

РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ВИДАЛЕННЯ БУР'ЯНІВ

*Бадрак І.О.¹, студент, ilia.panda73@gmail.com;
Фурманова Н.І.¹, к.т.н., доц., nfurmanova@gmail.com
¹НУ“Запорізька політехніка”, Запоріжжя, Україна*

Сучасне сільське господарство активно долучається до хвилі технологічного прогресу, прагнучи до оптимізації робочих процесів і підвищення продуктивності. Однак в аграрній галузі зберігаються проблеми, такі як не-ефективність традиційних методів боротьби з бур'янами, висока залежність від ручної праці та екологічні ризики, пов'язані із застосуванням хімічних засобів. У відповідь на ці виклики виникає потреба в розробці інноваційних, автономних рішень, здатних поліпшити процеси ведення сільського господарства, мінімізуючи трудовитрати та екологічні ризики. Цю статтю присвячено питанням створення автономної системи видалення бур'янів, що ґрунтується на передових досягненнях у галузі робототехніки, комп'ютерного зору та нейромережових алгоритмів.

Для реалізації системи видалення бур'янів було використано готову каркасну конструкцію робота. Це дало змогу мінімізувати ризики помилок проєктування та оптимізувати витрати часу.

Ключовим компонентом є основна рама, що забезпечує необхідну жорсткість і міцність пристрою. Рама, показана на рис. 1, розроблена на основі CAD-моделі з сайту GrabCAD [1] від автора під ніком Sai Kiran. Розроблений корпус складається з алюмінієвих круглих труб діаметром 31 мм зі стінкою 2 мм, з'єднаних спеціальними з'єднувачами. Для приєднання зовнішніх конструкцій використовуються фланці, а для посилення жорсткості - прямокутні профілі, з'єднані вирізами з листового металу.

Конструкція боксу, виділена зеленим кольором і виконана з оцинкованого листа, призначена для зниження ваги і спрощення виготовлення. Цей бокс служить для розміщення апаратного забезпечення та електроніки системи управління. Додаткові елементи, такі як стійки для електродвигунів, пофарбовані в білий колір і виготовлені з листового металу, забезпечують необхідну міцність конструкції.

Після вибору базової каркасної конструкції робота було проведено інтеграцію ключових функціональних елементів системи, включно з датчиками, приводами та блоками живлення, що утворюють розроблену електричну схему системи, представлену на рис. 2.

Для детектування бур'янів було вирішено використовувати модульну USB-камеру OV5693 з роздільною здатністю 5 Мп. Ця камера здатна отримувати зображення високої якості та має автофокус для забезпечення чіткості знімків у різних умовах. Додатково для навігації і точної орієнтації робота в просторі були встановлені два гіроскопи MPU-6050 і GPS- Як обчис-

лювальне ядро для обробки даних з датчиків і управління виконавчими механізмами був обраний 4-ядерний ARM-мікрокомп'ютер ODROID-C4 з вбудованою графічною картою Mali G31 і 4 ГБ ОЗП. Цей модуль вирізняється високою продуктивністю та оптимальним енергоспоживанням.

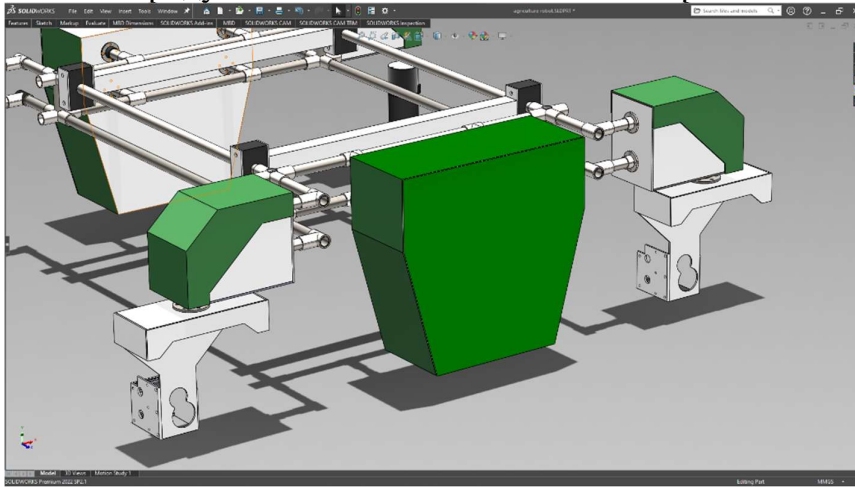


Рисунок 1. Рама роботизованої системи

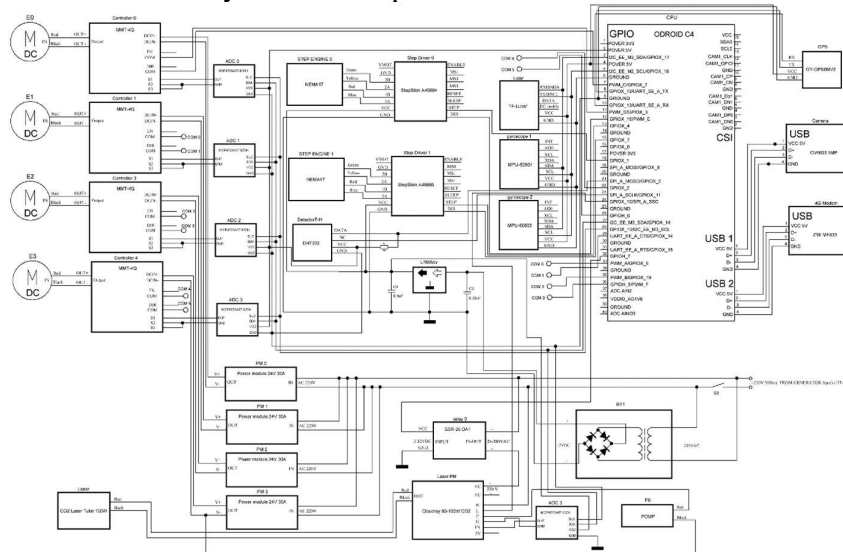


Рисунок 2. Графічний інтерфейс програми

живлення по 12 В, 30 А. Така конфігурація гарантує автономну роботу робота. Для виявлення і видалення бур'янів використовується комбінований підхід на основі оптичних датчиків і лазерної системи. Як датчик застосовується USB-камера OV5693. Для класифікації рослин використовуються алгоритми машинного навчання зі Scikit-Learn.

Інформація про координати і типи рослин передається на модуль ODROID-C4, який ухвалює рішення про видалення. Для усунення бур'янів застосовано CO₂ лазер 100Вт. Точне позиціонування променя здійснюється за допомогою крокових двигунів, що керують дзеркалом. Це дає змогу прецизійно націлюватися на заздалегідь ідентифіковані бур'яни.

Для здійснення рухів використовуються чотири двигуни постійного струму 24 В з черв'ячними редукторами, що забезпечують високий крутний момент.

Керування двигунами реалізовано за допомогою драйверів MMT-4Q з ШІМ.

Живлення системи здійснюється від бензинового генератора Apollo HT-950 потужністю 0.95 кВт і чотирьох блоків

Для навчання моделі класифікації використано дані з платформи Kaggle [2], що надає доступ до великих наборів даних. Це зробило Kaggle незамінним ресурсом під час розробки проєкту.

У рамках проєкту було обрано специфічний набір даних, що складається з 1300 високоякісних зображень розміром 512x512 пікселів. Ці зображення послуговували елементом тестування і розроблення програмного забезпечення для завантаження і класифікації рослин, являючи собою фотографії культурних рослин кунжуту і різних типів бур'янів. Для забезпечення високої точності розпізнавання, кожне зображення було анотовано у форматі YOLO, який є оптимальним для завдань об'єктного розпізнавання в реальному часі.

Розроблений програмний код піддавався комплексному тестуванню з метою виявлення та усунення можливих помилок і недоліків. Програма, написана мовою Python [3], яка використовує бібліотеки, включно зі Scikit-learn [4], пройшла через кілька етапів перевірки. Ці етапи охоплювали юніт-тести для окремих функцій, як-от читання і 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 ілюстровано нижче, де відображено успішну класифікацію бур'янів, до яких система націлюється лазером (рис. 3) і навпаки, рис. 4 демонструє, як система коректно ідентифікує врожай і ухвалює рішення про відсутність дій лазера.

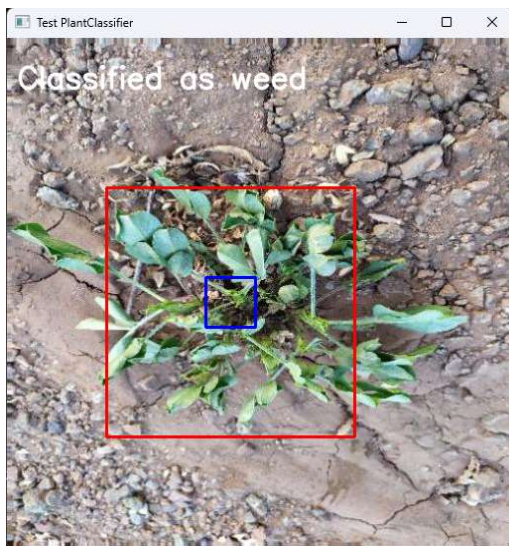


Рисунок 3. Вихідні зображення класифікації рослин – бур'ян знайдено

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

Щодо файлу "crop_weed.p", який 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. Розроблене ПЗ класифікатора PlantClassifier передбачає генерацію моделей для рі-

зних культур. Це дає змогу перемикаати моделі залежно від сезонних завдань, додаючи гнучкості в розроблену систему управління прополкою.

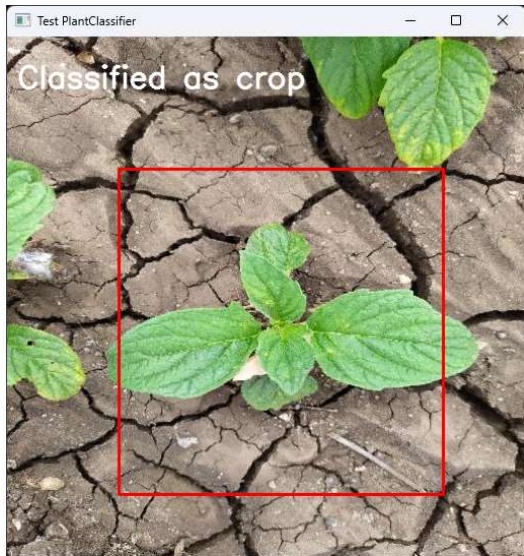


Рисунок 4. Вихідні зображення класифікації рослин – бур'янів немає

URL: <https://grabcad.com/library> (date of access: 12.10.2023).

2. Crop and weed detection data with bounding boxes. Kaggle. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/ravirajsinh45/crop-and-weed-detection-data-with-bounding-boxes> (date of access: 08.09.2023).

3. Lutz M. Learning python, 5th edition : підручник. 5th ed. O'Reilly Media, 2013. 1643 p.

4. Géron A. Hands-On machine learning with scikit-learn, keras, and tensorflow: concepts, tools, and techniques to build intelligent systems : підручник. 3rd ed. O'Reilly Media, 2022. 861 p.

Література

1. Free CAD designs, files & 3D models | the grabcad community library. GrabCAD.

Анотація

Представлено розроблену автономну систему видалення бур'янів, оснащену інтегрованими датчиками для виявлення бур'янів і високоточною лазерною системою для їхнього знищення. У роботі використано дані з платформи Kaggle для навчання моделі класифікації рослин, реалізованої на Python з використанням бібліотеки Scikit-learn. Система зазнала комплексного тестування, включно з юніт- та інтеграційними тестами, а також стрес-тестами, що підтвердило її ефективність в автоматизованому прополюванні та готовність до інтеграції в сільськогосподарські системи.

Ключові слова: робот, роботизована система, автоматизація, дрон, аграрний робот, комп'ютерний зір, нейронна мережа, python, scikit-learn, odroid-c4.

Abstract

The paper presents a developed autonomous weed removal system equipped with integrated sensors for weed detection and a high-precision laser system for weed destruction. The paper uses data from the Kaggle platform to train a plant classification model implemented in Python using the Scikit-learn library. The system underwent comprehensive testing, including unit and integration tests, as well as stress tests, which confirmed its effectiveness in automated weeding and readiness for integration into agricultural systems.

Keywords: robot, robotic system, automation, drone, agricultural robot, computer vision, neural network, python, scikit-learn, odroid-c4.