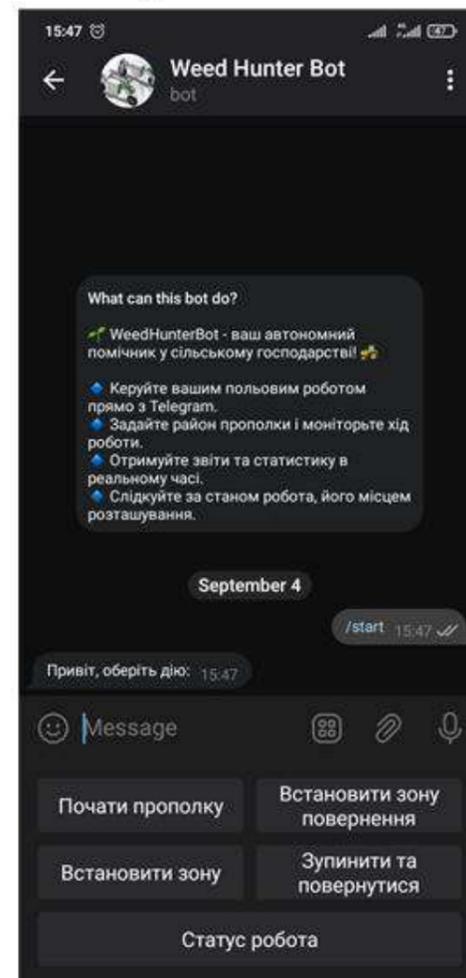
Загальний алгоритм
функціонування роботи

Керування завданнями роботу за допомогою телеграм боту

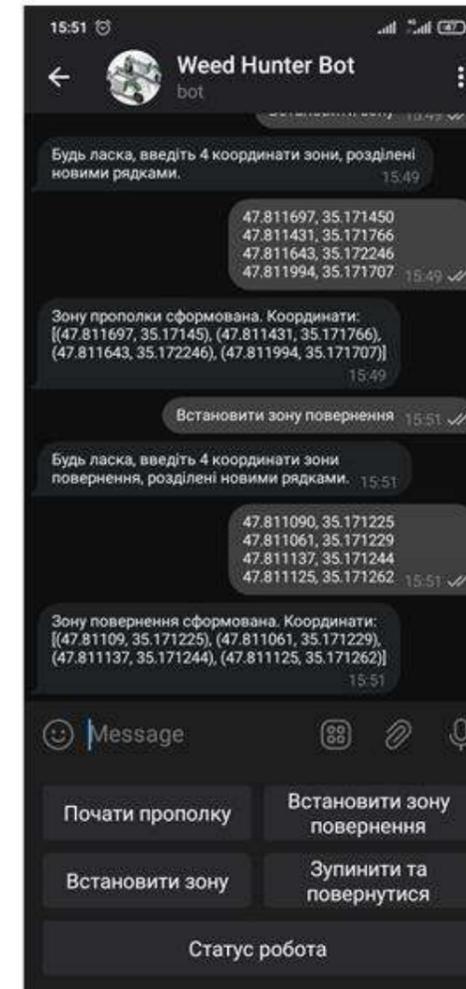
about Bot



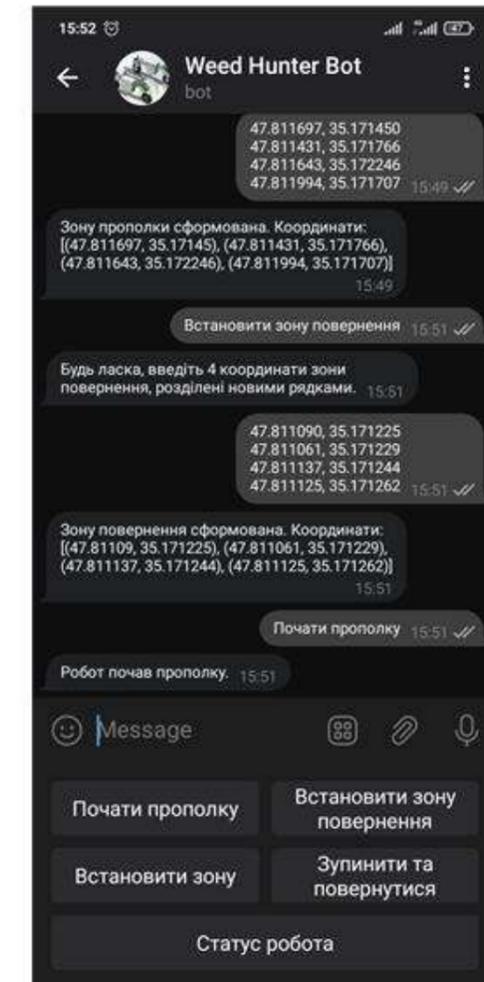
Початок роботи



Встановлення зони прополювання й повернення



Початок роботи



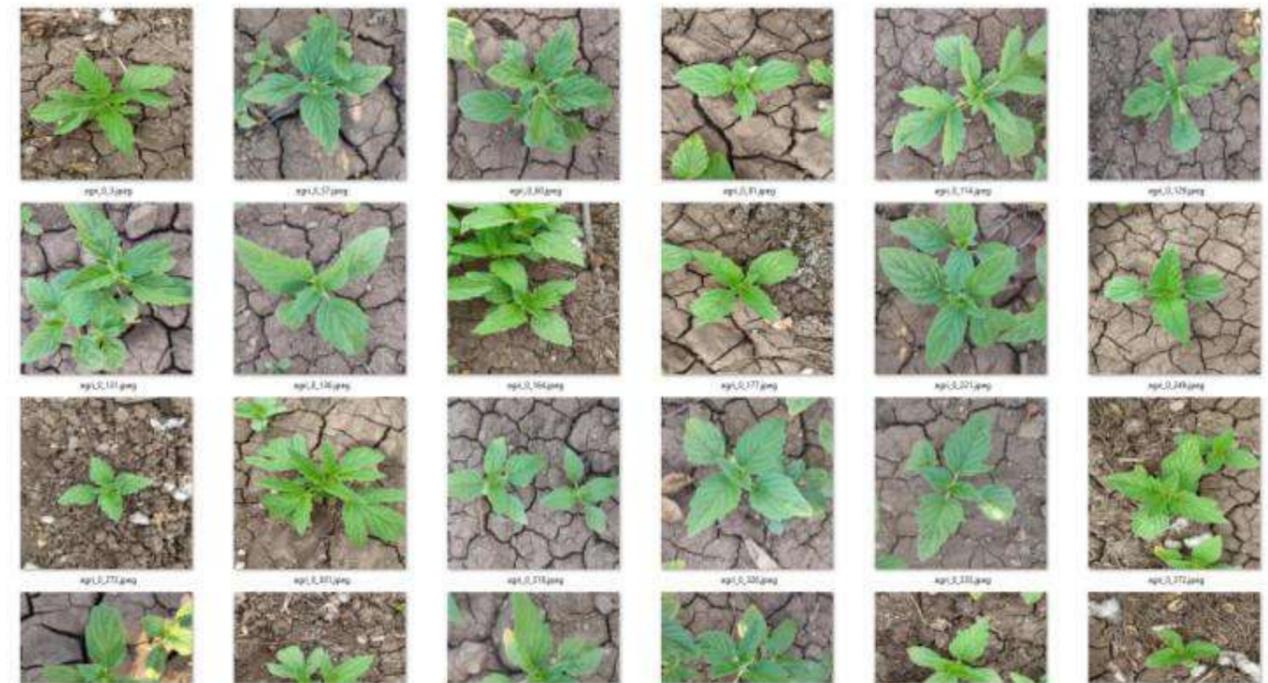
					13.02070849.00014 ПЛ4			
Зам.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата	Керування завданнями роботу за допомогою телеграм боту	Лист.	Маса	Масшт.
Розроб.		Бардак І.О.						
Перев.		Фурманова Н.І.						
Т.контр.						Лист 4	Листів 1	
Н.контр.		Поспеева І.Є.						
Затв.		Малий О.Ю.						
						НУ «Запорізька політехніка» БК-512М		

Вхідні данні для навчання класифікації

Бур'яни

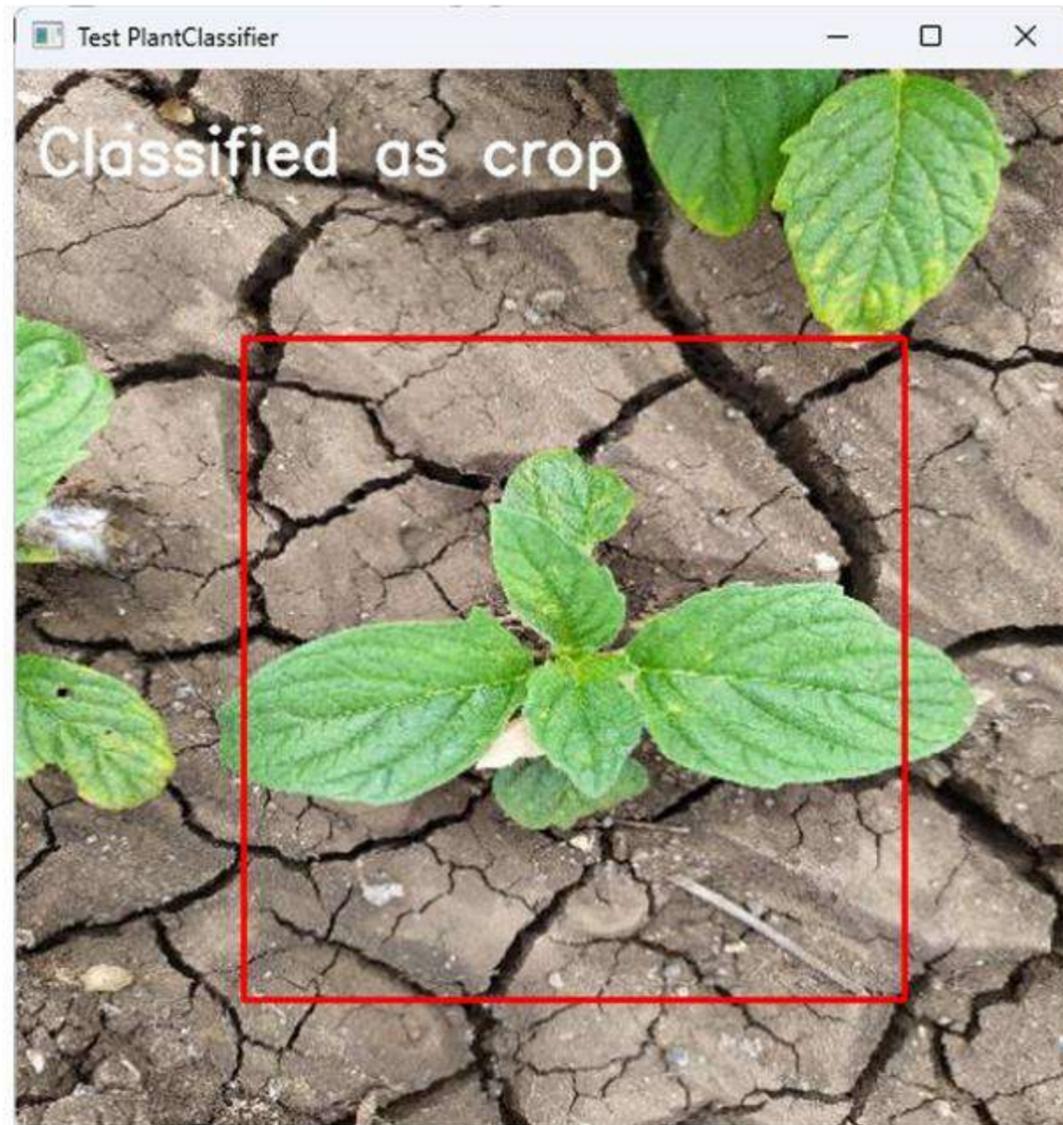


Врожай (Кунжут)



					13.02070849.00014 ПЛ5		
<i>Зам.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	Вхідні данні для навчання класифікації		
<i>Розроб.</i>		Бардак І.О.					
<i>Перев.</i>		Фурманова Н.І.					
<i>Т.контр.</i>							
<i>Н.контр.</i>		Поспелов І.Є.			Лист 5 Листів 1 НУ «Запорізька політехніка» БК-512М		
<i>Зств.</i>		Малий О.Ю.					

Результат роботи класифікатора рослин



					13.02070849.00014 ПЛ6					
Зам.	Лист	№ док.м.	Код.	Дата	Результат роботи класифікатора рослин			Лист	Маса	Масшт.
Розроб.		Бардак І.О.								
Перев.		Фурманова Н.І.								
Т.контр.										
Н.контр.		Поспелова І.Є.						Лист 6	Листів 1	
Зств.		Малий О.Ю.						НУ «Запорізька політехніка» БК-512М		