

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри,
д-р техн. наук, доцент
_____ І. М. Журавська
« __ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
Система контролю якості зварювання на базі OpenCV

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
123 – КМР.ПЗ.00 – 605.21810515

Студент

_____ В. А. Луценко
підпис
« __ » _____ 2024р.

Керівник доцент, канд. фіз.-мат. наук

_____ С. В. Пузирьов
підпис
« __ » _____ 2024р.

Миколаїв – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____ І. М. Журавська

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної магістерської роботи

Видано студенту групи 605м факультету комп'ютерних наук

_____ Луценку Володимирі Андрійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи

_____ Система контролю якості зварювання на базі OpenCV

Затверджена наказом по ЧНУ ім. Петра Могили від 08.11.2023 № 226.

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «_____» _____ 20__ р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні

_____ Очікуваний результат роботи системи контролю якості зварювання на базі OpenCV полягає у автоматизації процесу ідентифікації та класифікації дефектів зварних швів з використанням комп'ютерного зору.

4. Перелік питань, що підлягають розробці

1) Огляд сучасних методів контролю якості зварювання; _____

2) Оцінка ефективності, точності та економічності існуючих систем контролю якості зварювання; _____

3) Вибір відповідних датчиків і камер для збору зображень зварних швів з деталізацією; _____

4) Створення алгоритмів на базі OpenCV для аналізу зображень і виявлення дефектів _____

5. Перелік графічних матеріалів

слайди презентації

6. Завдання до спеціальної частини

Проведення оцінки умов праці фахівців підприємства, а саме аналіз виробничого приміщення, оцінка природного освітлення. Визначення рівня електричної та пожежної безпеки підприємства

7. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
Д-р біол. наук, професорка Григор'єва Л. І.	Кафедра екології Навчально-наукового медичного інституту ЧНУ ім. Петра Могили	Спеціальна частина з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях

Керівник роботи

доцент, канд. фіз.-мат. наук Пузирьов Сергій Володимирович

(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Завдання прийнято до виконання

Луценко Володимир Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

(підпис)

Дата видачі завдання « ____ » _____ 20 ____ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної магістерської роботи

Тема: Система контролю якості зварювання на базі OpenCV

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1.	Розробка та затвердження завдання на виконання КМР	01.09.2023	15.09.2023	Виконано
2.	Огляд літератури за темою роботи	15.09.2023	01.10.2023	Виконано
3.	Складання календарного плану КМР	01.10.2023	03.10.2023	Виконано
4.	Аналіз предметної області	05.10.2023	25.10.2023	Виконано
5.	Розробка проєктних рішень	25.10.2023	10.11.2023	Виконано
6.	Моделювання	10.11.2023	15.11.2023	Виконано
7.	Конструювання АПЗ	15.11.2023	20.12.2023	Виконано
8.	Перевірка працездатності, тестування та апробація розробленого АПЗ	20.12.2023	05.01.2023	Виконано
9.	Аналіз результатів тестування	05.01.2023	10.01.2023	Виконано
10.	Розробка керівництва користувача	10.01.2023	13.01.2023	Виконано
11.	Відгук керівника КМР	13.01.2023	05.02.2023	Виконано
12.	Оформлення КМР та презентації	07.02.2023	08.02.2023	Виконано
13.	Попередній захист	31.01.2023	11.02.2023	Виконано
14.	Рецензування	12.02.2023	18.02.2023	Виконано
15.	Захист кваліфікаційної роботи	27.02.2023	27.02.2023	Виконано

Розробив здобувач ВО Луценко Володимир Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

«__» _____ 20__ р.

Керівник роботи канд. фіз.-мат. наук Пузирьов Сергій Володимирович

(підпис)

«__» _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної магістерської роботи

«Система контролю якості зварювання на базі OpenCV»

Студент гр. 605м Луценко Володимир Андрійович

Керівник: доцент, канд. фіз.-мат. наук Пузирьов Сергій Володимирович

Актуальність теми кваліфікаційної роботи, присвяченої розробці системи контролю якості зварювання на базі OpenCV, обумовлена важливістю забезпечення високої якості зварних швів в сучасному виробництві. Зварювання є критичним процесом у багатьох галузях промисловості, включаючи автомобілебудування, авіаційну промисловість, суднобудування та будівництво. Від якості зварних швів залежить не тільки довговічність і надійність конструкцій, але й безпека людей.

Застосування технологій комп'ютерного зору, зокрема бібліотеки OpenCV, для контролю якості зварювання дозволяє автоматизувати процес ідентифікації дефектів зварних швів, таких як тріщини, порожнини та непроплави. Це підвищує точність та об'єктивність оцінки якості зварювання в порівнянні з традиційними методами контролю, які значною мірою залежать від досвіду та кваліфікації інспектора.

Інтеграція систем контролю якості зварювання на базі OpenCV в промислові процеси дозволяє не тільки виявляти дефекти на ранніх етапах виробництва, але й аналізувати дані про якість зварювання для подальшого удосконалення технологічних процесів. Це сприяє зниженню виробничих витрат, підвищенню продуктивності та забезпеченню високого рівня безпеки виробів.

Таким чином, розробка системи контролю якості зварювання на базі OpenCV є важливим кроком на шляху до автоматизації та підвищення ефективності виробничих процесів у промисловості, що робить тему кваліфікаційної роботи надзвичайно актуальною та важливою для дослідження..

Об'єкт дослідження (розробки): система автоматизованого контролю якості зварних швів з використанням технологій комп'ютерного зору на базі бібліотеки OpenCV.

Предмет дослідження (розробки): методи та алгоритми комп'ютерного зору в бібліотеці OpenCV для ідентифікації та класифікації дефектів у зварних швах.

Мета: Метою даної роботи є розробка та впровадження інноваційної системи контролю якості зварних швів, яка базується на застосуванні алгоритмів комп'ютерного зору через бібліотеку OpenCV. Система покликана автоматизувати процес виявлення та класифікації потенційних дефектів зварювання, таких як тріщини, пори, непроплави та інші недоліки, що впливають на якість і безпеку зварних конструкцій. Основна увага приділяється підвищенню точності діагностики, скороченню часу на контроль якості та зниженню впливу людського фактора на результати оцінювання.

Важливим аспектом роботи є адаптація і оптимізація існуючих алгоритмів обробки зображень та машинного навчання для специфіки задач контролю зварних швів, що включає розробку алгоритмів для ефективної обробки зображень з високою роздільною здатністю, виділення характерних ознак дефектів та їх класифікації. Окрім технічного аспекту, проект передбачає аналіз можливостей інтеграції розробленої системи в існуючі виробничі лінії з метою мінімізації необхідних змін у технологічних процесах та оптимізації витрат на впровадження.

Реалізація цієї мети передбачає комплексний підхід, що включає теоретичне обґрунтування вибраних методів і алгоритмів, розробку програмного забезпечення, створення прототипу системи та її практичне тестування на реальних зразках. Завдяки цьому підвищується ефективність виробничих процесів, гарантується висока якість зварних конструкцій та забезпечується безпека експлуатації.

В спеціальній частині з охорони праці розглянуто забезпечення вимог охорони праці на робочому місці.

Кваліфікаційна робота містить __ сторінки (без додатків), __ рисунків, __ джерел посилання, __ додатки.

ABSTRACT

to the qualifying master's thesis

"Welding quality control system based on OpenCV"

Student of 605m Lutsenko Volodymyr Andriiovych

Head: associate professor, candidate physics and mathematics Science

Puzyryov Serhii Volodymyrovych

The relevance of the thesis topic dedicated to the development of a welding quality control system based on OpenCV is determined by the importance of ensuring high quality of welds in modern production. Welding is a critical process in many industries, including automotive, aviation, shipbuilding, and construction. The quality of welds affects not only the durability and reliability of structures but also the safety of people.

The use of computer vision technologies, particularly the OpenCV library, for welding quality control allows automating the process of identifying defects in welds, such as cracks, cavities, and lack of fusion. This increases the accuracy and objectivity of welding quality assessment compared to traditional control methods, which largely depend on the experience and qualifications of the inspector.

Integrating welding quality control systems based on OpenCV into industrial processes not only allows for the detection of defects at early stages of production but also enables the analysis of welding quality data for further improvement of technological processes. This contributes to reducing production costs, increasing productivity, and ensuring a high level of product safety.

Thus, the development of a welding quality control system based on OpenCV is an important step towards automation and enhancing the efficiency of industrial processes, making the thesis topic extremely relevant and significant for research.

Research object (development): An automated welding quality control system using computer vision technologies based on the OpenCV library.

Subject of research (development): Methods and algorithms of computer vision in the OpenCV library for the identification and classification of defects in welds.

Goal: The goal of this work is to develop and implement an innovative welding quality control system based on the application of computer vision algorithms through the OpenCV library. The system is designed to automate the process of detecting and classifying potential welding defects, such as cracks, pores, lack of fusion, and other imperfections that affect the quality and safety of welded structures. The main focus is on improving diagnostic accuracy, reducing quality control time, and minimizing the impact of human factors on assessment results.

An important aspect of the work is the adaptation and optimization of existing image processing and machine learning algorithms for the specifics of welding quality control tasks, which includes developing algorithms for effective processing of high-resolution images, identifying characteristic features of defects, and their classification. Besides the technical aspect, the project involves analyzing the possibilities of integrating the developed system into existing production lines to minimize the necessary changes in technological processes and optimize implementation costs.

Achieving this goal involves a comprehensive approach that includes theoretical justification of selected methods and algorithms, software development, prototype system creation, and its practical testing on real samples. This enhances the efficiency of production processes, ensures high-quality welded structures, and guarantees operational safety.

In the special part on labor protection, the provision of labor protection requirements at the workplace is considered.

The qualification paper contains __ pages (without appendices), __ figures, __ reference sources, __ appendices.

ВСТУП

Актуальність дослідження. Актуальність даного дослідження обумовлена зростаючими вимогами до якості зварних швів у промисловому виробництві, де міцність і надійність зварних конструкцій є критично важливими. В таких галузях, як машинобудування, авіабудування, суднобудування та будівельна індустрія, висока якість зварювання безпосередньо впливає на безпеку та тривалість експлуатації продукції. Традиційні методи контролю, які значною мірою залежать від кваліфікації інспекторів та суб'єктивної оцінки, не завжди здатні забезпечити необхідний рівень контролю в умовах сучасного високо-темпового виробництва.

Впровадження технологій комп'ютерного зору, зокрема застосування бібліотеки OpenCV, відкриває нові можливості для автоматизації процесів контролю якості зварювання. Завдяки розвитку алгоритмів обробки зображень та машинного навчання стає можливим швидко та точно виявлення дефектів зварних швів, таких як тріщини, пори, не проплави та інші недоліки, що раніше могли залишатися непоміченими.

Автоматизація контролю якості зварювання сприяє не лише підвищенню безпеки виробів, але й оптимізації виробничих процесів, зниженню витрат на брак та підвищенню загальної продуктивності. Окрім того, збір та аналіз даних про дефекти зварних швів може сприяти удосконаленню технологій зварювання та розробці нових матеріалів.

Таким чином, розробка ефективної системи контролю якості зварювання на базі комп'ютерного зору є важливим завданням, що відповідає потребам сучасної промисловості і сприяє забезпеченню високого рівня якості та безпеки виробництва.

Мета та завдання дослідження.

Мета дослідження: розробка системи автоматизованого контролю якості зварних швів з використанням алгоритмів комп'ютерного зору на базі

бібліотеки OpenCV для підвищення точності та ефективності виявлення дефектів.

Об'єкт дослідження: технологія інтеграції мікропроцесорної системи з комп'ютерним зором для системи контролю дорожнього руху.

Предмет дослідження: процес контролю якості зварних швів за допомогою системи на базі комп'ютерного зору і технологій OpenCV.

Завдання:

- Проаналізувати існуючі методи контролю якості зварних швів та визначити їхні обмеження.
- Вивчити можливості застосування бібліотеки OpenCV для розробки системи контролю якості зварювання.
- Розробити алгоритми для обробки зображень зварних швів, що дозволяють ідентифікувати типові дефекти.
- Створити прототип системи контролю якості зварювання на базі OpenCV та протестувати її ефективність.
- Проаналізувати результати тестування та внести пропозиції щодо подальшого удосконалення системи.

Робота пройшла апробацію під час XV Міжнародної науково-практичної конференції «Free and open source software» (дистанційно, 13–14 лютого 2024 р.). Основні положення магістерської роботи опубліковані у збірнику матеріалів XV Міжнародної науково-практичної конференції «Free and open source software» [1].

ВСТУП	10
1.	14
1.1	14
1.1.1	15
1.2	18
1.2.1	18
1.2.2	20
1.3	26
1.4	27
1.4.1	27
1.4.2	30
Висновок до розділу	33
2.	35
2.1 Моделювання та виготовлення корпусу	35
2.2 Кінематика гусеничної платформи	38
2.3 Узагальнені розрахунки кінематичної схеми маніпулятора	40
3.	43
3.1 Системи навігації та маніпулювання	43
3.2 Підбір компонентів	46
3.3 Блок управління	51
Висновок до розділу	53
4.	54
4.1 Системи навігації	54
4.2 Алгоритми керування гусеничною платформою	56
4.3 Алгоритми керування маніпулятором	57
4.4 Обробка даних на EC2 інстансі з можливістю управління через голосові команди	58
Висновок до розділу	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	62

ДОДАТОК А

65

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ У СФЕРІ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ

1.1 Аналітична частина

З розвитком технологій розглядаються ключові аспекти контролю якості зварних швів і потенціал застосування алгоритмів комп'ютерного зору на базі OpenCV для їх виявлення та класифікації. Початковий аналіз включає огляд традиційних методів контролю, таких як візуальний огляд, ультразвукове тестування та радіографія, з акцентом на їх обмеження, включаючи високу вартість, трудомісткість та суб'єктивність оцінок.

Далі дослідження фокусується на потенціалі комп'ютерного зору, де OpenCV виступає як міцний інструмент для обробки зображень зварних швів. Основна увага приділяється можливостям бібліотеки у сферах детекції країв, сегментації зображень, виявлення текстурних особливостей та паттернів, які можуть вказувати на наявність дефектів, таких як тріщини, пори та непроплави.

Аналізується, як алгоритми машинного навчання та глибокого навчання, інтегровані з OpenCV, можуть підвищити точність класифікації дефектів, зменшити помилки та автоматизувати процес контролю. Розглядаються виклики, пов'язані з адаптацією цих технологій до реальних умов виробництва, зокрема, варіативність умов освітлення, різноманітність типів та якості зварних швів.

Крім технічного аналізу, важливим аспектом є оцінка економічної ефективності впровадження системи комп'ютерного зору для контролю якості зварювання: зниження витрат на брак, підвищення продуктивності праці та зменшення потреби в ручній перевірці.

Основні модулі OpenCV:

- Core functionality (Ядро): Включає базові структури даних, операції з матрицями, функції для роботи з файлами та базові функції обробки зображень.
- Imgproc (Обробка зображень): Містить алгоритми для обробки зображень, включаючи фільтрацію, перетворення зображень, виявлення країв та інші.
- High-level GUI (Високорівневий графічний інтерфейс): Надає інструменти для створення інтерфейсу користувача, відображення зображень та взаємодії з користувачем.
- Video I/O (Введення/виведення відео): Підтримка зчитування та запису відеофайлів, захоплення відео з камер.
- Features2D + Homography (Особливості 2D + Гомографія): Алгоритми для виявлення та опису особливостей зображень, відстеження об'єктів, а також виконання операцій з гомографією.
- Machine Learning (Машинне навчання): Модуль, який включає алгоритми класифікації, регресії та кластеризації.
- Computer Vision (Комп'ютерний зір): Розширені алгоритми для глибшого аналізу зображень, такі як розпізнавання обличч, детекція об'єктів та реконструкція 3D.

OpenCV написана на C/C++, але має інтерфейси для Python, Java та інших мов, що робить її доступною для широкого кола розробників. Бібліотека підтримує різні операційні системи, включаючи Windows, Linux та MacOS.

Приклади застосування OpenCV:

- Безпека та нагляд: Розробка систем відеоспостереження, що здатні виявляти незвичайну поведінку, розпізнавати обличчя або автоматично ідентифікувати номерні знаки автомобілів.

- Автоматизація промисловості: Використання для контролю якості продукції, включаючи виявлення дефектів, перевірку збірки або автоматичне сортування.
- Розробка інтерактивних арт-інсталяцій: Інтеграція з датчиками руху та обробкою зображень для створення інтерактивного контенту в музеях, галереях та на виставках.
- Розробка автономних транспортних засобів: Використання для обробки відео з камер для навігації, виявлення перешкод і прийняття рішень на основі візуальної інформації.

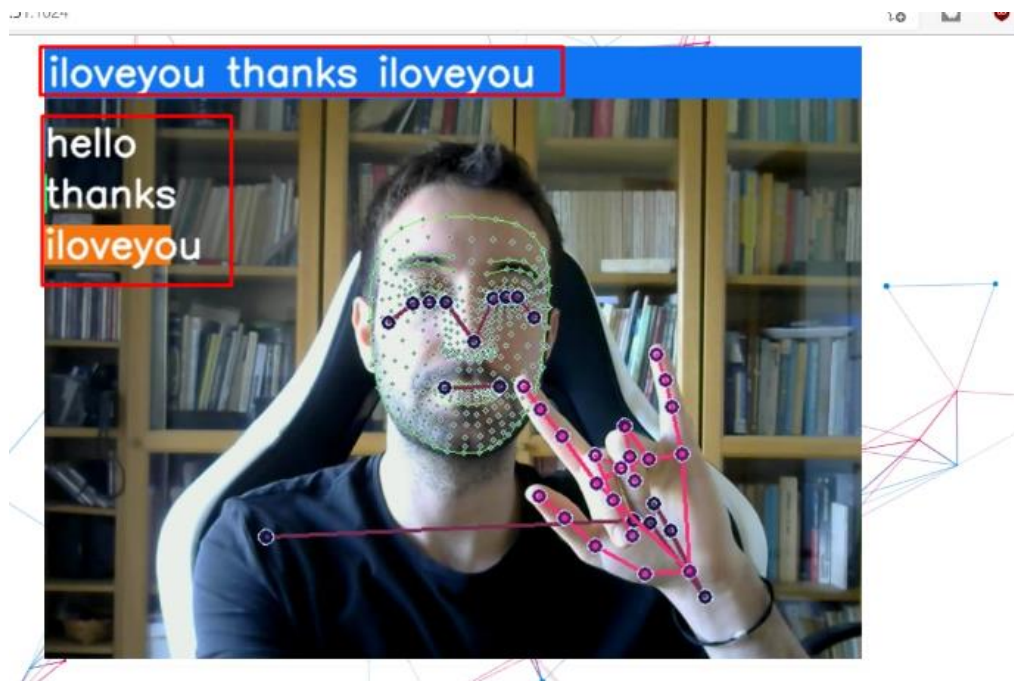


Рисунок 1.2 □ Концепт застосування алгоритму комп'ютерного зору для відстеження рухів обличчя та рук людини з використанням бібліотеки OpenCV.

Враховуючи швидке просування технологій у сфері цифрових розробок, використання бібліотеки OpenCV[3] виявляється надзвичайно актуальним та перспективним. Ця бібліотека, яка є відкритим джерелом, надає потужні інструменти для обробки зображень та реалізації алгоритмів комп'ютерного зору, що дозволяє автоматизувати і значно спростити багато складних задач.

OpenCV сприяє розробці рішень у таких областях, як автоматичне відстеження, розпізнавання об'єктів, аналітика відео, робототехніка, та багато інших. Інтеграція з машинним навчанням відкриває додаткові можливості для створення адаптивних та інтелектуальних систем, які можуть навчатися з досвіду та покращувати свою продуктивність з часом.

Велика кількість документації, спільнота розробників та постійні оновлення роблять привабливою для наукових досліджень та комерційних проектів. Розробники мають змогу використовувати готові модулі для швидкої розробки прототипів і можуть зосередитися на інноваціях, а не на вирішенні рутинних задач.

Зважаючи на зростання кількості даних та потребу в їх обробці, стає незамінним помічником у створенні ефективних та швидких систем аналізу зображень. Особливо це стосується промисловості, де висока точність та швидкість виявлення дефектів можуть запобігти помилкам, знизити виробничі витрати та забезпечити високий рівень якості продукції.

У підсумку, OpenCV вносить вагомий вклад у розвиток технологій комп'ютерного зору, відкриваючи шлях для створення більш розумних та автономних систем, які можуть значно покращити якість життя та ефективність праці у найрізноманітніших сферах людської діяльності.

1.2 Огляд існуючих рішень системи, що розробляється

1.2.1 Огляд існуючих рішень у сфері контролю якості зварювання

Огляд існуючих рішень у сфері контролю якості зварювання демонструє широкий спектр методик, які застосовуються для забезпечення високих стандартів виробництва. Починаючи з традиційних підходів, таких як візуальний огляд, ультразвукове та радіографічне тестування, спеціалісти в галузі зіштовхуються з низкою обмежень, включаючи суб'єктивність оцінок та високі витрати на впровадження складних технологій. У цьому контексті комп'ютерний зір відкриває нові горизонти можливостей, пропонуючи

об'єктивність, швидкість обробки даних та потенціал для повної автоматизації процесів контролю.

Особливе місце у розвитку сучасних систем контролю якості зварювання займає використання бібліотеки OpenCV, яка є одним з найпопулярніших інструментів у сфері комп'ютерного зору. Її застосування включає аналіз зображень зварних швів на предмет виявлення дефектів, точного вимірювання параметрів шва та класифікації типів зварювання. Різноманітність функцій OpenCV дозволяє розробляти високоефективні системи, здатні в реальному часі ідентифікувати потенційні проблеми та забезпечувати необхідний рівень контролю якості продукції.

Контроль якості зварювання є ключовим елементом у виробничих процесах, де зварні з'єднання відіграють вирішальну роль у забезпеченні міцності та безпеки конструкцій. Якість зварних швів безпосередньо впливає на надійність та довговічність мостів, трубопроводів, будівельних конструкцій, транспортних засобів та багатьох інших об'єктів. Тому розробка та застосування ефективних методів контролю якості зварювання є критично важливими для сучасної промисловості.

Візуальний огляд

Традиційно першим етапом контролю якості зварних швів є візуальний огляд. Цей метод є первинним і найпростішим, він дозволяє ідентифікувати очевидні дефекти, такі як тріщини, порожнини, надлишковий або недостатній метал у шві. Проте візуальний огляд має обмеження, оскільки залежить від досвіду та суб'єктивної оцінки інспектора, а також не дозволяє виявити внутрішні дефекти.

Радіографічне тестування

Радіографічне тестування (X-ray) є одним з найбільш точних методів для виявлення внутрішніх дефектів зварних швів. Воно використовує проникаюче випромінювання для отримання зображення всередині зварного з'єднання, що дозволяє ідентифікувати недоліки, непроникні для візуального огляду. Однак,

цей метод є дорогим та вимагає строгого дотримання заходів безпеки через використання радіації.

Ультразвукове тестування

Ультразвукове тестування є неінвазивним методом, що використовує високочастотні звукові хвилі для виявлення внутрішніх дефектів. Цей метод дозволяє швидко сканувати великі області та надає миттєву інформацію про стан зварного шва. Проте ефективність ультразвукового тестування залежить від складності зварних швів та їхньої доступності для обладнання.

1.2.2 Аналіз зварювальних систем

Швидкий розвиток технологій та промисловості спонукає підприємців йти на радикальні зміни роботи виробництв для підвищення ефективності, покращенню якості продукції та зниження затрат підприємства.

Сфера металообробки та особливо зварювальне виробництво найбільш привабливе для інвестування в роботизацію[4]. Покращення якості зварювальних швів, зниження впливу людського фактора на сам процес та ріст виробництва і це лише декілька позитивних аспектів зварювальних робіт. Використання зварювальних роботів надає можливість інженеру контролювати велику кількість параметрів зварювання в реальному часі. Надзвичайно точне дотримання зварювального процесу, траєкторії рух робота сприяє підтриманню однакової якості зварювального шва.

Зварювальний робот - це сучасний механізм що відрізняється універсальністю дій, а також високою швидкістю переходу до виконання нових операцій[2]. На відміну від спеціалізованого обладнання, що дозволяє виконувати лише ту операцію для якої воно було спроектоване, робот може легко переключатись від однієї роботи на іншу або ж навіть виконувати декілька одночасно. Роботи можуть використовуватись як для виготовлення компактних деталей, так і габаритних заготовок будь яких конструкцій.

На перший погляд рухи зварювальника досить простий процес, але насправді вони представляють собою складний комплекс просторових переміщень, залежних як від конфігурації зварювальних деталей, так і від технологічних особливостей процесу зварювання. Операції такого роду вимагають використання більш складної багатопозиційної або контурної системи управління, що дозволяє безперервно керувати як переміщенням, так і продуктивністю за часом.

Найбільш значними перевагам роботів для зварювання вважаються:

- Збільшення продуктивності, та швидкості зварки.
- Зменшення числа робочих місць (один оператор замість команди зварювальників).
- Більш висока та передбачувальна якість зварювання;
- Покращення умов праці (оператору не потрібно стояти поряд з дугою зварки).
- Позитивний вплив на загальну ефективність виробництва.

Також потрібно не забувати про мінуси до яких можна віднести наступні:

- Значна потреба в навчанні персоналу, програмуючого та обслуговуючого робота.
 - Жорсткий контроль допусків на складання та позиціонування системи.
 - Необхідність позиціонування та підготовки деталей для зварювання.
- Застосування роботів необхідне для зростання промисловості адже за допомогою роботів можливе зварювання будь якої складності.

Організація гнучких виробництв та механізація і автоматизація виробничих процесів відносяться до числа самих пріоритетних напрямків розвитку машинобудування. Незважаючи на те, що автоматизація виробництва зварювальних приладів завжди була центральною проблемою зварювальної науки і техніки, і в цьому напрямку досягнуто значних успіхів, автоматизація дугового зварювання все ще має серйозні труднощі. Науково-

технічний прогрес в машинобудуванні характеризується ускладненням конструкцій та підвищенням вимог до їх якості і до техніко-економічних показників.

Серед усього різноманіття особливе місце займає велика група зварювальних конструкцій для яких характерні мала жорсткість, великі габарити, наявність коротких швів, не зорієнтованість в просторі. У ряді галузей промисловості накопичений великий досвід використання зварювальних приладів, але на жаль, до теперішнього часу їх в основному розглядають просто як маніпулятор, що забезпечує рух зварювального інструменту по складній траєкторії. На сьогоднішній день автоматизація виробництва можлива тільки за рахунок створення робототехнічних комплексів (РТК) або ліній. В даному випадку забезпечити автоматизацію виробництва зварювальних пристроїв доцільно шляхом використання промислових роботів (ПР) і створення на їх базі РТК, призначених для зварювання однорідної продукції. Разом з тим, їх широке застосування у багатьох випадках стримується низьким рівнем технічної культури виконання заготівельних операцій, що ускладнює вирішення проблеми взаємного позиціонування зварювальних кромок і електрода. Безперечно, для забезпечення високої точності руху електрода по стику, переважно мати адаптивних роботів, проте їх випуск невеликий, вартість значна, а в технологічному плані вони мають цілий ряд обмежень. До того ж універсальні промислові роботи, призначені для транспортних та зварювальних операцій, оптимізовані лише в деяких випадках і не найкращим чином. У зв'язку з цим більш широко застосовуються неадаптивні роботи, маніпулятори першого покоління які працюють по «жорсткій» програмі та здатні досить точно відтворювати будь-які траєкторії переміщення зварювального пальника, але запрограмовані до початку виконання зварювання. В даному випадку відкоригувати рух електрода в залежності від реального стану стику в період зварювання не є можливим. Роботи першого покоління - це маніпулятори,

керовані за допомогою програми, вміщеній на той чи інший носій інформації. Програма складається оператором, в якій кодується послідовність рухів виконавчих органів робота. Таким чином зовнішній світ даного пристрою строго фіксований і всі об'єкти повинні займати в просторі положення, запропоновані програмою. В даний час для гнучкої автоматизації виробництва в основному використовуються РТК першого покоління з програмним управлінням від ЕОМ (електро обчислювальні машини). Автоматизація технологічних операцій в них забезпечується системами ЧПУ роботів і обладнання. Однак можливості систем ЧПУ принципово обмежені.

Вони можуть забезпечити автоматичне функціонування РТК тільки в суворо визначених і незмінних умовах, організація яких вимагає значних витрат та виявилися нездатними вирішити зростаючі завдання автоматизації виробництва. Вони хороші лише для незмінних умов завантаження технологічного обладнання, а при найменшому порушенні, наприклад зміни розташування заготовок, робот дає збої. На виручку прийшло друге покоління роботів, що володіє здатністю адаптації, іншими словами, можливістю автоматично коригувати свою поведінку в залежності від стану навколишнього середовища. Завдяки оснащенню їх тактильними датчиками, що сигналізують про дотик захоплення з предметом(рука робота), вони можуть переміщатись в будь-яку точку простору в межах робочої зони по команді вбудованої в систему управління, яка містить пристрій для зберігання заданої програми. Система управління таких роботів будується на основі мікро-ЕОМ. Робот навчається протягом одноразового циклу рухів і після цього може повторювати ці рухи до перенавчання. Щоразу перед зварюванням виробів нового типу, оператор повинен запрограмувати функції робота, тобто навчити працювати по конкретному виробу. Виконуючи роботу без подальшого втручання людини, він тим не менше діє в такт з устаткуванням, так як пов'язаний з ним лініями блокування, які передбачаються відповідно до технологічного процесу. Реалізуючи програмне забезпечення, ЕОМ

розраховує траєкторію руху пальника, виробляє сигнали на виконання тих чи інших команд і управляє рухом робота з урахуванням параметра конкретного маніпулятора. Зварювальні роботи виконують основну технологічну операцію, і тому будь-яка помилка в програмі, неточність проходження по заданій траєкторії, порушення режимів і швидкості зварювання призводять до збою. Похибка відпрацювання траєкторії у сучасного ПР дугового зварювання становить $\pm (0,2-0,5)$ мм, а відхилення від заданої швидкості не перевищує $\pm (5-8)\%$. Такі жорсткі вимоги викликають необхідність атестації маніпуляторів зварювальних роботів.

IRB 4600 - перший робот нового покоління рис. 1.1., більш досконалий і володіє недоступними раніше можливостями. Ця розробка значно оптимізувала дії робота в різних сферах застосування. Використання компактних роботизованих осередків на базі IRB 4600 [7] дає на виході ще більш високу якість і продуктивність. IRB 4600 володіє високою точністю в своєму класі, відрізняється високою швидкістю роботи, що зводить до мінімуму відсоток браку і сприяє збільшенню продуктивності підприємства[3]. Ці якості особливо важливі при виконанні таких операцій, як різання, нанесення, клеєння і ущільнення матеріалів, вимір, складання і зварювання. Крім того, час програмування робота зведено до мінімуму, так як програмуються тільки необхідні функції. В результаті різко скорочується час робочого циклу.

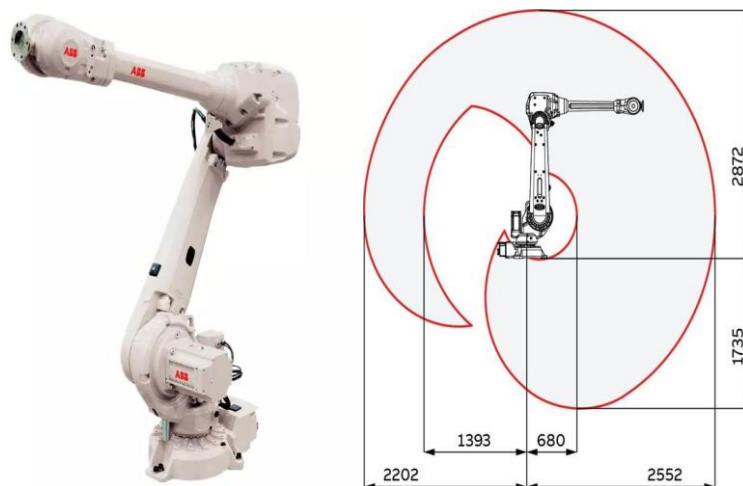


Рис. 1.1. IRB 4600 - перший робот нового покоління

Подібне скорочення часу переналагодження, що визначає тривалість переходу на нові вироби або заготовки, істотно скорочує виробничі витрати. Завдяки оптимізованій конструкції робот став компактніше і легше, що дозволяє скоротити час робочого циклу на 25%. IRB 4600 володіє найвищими характеристиками в своєму класі в тому, що стосується прискорення і швидкості, що робить його незамінним в задачах завантаження / розвантаження, укладання. Висока прискорення дозволяє йому обходити перешкоди і переміщатися строго по заданій траєкторії. Все це сприяє збільшенню виробничих потужностей і продуктивності в цілому. За допомогою інноваційного програмного забезпечення KUKA.ArcTech можна легко управляти операціями дугового зварювання, використовуючи інтуїтивно зрозумілі команди і структуровані меню за допомогою KUKA smartPAD, а також швидко програмувати дані операції за допомогою кнопок стану EasyTeach [4]. Роботи KUKA володіють високою точністю

відпрацювання траєкторії і стабільної повторюваністю, а також мають надійні робототехнічні механізми, завдяки чому вони гарантують найвищу якість зварювання навіть при тривалій експлуатаційному навантаженні. Головною перевагою зварювального роботи роботом KUKA є її висока точність: так, технічні характеристики сучасних роботів для зварювання дають можливість домогтися точності позиціонування зварювального пальника порядку 0.03-0.05 мм, що є достатнім для переважної більшості зварювальних завдань. Однак деякий недолік робота полягає в тому, що, на відміну від людини, при недостатньо точному позиціонуванні деталі він не може самостійно змінити траєкторію і знайти правильну точку для зварювання, тому похибка позиціонування і складання заготовки не повинна перевищувати 0.5 мм.

Більшість сучасних промислових роботів-зварювальників мають шість незалежних з'єднань - шість ступенів свободи. Причина цього полягає в тому, що вільне розміщення твердого тіла в просторі вимагає призначення шести

параметрів, три з них, що б вказати місце розташування (координати в декартовій системі координат x , y , z наприклад) і три, щоб вказати орієнтацію.

1.3 Обґрунтування технічного рішення

На основі проаналізованого матеріалу[5], було зроблено висновок що сучасне виробництво має велику потребу в автономних та мобільних роботів для зварювальних робіт.

Рухома платформа в якості основи робота вирішує проблему мобільності зварювальних систем. Вибір саме гусеничної платформи обумовлений її низьким центром мас та великою площею контакту з поверхнею що в свою чергу збільшує стабільність робота а це позитивно впливає на якість зварювальних швів. Універсальний маніпулятор дозволить зварювати конструкції будь яких форм а при бажанні навіть змінювати робочий інструмент. Роль системи навігації може виконувати камера стереоскопічного зору Intel RealSense D435[6]. Інформацію з цієї камери можна використовувати як для навігації робота так і для позиціонування робочого інструмента. За допомогою різних алгоритмів по обробці зображення робот матиме можливість сам визначати місце зварювання, переміщатись до нього, уникаючи перешкоди які можуть траплятись на шляху, та виконувати зварювальні роботи. Така система зведе роль оператора до мінімуму а отже і людський фактор та ризики для здоров'я теж зменшаться або ж взагалі зникнуть.

В даному розділі було проведено аналіз роботизованих зварювальних систем, порівняння існуючих рішень визначення їх недоліків, це дозволило вважати що данна тема є дуже актуальною так як стрімкий ріст технологій вимагає високий рівень адаптивності від сучасних підприємств, тому автоматизація більшості процесів виробництва є необхідною. Оскільки існуючі зварювальні роботизовані системи по більшій мірі є

вузькоспеціалізовані та залежними від людського фактору, виникає потреба в мобільних автономних зварювальних системах тому було запропоновано варіанти вирішення існуючих проблем.

1.4 Формування вимог до апаратно-програмного забезпечення

1.4.1 Аналіз та вибір конструкції гусеничної платформи

При розробці конструкції було проаналізовано безліч варіантів. Розглядалися колісні бази, але вони мали велику кількість недоліків таких як неможливість стабільно рухатись по пересічній місцевості та недостатня стійкість[7]. Також увага приділялася гібридним роботам з різними штовхачами, роликами та іншими маніпуляторами, що використовуються для цілей підйому сходами[8]. Але такі варіанти не підходили через складність їх реалізації, малої надійності та зазвичай невеликої вантажопідйомності. У підсумку, після аналізу різних варіантів було вирішено зупинитися на моноблочній гусеничній конструкції. Реалізація гусеничного шасі вирішує майже всі поставлені завдання.

По прохідності - це найвдаліший варіант. Гусеничний робот з легкістю долає пересічену місцевість, має надійний контакт з поверхнею, а також, при правильному виборі профілю гусениці, добре підіймається по досить похилим площинам. Також забезпечується і хороша вантажопідйомність. Адже розробляється саме платформа на якій будуть, в подальшому, розташовуватися різні маніпулятори, вага яких може бути різною.

Серед уже відомих гусеничних роботів цікавими виявилися реалізації зарубіжних робото будівних компаній, зокрема:

- TALON компанії Foster Miller;
- MMP40X компанії Machine Lab;
- Element компанії Mesa Robotics;
- Scorpion компанії Mesa Robotics

Параметр/Модель	TALON (Foster Miller)	MMP40X (Machine Lab)	Element (Mesa Robotics)	Scorpion (Mesa Robotics)
Призначення	Розмінування, розвідка, підтримка СБРН	Модульні завдання, дослідження	Розвідка, моніторинг	Важкі умови, рятувальні операції
Основні характеристики	Висока мобільність, дистанційне керування	Гнучкість, модульна конструкція	Компактність, легкість	Міцність, адаптивність до складних умов
Можливості	Навігація в складних умовах, передача відео	Налаштовуване обладнання	Ефективна розвідка з повітря	Висока прохідність, долаття перешкод
Сфера застосування	Військові операції, СБРН реагування	Наукові дослідження, промисловість	Екологічний моніторинг, розвідка	Рятувальні місії, екстремальні ситуації

Всі вони являють собою моноблочну конструкцію з двома гусеницями. При розробці нашого робота були враховані певні переваги і недоліки даних конструкцій. Для вирішення різного роду завдань були розроблені кілька різних типів мобільних роботів, в тому числі колісні роботи, гусеничні роботи, крокуючі роботи, безпілотні літальні апарати. У даній роботі розглядається мобільний гусеничний робот. Вибір гусеничного рушія зумовлений низкою переваг, серед яких: маневреність, висока прохідність, надійний контакт з поверхнею а також висока стійкість. При розробці дизайну робота були розглянуті 3 стандартних види конструкцій рис. 1.3.

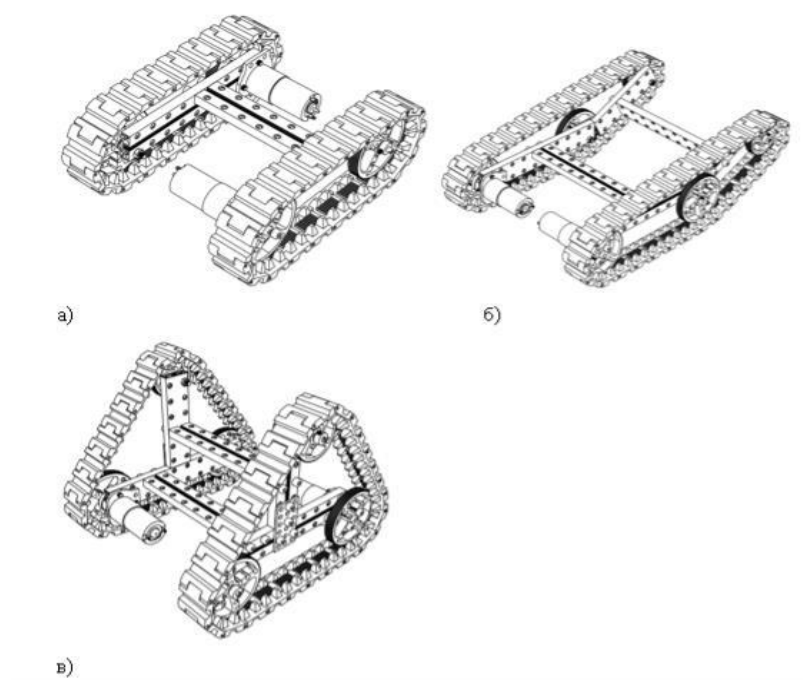


Рисунок 1.3 – Варіанти конструкцій: а - стандартна, б - з кутом атаки, в – трикутна

В якості основного було вирішено використовувати варіант (а) так як він вигідно виділяється низьким центром мас що в свою чергу збільшить стабільність робота та зменшить вірогідність падіння на бік. Однак діагональне розміщення двигунів у стандартній конструкції негативно впливає на точність позиціонування робота тому було вирішено обрати колінеарне розміщення.

Конструкція гусеничної платформи зображена на рис. 2.2.

Робот переміщається за рахунок сили тертя яка виникає між опорною поверхнею та гусеницями. Ведучий каток, за допомогою редуктора, з'єднаний з двигуном постійного струму, яким керує система автоматичного керування.

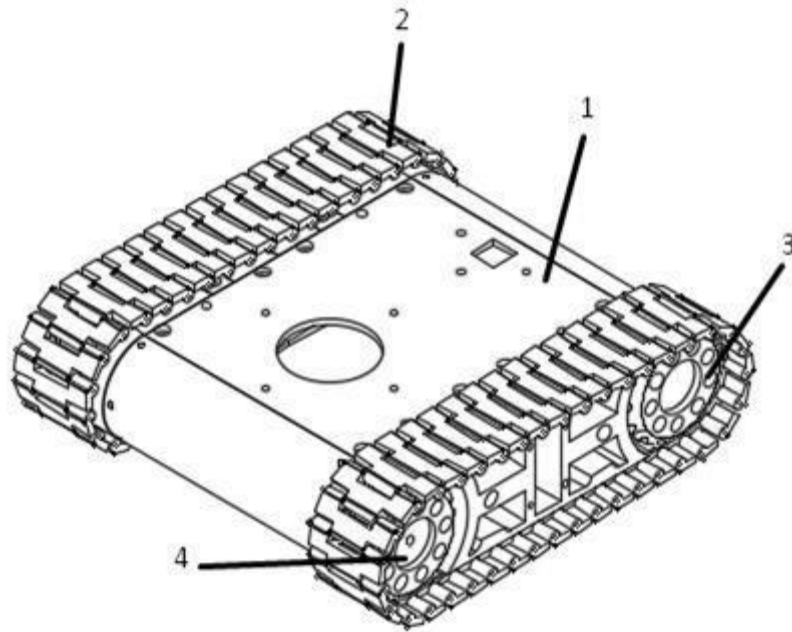


Рисунок 1.4 – Гусенична платформа: 1- корпус, 2 - гусениця, 3 - ведений каток, 4 -ведучий каток

Для повороту в горизонтальній площині система управління формує різну напругу живлення для кожного з гусеничних рушіїв.

Залежно від алгоритму переміщення та інформації з датчиків система автоматичного регулювання формує керуючі напруги для електроприводів пристрою. Для посилення слабкострумових сигналів з контролера системи управління використовуються силові транзисторні ключі - драйвери двигунів.

1.4.2 Аналіз та вибір конструкції маніпулятора

Існують різні конструктивні рішення роботів маніпуляторів[9], які застосовуються в різних сучасних виробництвах. Розглянемо більш детально класифікацію маніпуляторів по конструкції:

- Розрізняють за типом приводу (пневматичний, електричний, гідравлічний);
- Вантажопідйомність (надлегкі-до кілограма, легкі-до 10кг, середні до 200 кг, важкі-до 1000 кг, надважкі -понад 1000кг)
- рухливість (стаціонарний або рухливий);
- системі координат (прямокутну, циліндричну, сферичну)

- сферична система координат;
- стаціонарний; програмний спосіб управління

Найперше і головне питання що виникає при розробці робота - це яку кінематичну схеми вибрати і яку структуру матиме маніпулятор. У більшості випадків роботи, що виконують різні операції, подібні до людської руки, вони також мають плече, кисть і зап'ястя. Таким чином кінематична схема вибирається дуже схожою на людську руку. Для простих операцій досить мати два ступені рухливості, але для більш складних переміщень потрібно більше трьох ступенів для переміщення інструменту в будь-яку точку зони робота. Кожна ланка, як правило, керується індивідуальним приводом, в результаті чого виконавчий орган переміщується в потрібну область, за допомогою управління кожної ланки.

Існують різні кінематичні схеми, але найбільш поширеними є наступні чотири схеми:

Декартова система координат. Така система проста в управлінні і має високу точність, робот переміщається прямолінійно уздовж основних осей. Виконавчий орган переміщується поступально вгору-вниз. Такі роботи використовуються в основному для розміщення елементів на горизонтальні площини. На рис.1.5. представлений такий тип маніпулятора.

Циліндрична система координат. Робоча зона являє собою порожнистий циліндр. Маніпулятор, який працює в циліндричній системі відрізняється від прямокутної тим, що він може обертатися навколо своєї осі, тим самим збільшуючи робочу зону.

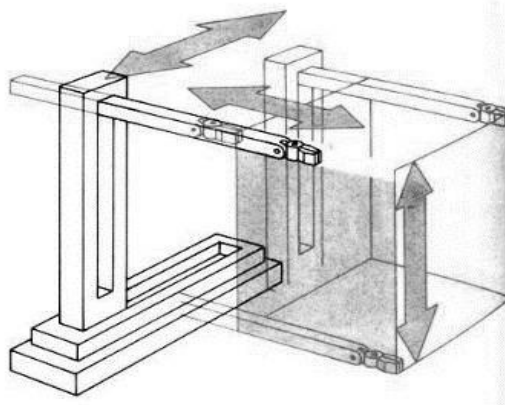


Рис. 1.5. Декартова система координат

Ангулярна система . У шарнірному маніпуляторі рис. 1.6. , що діє в ангулярній системі координат відсутні поступальні кінематичні пари, присутні тільки обертальні кінематичні пари. Маніпулятор такого типу дуже нагадує руку людини, оскільки має «плечове» і «ліктьове» зчленування, а також «зап'ястя». Його зона обслуговування значно більша, ніж у роботів інших типів. Він здатний обходити перешкоди набагато різноманітнішими шляхами і навіть складатися, але разом з тим він надзвичайно складний в керуванні.

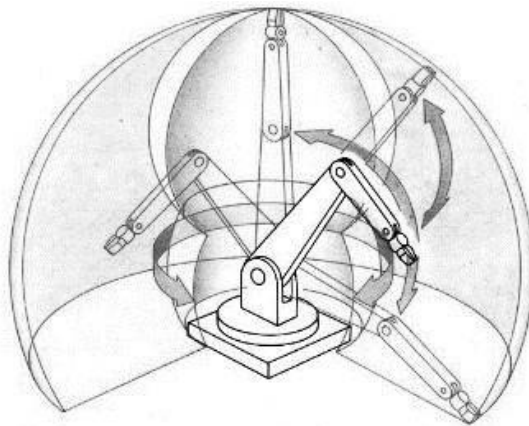


Рис. 1.6. Ангулярна система координат

Форма робочої зони та можливостей маніпулювання об'єктами визначається кінематикою структурної схеми маніпулятора представленої на рис.1.7.

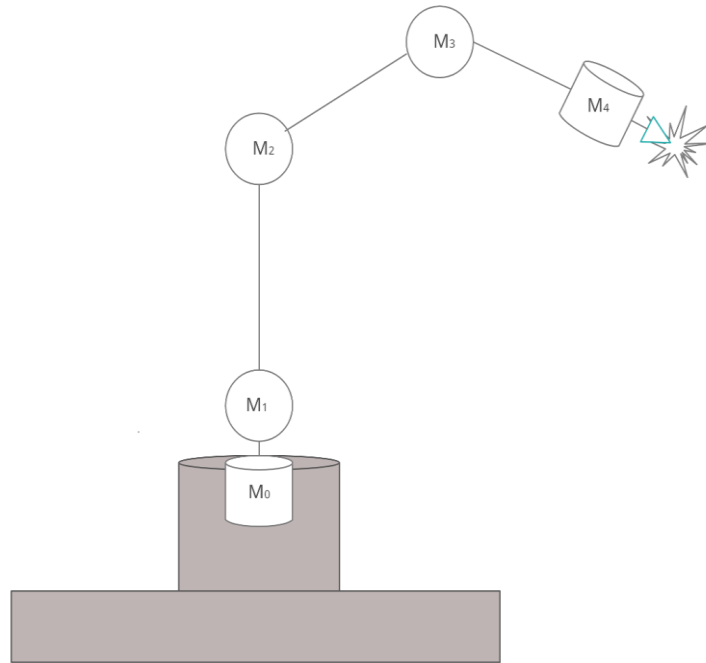


Рис. 1.7. Кінематична модель маніпулятора

Представлена схема свідчить про те, що розробляється маніпулятор переміщається в ангулярній (сферичної) системі координат, так як рух об'єкта в просторі відбувається тільки за рахунок відносних кутових поворотів ланок робота. Така система координат найбільш універсальна і забезпечує обслуговування найбільшої робочої зони. Однак, недоліком є знижена жорсткість маніпулятора, через що виникають труднощі із забезпеченням необхідної точності позиціонування, але це прийнятне допущення в рамках вирішення поставленої проблеми.

Незалежно від різного технічного виконання, будь який маніпулятор складається з декількох рухомих частин (ланок) і виконавчих механізмів (двигунів), що рухають ланками. В якості рухомих ланок маніпулятора, в залежності від призначення робота, найчастіше використовуються крокові двигуни або сервоприводи різної потужності. Можна відзначити, що кроковим двигунам віддається перевага в разі якщо швидкість переміщення ланок робота не є критичним параметром. Наприклад, даний тип приводів може використовуватися при побудові вантажних маніпуляторів. Якщо ж потрібно забезпечити високу швидкість руху робота то найбільш доцільно використовувати сервоприводи.

Висновок до розділу

Аналітичний огляд літератури та патентної інформації в сфері апаратно-програмних модулів виявив значний інтерес до розвитку інтегрованих технологій, що спрямовані на підвищення ефективності, надійності та безпеки інформаційних систем. Основна увага дослідників та розробників приділяється створенню гнучких, масштабованих та енергоефективних рішень, здатних задовольняти зростаючі вимоги сучасного цифрового світу.

Вивчення патентних баз даних показало активізацію роботи у сфері мікроелектроніки, зокрема в розробці новітніх мікросхем, сенсорів та інтерфейсів для забезпечення високої продуктивності та інтеграції різноманітних апаратних компонентів. Особлива увага приділяється розробці модульних та адаптивних систем, здатних до швидкої переконфігурації відповідно до змінних умов використання та вимог користувачів.

Значний обсяг досліджень присвячений безпековим аспектам апаратно-програмних модулів, включаючи захист від несанкціонованого доступу, шифрування даних та забезпечення цілісності інформації. Це свідчить про зростаючу важливість інформаційної безпеки у світлі поширення хмарних технологій та Інтернету речей.

Також важливим напрямком досліджень є інтеграція апаратно-програмних модулів з розподіленими системами та блокчейн-технологіями, що відкриває нові можливості для створення децентралізованих та високонадійних інформаційних систем.

У підсумку, аналітичний огляд підтверджує високий потенціал інновацій у сфері апаратно-програмних модулів, акцентуючи на необхідності подальших досліджень для розвитку нових технологій, забезпечення безпеки даних та розширення можливостей інтеграції та масштабування систем. Враховуючи швидкість технологічного прогресу, важливо зосередити увагу на адаптивності та гнучкості розробок, щоб відповідати мінливим потребам ринку та користувачів.

2. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО МОДУЛЮ

Ключовими етапами у процесі проєктування є розробка алгоритму функціонування програмного модуля та вибір відповідних технологій, які гармонійно впишуться у концепцію проєкту. Ці кроки визначають продуктивність програми та її загальну ефективність.

2.1 Моделювання та виготовлення корпусу

На основі проведеного аналітичного огляду було сформоване технічне завдання на конструювання системи для електрозварювальних робіт рис. 2.1



Рис. 2.1 3D модель системи для електрозварювальних робіт

Щоб реалізувати задуману конструкцію було проаналізовано конструкції промислових зварювальних роботів та спроектовано прототип такого робота з можливістю на гусеничній платформі. Для моделювання конструкції системи було використано програмне середовище Fusion 360, оскільки там наявний широкий базовий функціонал і це програмне забезпечення має безкоштовну ліцензію для студентів.

Для спрощення процесу конструювання та виготовлення прототипу було вирішено використовувати технологію 3D друку. Такий метод

проектування потребує значно менших затрат часу та коштів в порівнянні з іншими методами. Най більш зручним матеріалом для 3D друку є PLA пластик, він виділяється міцністю, порівняно низькою температурою плавлення і малою токсичністю.

Даний робот не призначений безпосередньо для робіт на виробництві, ця модель спроектована для відпрацювання алгоритмів та тестування програмного забезпечення мобільного зварювального робота.

У цьому проекті, як було сказано вище, використовуємо маніпулятор з п'ятьма ступенями свободи. Така кількість ступенів свободи достатня, тому що в їх число входить три лінійних переміщення і два обертальних. Останні два необхідні для орієнтації робочого органу, оскільки напрям РВ в просторі можна задавати у вигляді вектора, а вектор виразити можна з двох кутів повороту (не враховуючи довжини). У такому випадку нам необхідно п'ять узагальнених координат, яка дорівнює кількості осей.

Першим кроком створення 3D моделі є створення гусеничної платформи для зручності реалізації поставленої задачі було вирішено розділити конструкцію на чотири частини. Розділення на частини обумовлено особливостями виготовлення деталей. Перша частиною є гусенична база рис.2.2

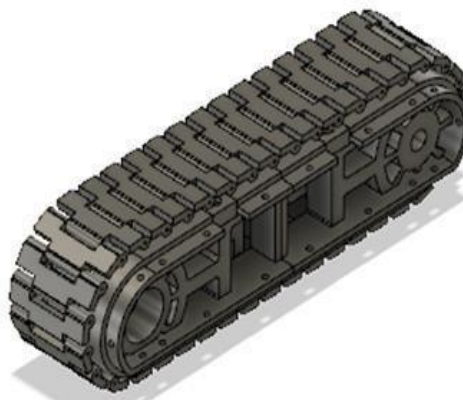


Рис. 2.2 Гусенична база

Другою частиною є дно і кришка корпусу їхні розміри не дозволяли виготовити методом 3D друку тому було прийняте рішення виготовити верхню і нижню частину методом лазерного різку з прозорого акрилу рис. 2.3

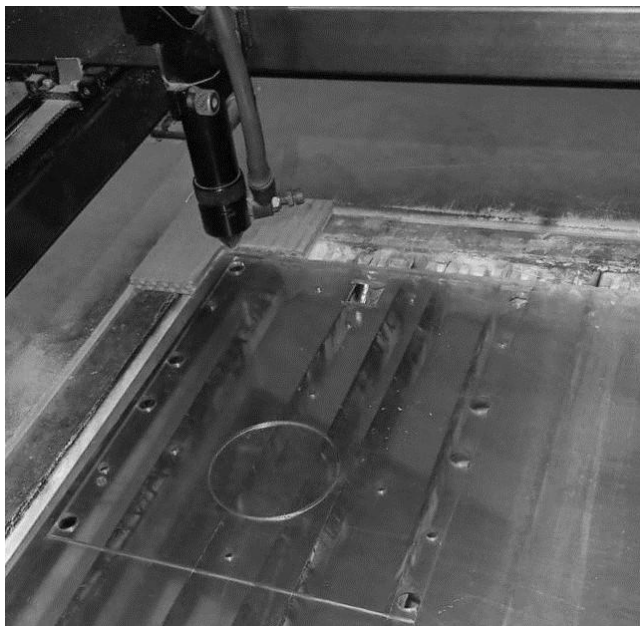


Рис. 2.3 Виготовлення кришки корпусу методом лазерного різку

Це рішення не тільки спростило процес виготовлення деталей, а й дозволило модернізувати конструкцію. Через оптичні якості акрилу, а саме пропускання світла, спростився процес контролю коректної роботи платформи та апаратного забезпечення в ній. Третьою частиною є маніпулятор рис. 2.4.



Рис.- 2.4. Модель маніпулятора

Сконструйований по прикладу аналогічних промислових маніпуляторів і оптимізовано під спосіб виготовлення 3D друком.

Четвертою частиною вважається кріплення камери в якості якого було взято відрізок алюмінієвого станкового профілю рис. 2.5. Це забезпечило камеру жорстким кріпленням з основою що гарантує правильність показань датчиків гіроскопа акселерометра які знаходяться в камері.



Рис. 2.5. -Кріплення камери

Після друку на 3D-принтері всіх деталей, їх шліфування та збору отримано завершену модель роботизованої системи для електрозварювальних робіт ,яку зображено на рис.2.6.

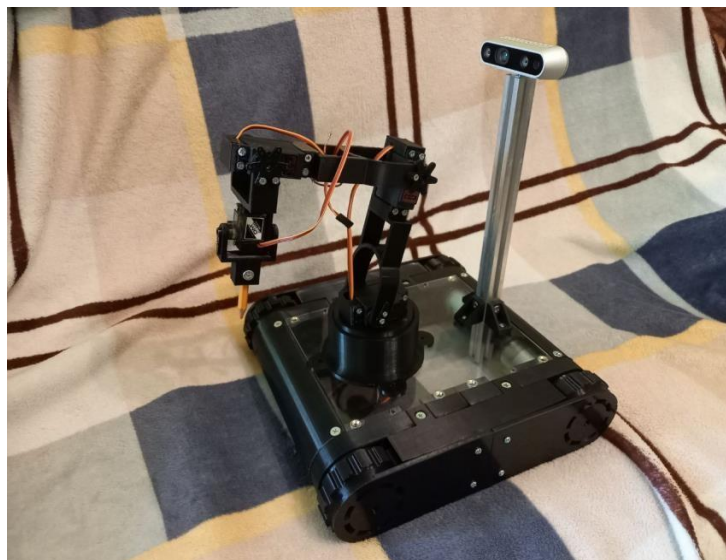


Рис. 2.6. - Кріплення камери

2.2 Кінематика гусеничної платформи

Положення робота визначається координатами центру мас корпусу C і кутом повороту корпусу φ . При кінематичному аналізі руху гусеничного

робота рис. 2.7. вирішується завдання визначення положення, швидкості центру мас робота і швидкості точок C_i , і K_i .

На схемі прийняті наступні позначення:

XOYZ - нерухома система координат,

CX₁Y₁Z₁ - рухома система координат,

C₁, C₂, C₃, C₄ - точки кріплення центрів опорних катків;

K₁, K₂, K₃, K₄ - точки контакту гусениць з поверхнею;

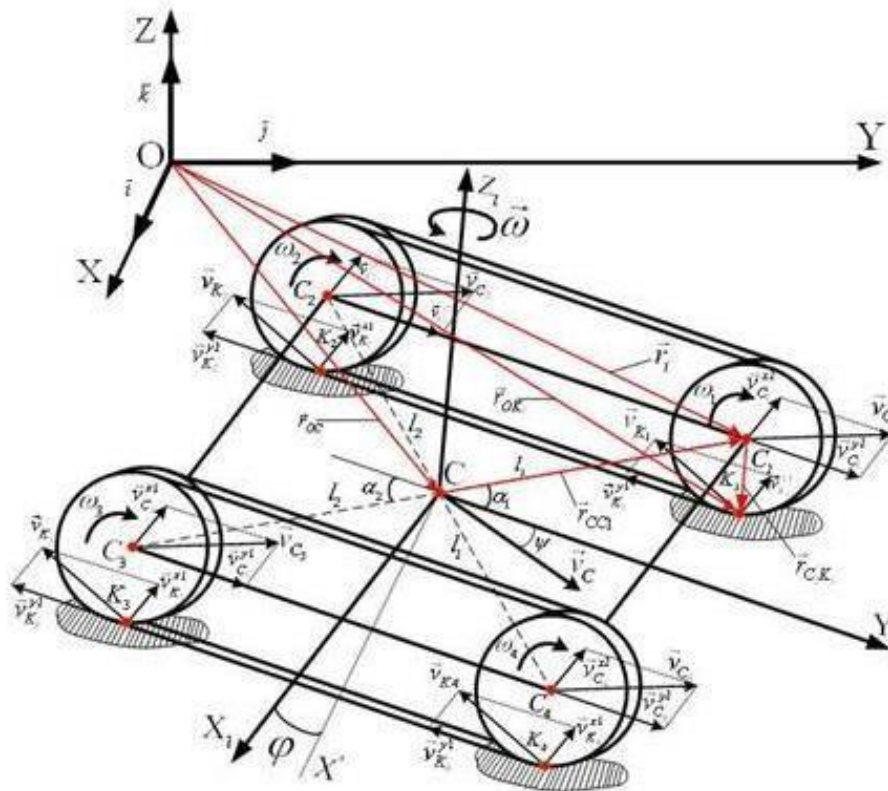


Рис. 2.7 – Кінематична схема гусеничної платформи

$V_{C1}, V_{C2}, V_{C3}, V_{C4}$ - проекції швидкостей точок кріплення центрів опорних катків на вісь CX₁;

$V_{C1}, V_{C2}, V_{C3}, V_{C4}$ - проекції швидкостей точок кріплення центру опорних катків на вісь CY₁;

$V_{K1}, V_{K2}, V_{K3}, V_{K4}$ - швидкості точок контакту опорних катків з поверхнею;

$V_K, V_{K_2}, V_{K_3}, V_{K_4}$ - проєкції швидкостей точок контакту опорних катків з поверхнею на вісь;

$V_{K_1}, V_{K_2}, V_{K_3}, V_{K_4}$ - проекції швидкостей точок контакту опорних катків з поверхнею на вісь;

$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ - кутові швидкості обертання опорних катків,

l_1 - відстань від центру мас до 1-го і 4-го катка,

l_2 - відстань від центру мас до 2-го і 3-го катка,

φ - кут повороту корпусу робота навколо.

2.3 Узагальнені розрахунки кінематичної схеми маніпулятора

На цьому етапі необхідно розрахувати пряму і зворотну кінематику маніпулятора. ПЗК - пряма задача кінематики. ПЗК полягає у знаходженні вектора положення розрахункової точки інструменту і його орієнтації в деякій технологічній системі координат за відомим кінематичній схемі механізму і вектору узагальнених координат. ЗЗК - зворотня задача кінематики. ЗЗК полягає у знаходженні вектора узагальнених координат механізму по його заданій кінематичній схемі вектору положення і орієнтації інструмента в заданій технологічній системі координат.

Почнемо з розрахунку зворотної кінематики. Геометрична схема маніпулятора, з якої будуть зрозумілі геометричні співвідношення на рис. 2.8

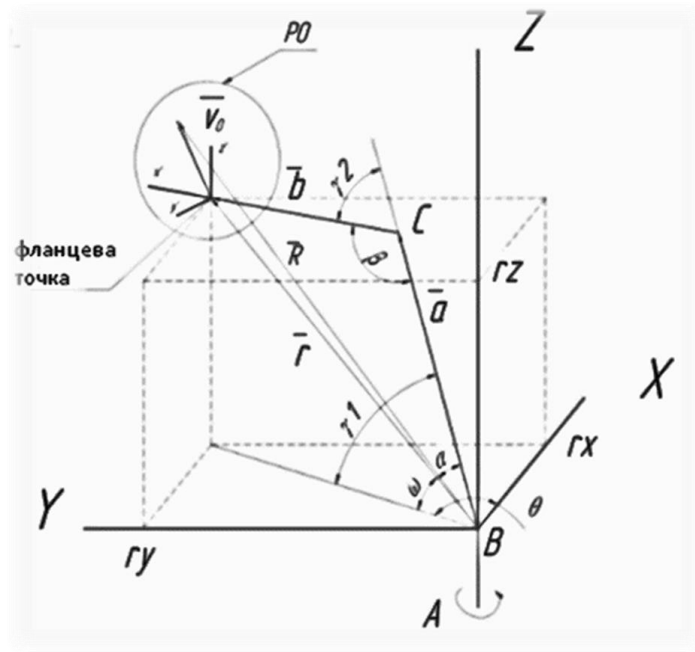


Рис. 2.8. Геометрична модель маніпулятора

Потрібну позицію зображаєм як радіус вектор r . Так як позиція робочого тіла нам відома (визначається в залежності від метода зварювання) то необхідно щоб фланцева точка опинилась у потрібному місці, вказане як r . Цей вектор вираховується з радіус вектора R проведеного до кінцевої точки РО, вектора його орієнтації V_0 , відносно БСК:

$$\vec{r} = \vec{R} - \vec{v}_0$$

Розглянемо перехід фланцевої точки в потрібне положення. Воно здійснюється поворотом ланок a і b (їх зображено у вигляді векторів) в шарнірах A , B і C . Початок базової системи координат (БСК) помістимо в точку шарніра B . Вісь обертання шарніра A спрямована уздовж осі Z , осі B і C спрямовані перпендикулярно Z . Для розв'язання оберненої задачі кінематики використовується геометричний підхід в силу простоти конструкції маніпулятора. З геометрії видно, що вектор дорівнює сумі векторів ланок a і b .

$$|\vec{r}| = r \qquad |\vec{a}| = a \qquad |\vec{b}| = b$$

Запишем теорему косинусів відносно шуканих кутів: b^2

$$b^2 = a^2 + r^2 - 2ar \cos \cos(a)$$

$$r^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \cos(B)$$

Висновок до розділу

У результаті проведеної роботи було здійснено ретельний аналіз ключових концепцій та рішень, що забезпечило вибір найбільш ефективних підходів для реалізації завдань згідно з технічним завданням. Детальні розрахунки кінематики дали можливість точно оцінити траєкторії руху платформи та маніпулятора, що стало основою для розробки математичних моделей, що визначають конструкцію системи. Використання програмного забезпечення для 3D-моделювання, такого як Fusion360, дозволило візуалізувати та тестувати технічні рішення у віртуальному просторі, мінімізуючи ризики та помилки на етапі фізичної реалізації. Впровадження технології 3D-друку істотно знизило витрати часу та ресурсів на створення функціонального прототипу, підтверджуючи його працездатність та ефективність. Процес збирання прототипу виявився спрощеним завдяки попередньому тестуванню всіх компонентів та їх з'єднань у цифровому середовищі, що гарантувало високий ступінь сумісності та надійності готового виробу. Таким чином, інтеграція сучасних технологій проектування та виробництва у процес розробки дозволила ефективно вирішити поставлені завдання, забезпечуючи високу якість та оперативність виконання робіт.

3. РОЗРОБКА СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

3.1 Системи навігації та маніпулювання

Важливим аспектом конструювання роботизованої системи є навігація, для цього робот повинен :

- Відчувати потенційно динамічне середовище. Навколишнє середовище роботів не є статичним. Такі перешкоди, як меблі, люди чи домашні тварини, іноді рухаються і можуть з'являтися або зникати.
- Визначати поточне місцезнаходження. Наприклад, уявіть, що ви керуєте автомобілем. Вам потрібно вказати "Де я?" на карті або принаймні знати свою позицію відносно місця призначення.
- Перехід від одного місця до іншого. Наприклад, щоб доїхати на машині до місця призначення, вам потрібні навички водія (вирішуючи, з якою швидкістю рухатись і як керувати), а також навігатора (відстеження карти та планування маршруту до пункту призначення).

Взаємодійте з людьми. Роботи в середовищі людини повинні мати можливість належної взаємодії з людьми. Це може означати здатність розпізнавати об'єкт як людину, слідувати за ним або реагувати на голосові або жестові команди.

У нижній частині стека драйвери апаратного забезпечення датчиків, у тому числі для камери Intel RealSense у даному випадку вони доставляють інформацію до набору сенсорних модулів. Ці модулі розпізнають цю інформацію, а також взаємодію людей. Кілька джерел інформації об'єднуються для створення різних моделей: просторова модель, оцінка стану робота (включаючи положення в просторі) та командні входи (наприклад, розпізнавання голосу).

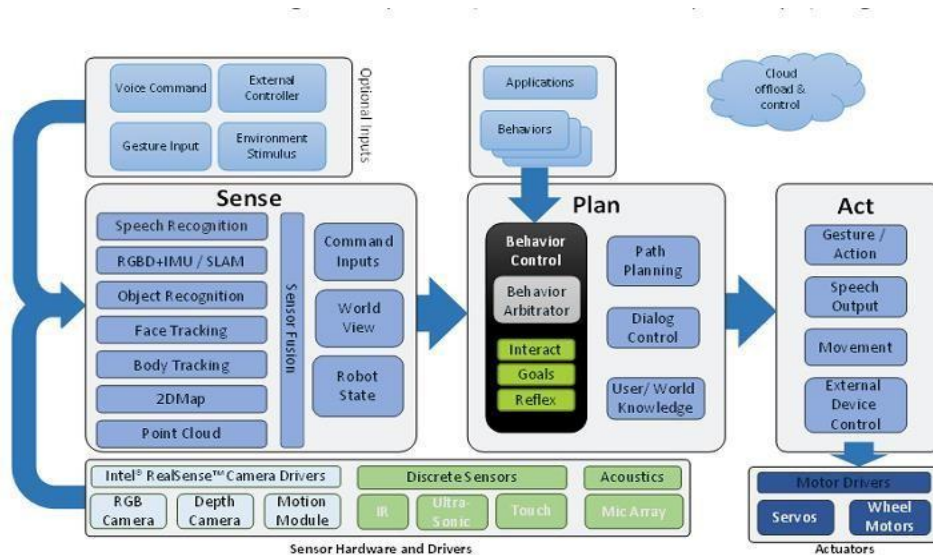


Рис. 3.1. Типовий стек програмного забезпечення

Модуль Plan вирішує, як діятиме робот для того щоб досягнути мету. Для мобільної робототехніки основною метою є навігація з одного місця в інше, для чого необхідно розрахувати шляхи без перешкод, враховуючи оновлену просторову модель і стан [10].

На основі розрахованого плану модуль Act керує фактичним переміщенням робота. Як правило, керування рухом є основною функцією цього сегмента, але можливі й інші дії, наприклад виведення мови. Виконуючи дію, робот може також постійно оновлювати свою просторову модель і перепланувати. Наприклад, якщо виникає несподівана перешкода, роботу, можливо, доведеться оновити свою модель світу, а також перепланувати свій шлях. Робот може навіть помилятися (наприклад, оцінка його розміщення у просторі може бути неправильною), і в цьому випадку він повинен з'ясувати, як відновити правильну модель.

Для виконання вищезазначених завдань автономна навігація вимагає великої кількості обчислень. Деякі завдання можна вивантажити в хмару, але через проблеми з підключенням та затримками це часто не підходить. Робот повинен здійснювати автономну навігацію, використовуючи лише бортові обчислювальні ресурси, але хмара все одно може бути корисною для

додавання інших можливостей, таких як голосове управління (наприклад, за допомогою «Amazon Voice Services»).

Одночасна локалізація та картографування (SLAM) є однією з найважливіших можливостей автономних мобільних роботів [11]. У типовій реалізації робот переміщається (планує шляхи) через простір за допомогою карти наповненості. Цю карту потрібно динамічно оновлювати у міру зміни середовища. У нижчих системах ця карта, як правило, 2D, але більш досконалі системи можуть використовувати 3D-зображення, наприклад хмару точок. Ця карта є частиною просторового представлення робота. Слово —локалізація|| SLAM означає, що крім підтримання карти, робот повинен оцінити, де він знаходиться на карті. Зазвичай в цій оцінці використовується імовірнісний метод; замість одного передбачуваного місця, робот підтримує розподіл ймовірностей, і найбільш імовірне місце використовується для планування. Це дозволяє роботу застрахуватися від помилок та зменшити можливість помилок про невизначеність. Наприклад, якщо оцінка поточного місцезнаходження занадто невизначена, робот може отримати більше інформації з навколишнього середовища (наприклад, обертаючись для сканування на орієнтири), щоб уточнити свою оцінку.

Сегментація та розпізнавання передбачають аналіз інформації, отриманої від системи сприйняття. Сегментація - це процес, за допомогою якого роботклітина збирає інформацію про навколишнє середовище та представляє просторову інформацію цільових об'єктів за допомогою алгоритмів сприйняття [12]. Результатом роботи модуля сегментації можуть бути піксельні маски або обмежувальні рамки. OpenMAIPULATOR-X включає базову сегментацію на основі виявлення контуру та краю в OpenCV.

Розпізнавання - це процес вилучення ознак цільового об'єкта за межі інформації про місцезнаходження. На цьому кроці робоча клітина визначає категорію цільового об'єкта, застосовуючи конкретні методи, такі як машина векторної підтримки (SVM) та згортувальна нейронна мережа. [13] Деякі з

наскрізних нейронних мереж одночасно роблять висновок про місце розташування та категорію цільового об'єкта. Планування захоплення має на меті знайти оптимальну позу для руки робота і кінцевого ефекту для наближення до цільових об'єктів, що сильно залежить як від кінцевого ефектора, так і від об'єктів. Останніми роками дослідницькі інтереси перейшли від аналітичних методів до методів, керованих даними. DeepClaw запровадив наскрізну модель планування схвалення, засновану на повністю згорнутому AlexNet, який навчався на 5000 випадкових захопленнях з мітками.

Планування руху використовує наведену вище інформацію, таку як захоплююча поза, дані датчика сили, обмежують роботу системи та обмежують об'єм робочого простору для отримання траєкторій без зіткнень[14]. В даний час для наших завдань використовується планування руху на основі точки. Для UR5 та UR10e ми використовуємо команду movej, для планування та виконання шляху між точками маршруту.

3.2 Підбір компонентів

Для управління системою для виконання зварювальних робіт зручно використовувати зв'язку з персонального комп'ютера, щоб використовувати його для розрахунків і формування програми управління, а також плати керування на базі мікроконтролерів AVR або STM.

Що стосується одно платних персональних комп'ютерів то на ринку пропонують широкий вибір на для вирішення будь яких задач. Безперечним лідером по популярності є сімейство одно платних комп'ютерів Raspberry Pi.

Але нещодавно Kickstarter створив нову альтернативу, це передовий однопалатний комп'ютер на базі Intel. Up board рис. 3.3. поставляється в різних конфігураціях оперативної пам'яті та флеш-пам'яті, у даному проекті використовується з 2 Гб оперативної пам'яті DDR3 та 16 Гб флеш-пам'яті eMMC. Плата працює на Intel Atom x5-Z8350 з чотирьох ядерним процесором 1,44 ГГц, який може пришвидшувати до 1,92 ГГц. Це дуже потужний

процесор як для такої маленької плати. Живлення забезпечується роз'ємом 5,5 мм, а не через порт USB. Для роботи Up board потрібно мінімум 5 В 3 А, але для досягнення найкращих результатів рекомендується використовувати джерело живлення 5 В 4 А. У верхній частині процесора знаходиться великий радіатор, а також інший радіатор під платою. Цей радіатор необхідний, оскільки процесор Atom може нагріватися до дискомфортних температур, тому хороша вентиляція є необхідною для тривалого використання. Up поставляється з 40-контактним GPIO (Інтерфейс введення/виведення загального призначення), який аналогічний виходам у Raspberry Pi. Це забезпечує управління периферією за допомогою SPI, I2C, ШІМ та стандартного цифрового введення/виведення.



Рис. 3.2. Одно платний комп'ютер Up board

Вибір саме цієї моделі персонального комп'ютера обумовлений його високою продуктивністю що сприяє швидкості обробки стереоскопічного зображення та наявністю порту USB3.0 за допомогою якого можна без проблем передавати зображення з камери Intel RealSense.

В якості основного сенсора було вирішено використати камеру з можливістю стереоскопічного зору Intel RealSense D435 . Данна лінійка камер від 415-ї до 455-ї моделі нарощує свій функціонал і продуктивність.

Ці камери працюють за технологією стерео глибини Stereo Depth (Depth from Stereo), тобто визначають відстань на підставі відмінності в зображеннях з двох приймачів (ІЧ-приймачів), спрямованих в одному

напрямку і поєднуючи ці дані з отриманою картинкою з відеокамери. Розташування випромінювачів і приймачів показано на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Камера з можливістю стереоскопічного зору Intel RealSense D435

Оптимальна дальність дії камери збільшилася до 6 метрів. Це зробило її в два рази точнішою в розрахунку глибини сцени в порівнянні з іншими камерами, але при цьому не призвело до зменшення кута огляду. Похибка розрахунків глибини сцени в діапазоні 4 метрів у камери становить менше 2%. Крім того, новинка пропонує кілька поліпшень. Відстань між датчиками глибини 3D-камери збільшилася на 95 мм. Це дозволило підвищити точність при визначенні глибини сцени на більшій відстані. По-друге, датчики глибини і RGB-сенсор знаходяться на одній рамі, що також дозволило поліпшити роботу у визначенні глибини і вирівнювання по кольору. По-третє, всі датчики отримали однаковий кут огляду, що дозволило вирівняти співвідношення глибини кольору і числа бітів на один піксель зображення. Крім того, RGB-сенсор і датчики глибини використовують технологію глобального затвора. Це дозволило синхронізувати кут огляду між ними, а також збільшити точність передачі даних двома потоками. Саме тому при виборі оптичного сенсора в даній роботі найкращим варіантом є саме ця камера.

При виборі плати керування пріоритет віддався налагоджуваній платі NUCLEO-F401RE рис. 3.4. яка являє собою 32-розрядний мікроконтролер

сімейства STM32F4 з ультра низьким споживанням на базі ядра ARM CortexM4 з модулем плаваючої точки FP, продуктивність 105 DMIPS, 96 Kб RAM, 84 МГц, 512 Kб Flash. Плата має роз'єми, що відповідають ArduinoUno, а це в свою чергу облегшить приєднання модулів сумісних з платформами Arduino.

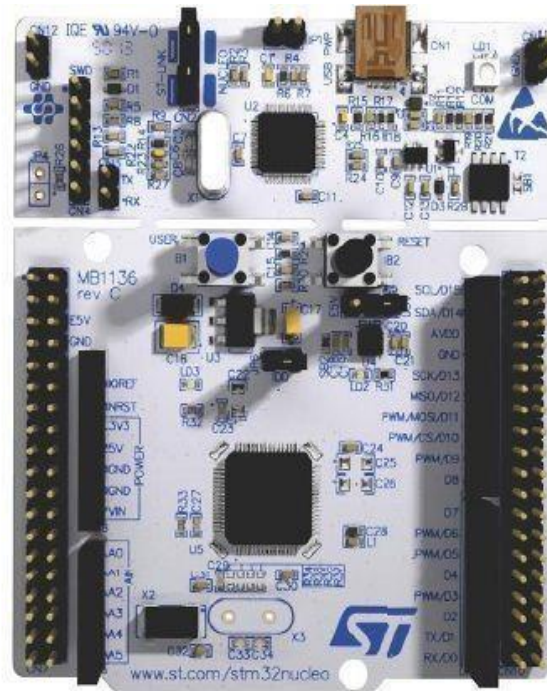


Рис. 3.4. відлагоджувальна плата NUCLEO-F401RE

Поворот ланок робота відбувається за допомогою цифрових серводвигунів. При довжині ланок, приблизна довжина маніпулятора буде близько 60 см. З урахуванням ваги ланок, серводвигунів для інструмента і підйому ланок можна розрахувати приблизну масу робота. Один серводвигун 55 грам, ланки виконані з пластику і важать по 100 грам, відповідно маса робота без підстави не повинна перевищувати 350 грам. Прийmemo що маса робота розподілена по всій довжині, то в робочій точці маса буде 300 грам. При масі, в точці виконавчого інструменту, 300 грам і довжині робота 60 см, момент на валу серводвигуна повинен бути не менше $18\text{кг} \cdot \text{см}$. Ґрунтуючись на моменті і бюджеті, були обрані цифрові серводвигуни фірми TowerPro. Основні технічні характеристики:

- Матеріал редуктора: Метал, встановлений на 2 шарикопідшипника

- Тип сервоприводу: Цифровий
- Напруга живлення: 4.8 -7.2В
- Швидкість повороту: 0.17сек / 60 ° (4.8В) -0.13сек / 60 ° (6.0В)
- Зусилля на валу: 13кг / см (4.8В) -18кг / см (6.0В)
- Розміри: 40.7мм x 19.7мм x 42.9мм
- Маса: 55г
- Кут повороту: 180 °

На рис. 3.5. представлений зовнішній вигляд серводвигуна.



Рис. 3.5. TowerPro MG995

В якості основного приводу гусеничної платформи було вирішено вибрати двигун постійного струму з редуктором планетарного типу та з магнітним енкодером PG36555 рис. 3.6.



Рис. 3.6. TowerPro MG995

Перевагами даної моделі двигунів є :

- висока швидкість обертання (60 об/хв);
- крутячий момент (1.3 Нм);
- передаточне число (72);
- високий ККД (73%); - мала вага (0.4кг).

Напруга живлення електродвигуна вибиралась відповідно до напруги живлення систем керування 12V.

В якості драйвера для двигунів постійного струму було обрано мостовий модуль IBT-2. Цей вибір обумовлений високими характеристиками та низькою ціною в порівнянні з аналогами. Обраний модуль вирізняється великим вибором напруг живлення (6В-27В) а також максимальним струмом 45А чого більш як достатньо для керування представленими вище двигунами.

3.3 Блок управління

На рис. 3.7. представлена апаратна архітектура проекту. Як і багато інших робототехнічних систем, архітектура складається з ведучої та веденої системи[15]. Ведучий піклується про обробку на високому рівні (наприклад,

SLAM та планування), а підлеглий - про обробку в режимі реального часу (наприклад, про регулювання швидкості двигуна). Це схоже на те, як головний мозок і спинномозкові рефлексії працюють разом у тварин. Для цієї моделі можна використовувати декілька різних опцій, але зазвичай для основного використовується система Linux, а для веденого використовується один або кілька блоків мікроконтролера (MCU).



Рис. 3.8. Апаратна архітектура проекту

У цьому проекті Intel RealSense використовуються як основний датчик навколишнього середовища. Ця камера забезпечує дані про глибину і може використовуватися як вхідні дані в систему SLAM. Камера Intel.

Інформація про глибину важлива, оскільки це дає нам інформацію, необхідну для розуміння форм, розмірів та відстані[16]. Це дозволяє нам (або роботі) знати, наскільки далеко предмети, щоб уникнути наїзду на речі та спланувати шлях навколо перешкод у полі зору зображення. Традиційно ця інформація надходить від RADAR або LIDAR, однак у цьому випадку ми можемо отримати таку інформацію від камери. У камері ми можемо отримати відстань (глибину), використовуючи 2 камери для стерео зору.

Камера Intel RealSense Depth (серія D400) використовує стереоскопічне зондування глибини для визначення відстані до предмета. Отже, по суті, вона має дві камери і може робити триангуляцію від них для стерео зору. Цей датчик використовує дві інфрачервоні камери для стереосистеми, і також має RGBкамеру на борту. Таким чином, ви можете отримати чотири види даних з датчика; RGB зображення, глибина зображення, ліве інфрачервоне зображення та праве інфрачервоне зображення. Подумайте про кожен кадр зображення як про тривимірний знімок навколишнього середовища, де кожен піксель кольору (RGB) також має значення діапазону (глибини) для елемента, що знаходиться на зображенні. Чим далі елементи від камери, тим більшою буде похибка діапазону глибини.

Висновок до розділу

В рамках даного розділу здійснено обґрунтований вибір систем навігації для застосування в проекті. Вивчення та аналіз існуючих навігаційних рішень дозволили визначити ті, які найбільше відповідають вимогам і можуть забезпечити найкращу продуктивність та надійність у конструкції мобільного робота. Виходячи з цих висновків, було складено перелік ключових компонентів, що будуть використані для створення прототипу. Даний підхід не тільки підвищує точність та ефективність роботи системи, але й сприяє оптимізації витрат і зниженню часу на розробку.

4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Системи навігації

В даному проекті основною базою для розробки програмного забезпечення є ROS. Для ROS доступно багато потужних інструментів розробки та налагодження, ці інструменти також використовуються для автономних мобільних роботів[17].

Для здійснення навігації, тобто обчислення оптимального маршруту проїзду до заданої мети і подальшого ведення по ньому мобільного робота, використовується пакет `move_base`. Цей пакет пов'язує роботу двох плагінів:

локального і глобального планувальників .

Роботу глобального планувальника описує інтерфейс `nav_core :: BaseGlobalPlanner`. В якості глобального планувальника в документації ROS пропонуються такі планери, як `global_planner`, `navfn` і `carrot_planner`. У даній роботі використовується `navfn`. Цей планувальник за допомогою алгоритму Дейкстри, використовуючи глобальну карту вартості, знаходить план руху від вихідної позиції до кінцевої з мінімальними затратами[17].

Роботу локального планувальника описує інтерфейс `nav_core :: BaseLocalPlanner`. Пропонуються такі планери, як `base_local_planner`, `dwa_local_planner`, `eband_local_planner` і `teb_local_planner`. У даній роботі використовується `dwa_local_planner`. Планувальник, заснований на підході динамічного вікна, отримуючи глобальний план і карту вартості, розраховує кінематичну траєкторію і генерує значення швидкості, яке потім вирушає мобільному роботу. Алгоритм можна описати таким чином:

1. Дискретна вибірка можливих лінійних і кутових швидкостей.
2. Для кожної вибірки виконання симуляції вперед на короткий проміжок часу.
3. Розрахунок ефективності кожної траєкторії руху, виключаючи траєкторії, в яких робот стикається з перешкодою.

Побудову карт вартості можна виконувати за допомогою таких пакетів, як `hector_mapping` і `gmapping`. Перший пакет використовує для побудови карти тільки дані з камери. Другий пакет також додатково використовує дані одометра. Оскільки в даній роботі модуль одометра присутній, для підвищення точності системи використовується пакет `gmapping`.

Таким чином, пакет `gmapping` і локальний планувальник отримують дані з відповідних датчиків:

- камера публікує інформацію про навколишнє середовище в форматі `sensor_msgs / LaserScan` в топик / `scan`.
- мікроконтролер зчитує з енкодерів дані одометра і потім в форматі `nav_msgs / Odometry` публікує їх в топик / `odom`.

Після обробки цих даних, публікується команда швидкості формату `geometry_msgs / Twist` в топик / `cmd_vel`.

Взаємодія вузлів стека навігації спрощено можна представити у вигляді схеми, представленої на рис. 4.1.

Навігаційний стек передбачає, що робот налаштований певним чином для запуску [18]. На діаграмі вище показано огляд цієї конфігурації. Білі компоненти - це обов'язкові компоненти, які вже реалізовані, сірі - необов'язкові компоненти, які вже реалізовані, а сині компоненти створені для кожної даної робочої платформи.

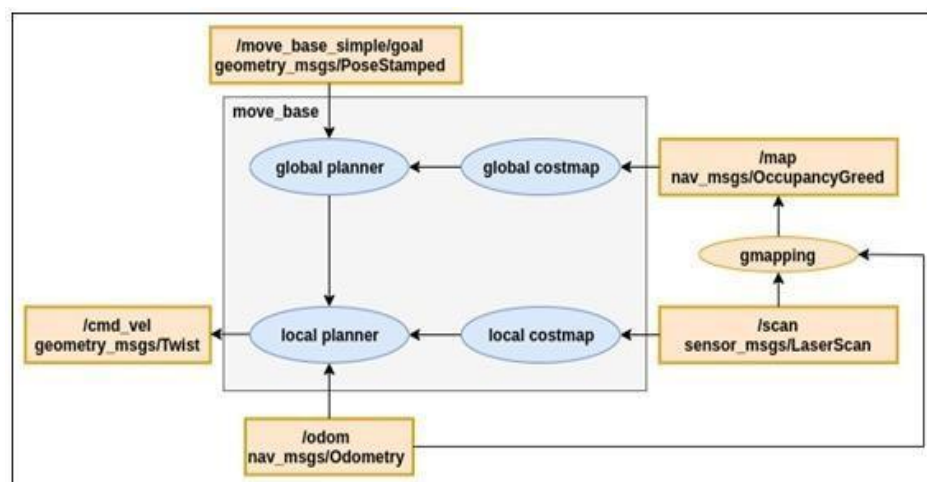


Рис. 4.1. Налаштування стека навігації

4.2 Алгоритми керування гусеничною платформою

Стратегія руху робота полягає в проходженні опорних точок в послідовності, яка пропонується обраним маршрутом. Змінні стану робота в опорних точках приймають певні значення. Координати точок відповідають напрямку на підциль на заданому відрізку траєкторії. При відсутності випадкових збурень і помилок в оцінці рельєфу на етапі огляду такий рух буде відбуватися по прямій[19]. Однак це припущення є ідеальним випадком. При управлінні роботом потрібно ще вміти вирішувати завдання корекції траєкторії руху і обходу небезпечних ділянок поблизу перешкод.

Спрощено схему управління рухом мобільного робота можна представити структурною схемою, зображеної на рис. 4.2.

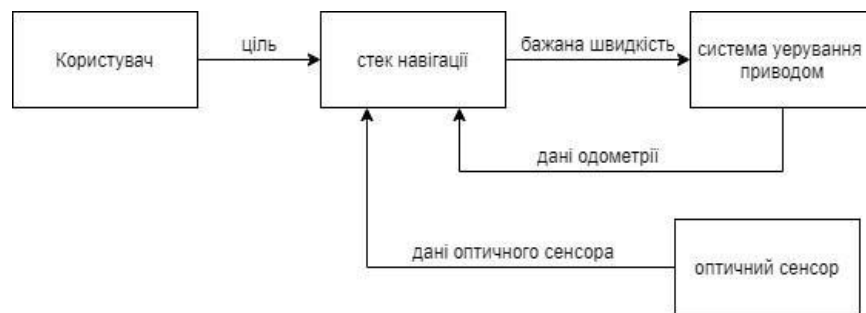


Рис. 4.2.Спрощена схема управління рухом платформи

Завдання системи управління приводом - задавати і підтримувати швидкість, отриману від високорівневого контуру [20]. Формат команд швидкості визначається ROS - `geom_msgs`. Оскільки рух відбувається в двовимірному просторі, нас цікавлять тільки такі складові даного формату: `float64 linear x`, `angular z`. Систему управління приводом представлена на рис. 4.3.

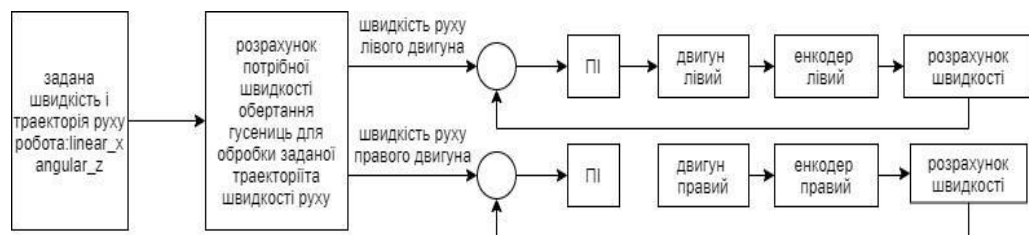


Рис. 4.3. схема управління приводом

Для того, щоб система управління приводом підтримувала бажану швидкість, необхідно вирішити рівняння руху робота, іншими словами знайти відповідність між бажаною швидкістю робота і необхідними значеннями швидкостей генерації імпульсів енкодера і значеннями скважності ШІМ кожного з двигунів.

4.3 Алгоритми керування маніпулятором

До складу ПЗ для керування маніпулятором входять пакети середовища ROS для керування роботами і їх візуалізації. Для безпосереднього управління рухами роботів використовуються наступні сервіси.

- Для завдання керуючого впливу кутового маніпулятору застосовується сервіс / angle_robot / cmd_point

Даний сервіс приймає команду у вигляді рядка, що має формат «x y z roll», де перші три координати є лінійними координатами декартова простору в міліметрах, остання координата - кут повороту інструмента маніпулятора щодо осі z маніпулятора (тобто щодо вертикалі). Всі координати розділені пробілами. Як відповідь сервіс повертає «True», якщо точка успішно досягнута і «False», якщо маніпулятор не може її досягти.

- Для управління інструментом маніпулятора використовується сервіс / angle_robot / gripper_cmd. На вхід сервіс приймає рядок, в якій вказується «0», якщо інструмент потрібно закрити і «1», якщо його потрібно відкрити. Приклад завдання команди маніпулятору за допомогою терміналу:

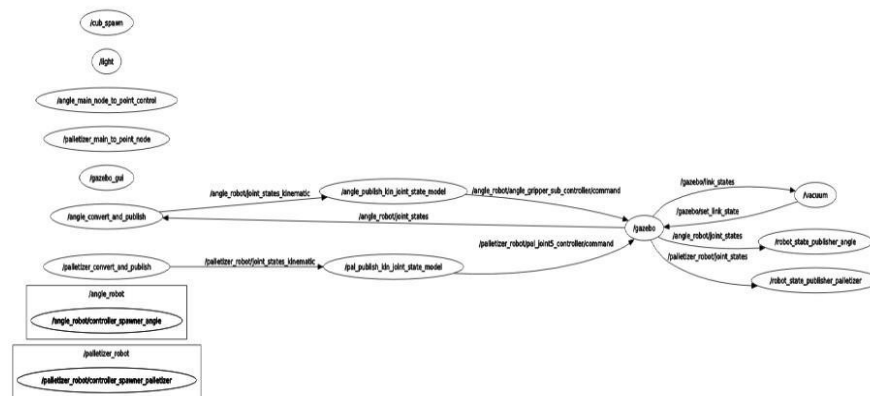
```
rosservice call / angle_robot / cmd_point "point: '350 200 300 0'"
```

Приклад завдання команди схопив маніпулятора:

```
rosservice call / angle_robot / gripper_cmd "point: '1'"
```

- Для управління палетайзером використовується сервіс / palletizer_robot / cmd_point

Після запуску всіх інструментів в середовищі `rq_t_graph` можна побачити наступну взаємозв'язок рис. 4.4.



4.4 Обробка даних на EC2 інстансі з можливістю управління через голосові команди

На стороні EC2 інстансу запущений Python скрипт, який слухає вхідні дані. Цей скрипт може використовувати більш складні алгоритми машинного

навчання або глибокого навчання для детального аналізу зварних швів, що вимагає більших обчислювальних потужностей, ніж доступно локально.

Також, система може бути розширена функціоналом прийому голосових команд. Для цього може бути інтегрований сервіс розпізнавання мови, який перетворює голосові команди на текст та передає їх на EC2 інстанс. Python скрипт на інстансі аналізує отримані команди та виконує відповідні дії, такі як зміна параметрів аналізу, запит додаткової інформації про певні зварні шви, або відправка команд на локальний пристрій для зміни налаштувань збору даних.

Нижче наведено приклад Python скрипта, який може бути використаний на EC2 інстансі для обробки даних та прийому голосових команд:

```
import cv2 as cv
import json

class TrackBarWindow:
    def __init__(self, biblio):
        self.window_detection_name = "Track Bars"
        cv.namedWindow(self.window_detection_name)
        self.max_value = 255
        self.max_value_H = 255
        self.low_H = 0
        self.low_S = 0
        self.low_V = 0
        self.high_H = self.max_value
        self.high_S = self.max_value
        self.high_V = self.max_value
        self.low_H_name = 'Low H'
        self.low_S_name = 'Low S'
```

```
self.low_V_name = 'Low V'
self.high_H_name = 'High H'
self.high_S_name = 'High S'
self.high_V_name = 'High V'

cv.createTrackbar(self.low_H_name, self.window_detection_name ,
biblio["LH"], self.max_value_H, self.on_low_H_thresh_trackbar)

cv.createTrackbar(self.high_H_name, self.window_detection_name ,
biblio["HH"], self.max_value_H, self.on_high_H_thresh_trackbar)

cv.createTrackbar(self.low_S_name, self.window_detection_name ,
biblio["LS"], self.max_value, self.on_low_S_thresh_trackbar)

cv.createTrackbar(self.high_S_name, self.window_detection_name ,
biblio["HS"], self.max_value, self.on_high_S_thresh_trackbar)

cv.createTrackbar(self.low_V_name, self.window_detection_name ,
biblio["LV"], self.max_value, self.on_low_V_thresh_trackbar)

cv.createTrackbar(self.high_V_name, self.window_detection_name ,
biblio["HV"], self.max_value, self.on_high_V_thresh_trackbar)

self.on_low_H_thresh_trackbar(biblio["LH"])
self.on_high_H_thresh_trackbar(biblio["HH"])
self.on_low_S_thresh_trackbar(biblio["LS"])
self.on_high_S_thresh_trackbar(biblio["HS"])
self.on_low_V_thresh_trackbar(biblio["LV"])
self.on_high_V_thresh_trackbar(biblio["HV"])
```

```
def on_low_H_thresh_trackbar(self, val):
    self.low_H = val
    self.low_H = min(self.high_H-1, self.low_H)
    cv.setTrackbarPos(self.low_H_name, self.window_detection_name,
self.low_H)
```

```
def on_high_H_thresh_trackbar(self, val):  
    self.high_H = val  
    self.high_H = max(self.high_H, self.low_H+1)  
    cv.setTrackbarPos(self.high_H_name,    self.window_detection_name,  
self.high_H)
```

```
def on_low_S_thresh_trackbar(self, val):  
    self.low_S = val  
    self.low_S = min(self.high_S-1, self.low_S)  
    cv.setTrackbarPos(self.low_S_name,    self.window_detection_name,  
self.low_S)
```

```
def on_high_S_thresh_trackbar(self, val):  
    self.high_S = val  
    self.high_S = max(self.high_S, self.low_S+1)  
    cv.setTrackbarPos(self.high_S_name,    self.window_detection_name,  
self.high_S)
```

```
def on_low_V_thresh_trackbar(self, val):  
    self.low_V = val  
    self.low_V = min(self.high_V-1, self.low_V)  
    cv.setTrackbarPos(self.low_V_name,    self.window_detection_name,  
self.low_V)
```

```
def on_high_V_thresh_trackbar(self, val):  
    self.high_V = val  
    self.high_V = max(self.high_V, self.low_V+1)
```

```
cv.setTrackbarPos(self.high_V_name, self.window_detection_name,  
self.high_V)
```

```
def get_frame_threshold(self, frame):  
    frame_HSV = cv.cvtColor(frame, cv.COLOR_BGR2HSV)  
    return (cv.inRange(frame_HSV, (self.low_H, self.low_S, self.low_V),  
(self.high_H, self.high_S, self.high_V)))
```

```
def set_frame(self, frame):  
    cv.imshow(self.window_detection_name,  
self.get_frame_threshold(frame))
```

```
if __name__ == '__main__':  
    variavel = open("dados.txt")  
    lines = variavel.readlines()  
    string = lines[0].strip()  
    biblio = json.loads(string)  
    window_track = TrackBarWindow(biblio)  
    cap = cv.VideoCapture(0)  
    while True:  
        ref, frame = cap.read()  
        if frame is None:  
            break  
        window_track.set_frame(frame)  
        key = cv.waitKey(30)  
        if key == ord('q') or key == 27:  
            break
```

Висновок до розділу

У цьому розділі ми зосередили увагу на архітектурних особливостях ROS і вивчили наявні на його основі навігаційні системи. Це дозволило нам вибрати найефективніші алгоритми, які сприяють підвищенню продуктивності системи, а також зниженню енергоспоживання і навантаження на процесор. Використання цих алгоритмів дало нам змогу розробити методи управління для гусеничної платформи та механічного маніпулятора, що значно покращує обхід перешкод та маніпулювання робочим інструментом. Також ми дослідили, як стереоскопічна камера може допомогти у створенні карт приміщень, що виявилось дуже ефективним для навігації у замкнених просторах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основні положення магістерської роботи опубліковані у збірнику матеріалів XV Міжнародної науково-практичної конференції «Free and open source software». Режим доступу до ресурсу: <https://foss.kn-it.info/>.
2. Augmented Reality with OpenCV. URL: <https://www.opencvhelp.org/tutorials/applications/augmented-reality/> (дата звернення: 15.12.2023).
3. Augmented Reality with OpenCV and OpenGL: the tricky projection matrix. URL: <https://fruty.medium.com/augmented-reality-with-opencv-and-opengl-the-tricky-projection-matrix-394cc6050b00> (дата звернення: 16.12.2023).
4. Lane Detection and Traffic Sign Recognition using OpenCV and Deep Learning for Autonomous Vehicles. URL: <https://www.slideshare.net/irjetjournal/lane-detection-and-traffic-sign-recognition-using-opencv-and-deep-learning-for-autonomous-vehicles> (дата звернення: 17.12.2023).
5. Advanced Lane Detection for Autonomous Vehicles using Computer Vision techniques. URL: <https://towardsdatascience.com/advanced-lane-detection->

for-autonomous-vehicles-using-computer-vision-techniques-f229e4245e41 (дата звернення: 17.12.2023).

6. "WiringPi: Access GPIO pins on Raspberry Pi via C". URL: <https://www.electronicwings.com/raspberry-pi/wiringpi-access-gpio-pins-on-raspberry-pi-via-c> (дата звернення: 19.12.2023).

7. "WiringPi: C GPIO library". URL: <https://learn.adafruit.com/wiringpi/c-interface> (дата звернення: 19.12.2023).

8. Огляд бібліотеки WiringPi на сайті Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio-plus-and-raspi2/> (дата звернення: 22.12.2023).

9. Навчальний посібник по використанню WiringPi на сайті Adafruit. URL: <https://learn.adafruit.com/adafruits-raspberry-pi-lesson-8-using-a-plate-for-input> (дата звернення: 22.12.2023).

10. Стаття про використання WiringPi на сайті Hackster. URL: <https://www.hackster.io/mjrobot/raspberry-pi-3-gpio-programming-using-wiringpi-b01a8b> (дата звернення: 24.12.2023).

11. Приклади кода для роботи с GPIO на C/C++: URL: <https://github.com/cryptotronix/cryptotronix-cpp-gpio> (дата звернення: 24.12.2023).

12. GPIO (general purpose input/output) verification system and method : patent CN105844056A. China: G06F30/398. № CN105844056A ; applied on 15.04.2016 ; published on 10.08.2016.

12. Variable frame length virtual GPIO with a modified UART interface : patent US9880965B2. United States : G06F13/4221. № US9880965B2 ; applied on 10.09.2015 ; published on 17.03.2016.

13. Multi-port multi-sideband-GPIO consolidation technique over a multi-drop serial bus : patent US10467154B2. United States : G06F13/126. № US10467154B2 ; applied on 08.01.2018 ; published on 16.08.2018.

14. GPIO to GPIO communication over multi-node link networks : patent CN107025200B. China : G06F13/364. № CN107025200B ; applied on 26.01.2017 ; published on 08.08.2017.

15. Virtual GPIO : patent US9582456B2. United States : G06F13/4282. № US9582456B2 ; applied on 13.08.2015 ; published on 10.12.2015.

16. ДСТУ ISO/IEC 12207:2016. Інженерія систем і програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення (ISO/IEC 12207:2008, IDT).

17. Городецька О. С., Гикавий В. А., Онищук О. В. Комп'ютерні мережі : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2017. 129 с.

18. Задерейко О. В., Логінова Н. І., Толокнов А. А. Комп'ютерні мережі : навч. посібник. Одеса : Фенікс, 2023. 249 с.

19. Лемешко А. В., Кирпач Л. А., Сорокін Д. В., Бученко І. А., Шрам М. М. Проектування безпроводових комп'ютерних мереж. Київ : ДУТ, 2021. 147 с.

20. Ткаченко О. М., Торошанко Я. І., Лемешко А. В. та ін. Комп'ютерні мережі: контроль та прогнозування перевантажень : посібник. Київ : ДУТ, 2021. 77 с.

ДОДАТОК А



User name:
Сергій Пузирьов

Check ID:
1016111513

Check date:
17.02.2024 22:06:15 EET

Check type:
Doc vs Library

Report date:
17.02.2024 22:07:01 EET

User ID:
100000135

File name: **605_Луценко_МР_2024**

Page count: **11** Word count: **3811** Character count: **29633** File size: **52.29 KB** File ID: **1015837592**

1.39% Matches

Highest match: **0.63%** with Library source (File ID: **1008412899**)

No Internet search was conducted

1.39% Library sources

8

Page 13

0% Quotes

Exclusion of quotes is off

Exclusion of references is off

0% Exclusions

No exclusions

Modifind

Text modifications detected. Find more details in the online report.

Replaced characters

2