

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»

(повне найменування вищого навчального закладу)

ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технічних і програмних засобів автоматизації

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

А.І.Жученко

« » 20 р

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки **151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

на тему: Автоматизація процесу навігації мобільних роботизованих комплексів

Виконав: студент 4 курсу, групи ЛА-72

(шифр групи)

Юнак Данило Андрійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Керівник к. т. н ., доцент Сазонов А.Ю.

(посада, науковий ступінь, вчене звання , прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант Охорона праці асистент Ковтун А.І.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що в цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Студент

(підпис)

Київ - 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва)

Кафедра технічних і програмних засобів автоматизації

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.І.Жученко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Юнаку Данилу Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація процесу навігації мобільних роботизованих комплексів

керівник проекту _____ к. т. н., доцент Сазонов А. Ю.

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

затверджені наказом по університету від «13» травня 2020 р. № 1145

2. Термін подання студентом проекту 18.06.2020

3. Вихідні дані до проекту автоматизована система, навігацію мобільних роботизованих комплексів.

4. Зміст пояснювальної записки аналіз існуючих методів навігації роботів; розробка схеми системи; алгоритмічна складова системи; програмна складова системи; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Блок-схема роботи алгоритму

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	асистент Ковтун А.І.		

7. Дата видачі завдання 16.04.2021

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд сучасного стану автоматизованої навігації мобільних роботизованих комплексів.	10.04.2021	
2	Аналіз існуючих методів виявлення перешкод.	15.04.2021	
3	Алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи навігації мобільних роботизованих комплексів.	25.04.2021	
4	Програмне забезпечення автоматизованої системи навігації мобільних роботизованих комплексів.	07.05.2021	
5	Апаратне забезпечення автоматизованої системи навігації мобільних роботизованих комплексів.	23.05.2021	
6	Охорона праці	08.06.2021	

Студент

(підпис)

Юнак Д.А.

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Сазонов А. Ю.

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

РЕФЕРАТ

Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра містить аналіз різних методів детектування перешкод, локалізації об'єктів в просторі, виявлення оптимальних шляхів вирішення проблеми автоматизації мобільних роботизованих комплексів. Пояснювальна записка містить 22 рисунка, 2 таблиці, 1 блок схему та 22 літературних джерел.

Предметом дослідження дипломного проекту є автономний рух робота та детектування перешкод.

У дипломному проекті досліджено найпоширеніші методи детектування перешкод та локалізації об'єктів. За результатами досліджень був обраний оптимальний варіант вирішення поставленої задачі. Відповідно до складеного алгоритму реалізовано програмне забезпечення.

Ключові слова: Комп'ютерний зір, промисловий робот, машинне навчання, мобільна платформа.

ABSTRACT

The diploma project for a bachelor's degree contains an analysis of various methods of detecting obstacles, localization of objects in space, identifying optimal ways to solve the problem of automation of mobile robotic systems. The explanatory note contains 22 figures, 2 tables, 1 block diagram and 22 references.

The subject of research of the diploma project is the autonomous movement of the robot and the detection of obstacles.

The diploma project explores the most common methods of detecting obstacles and locating objects. According to the results of research, the optimal solution to the problem was chosen. According to the compiled algorithm, the software is implemented.

Keywords: Computer vision, industrial robot, machine learning, mobile platform.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. Огляд сучасного стану автоматизованої навігації мобільних роботизованих комплексів.....	10
1.1. Зміст поняття «мобільний роботизований комплекс».....	11
1.2. Класифікація робіт за призначенням та сферою застосування	12
1.3. Виявлення перешкод як основа автоматизованої навігації.....	14
2. Існуючі методи виявлення перешкод.....	16
2.1. Радіохвильовий.....	16
2.2. Сенсорні.....	16
2.2.1. Ультразвукові.....	16
2.2.2. Лазери	17
2.2.3. Інфрачервоні.....	18
2.3. Візуальні.....	19
2.3.1. Камери глибини.....	19
2.3.2. Стереозір.....	19
3. Алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи навігації мобільних роботизованих комплексів.....	21
3.1 Структурна схема автоматизації.....	21
3.2 Алгоритмічна реалізація методу детектування перешкод.....	21
4. Програмне забезпечення автоматизованої системи навігації мобільних роботизованих комплексів.....	25
5. Апаратне забезпечення автоматизованої системи навігації мобільних роботизованих комплексів	34
6. Охорона праці.....	37

					<i>ДПЛА72.22.00.000ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Юнак Д.А.			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архівів</i>
<i>Перев.</i>		Сазонов А.Ю.					50
<i>Н.Контр.</i>					<i>НТУУ "КПІ", ІХФ</i>		
<i>Затв.</i>		Жученко А.І.					

*Автоматизація процесу навігації
роботизованих комплексів*

ВСТУП

Головною рисою сучасного науково-технічного прогресу є активне впровадження роботів в сферу виробництва, експериментів та наукових досліджень. Роботи являють собою універсальні автономні установи, які здатні виконувати певні рухові та інтелектуальні задачі при повній або частковій модерації людиною. Практичною метою створення роботів є програмування їх тими видами діяльності, які для людини трудомісткі, важкі, монотонні, шкідливі або небезпечні для здоров'я і життя. Це, в першу чергу допоміжні виробничі операції (завантаження і вивантаження установок, верстатів, автоматів); основні виробничі операції (зварювання, фарбування, збірка і т.п.); роботи в так званих екстремальних умовах (під водою, в космосі, в радіоактивних і отруйних середовищах).

Роботи застосовуються для комплексної автоматизації виробництва, зростання продуктивності праці, поліпшення якості продукції. Від традиційних засобів автоматизації промислові роботи відрізняються універсальністю, можливістю їх швидкого перепрограмування та налагодження, що дозволяє створювати на базі універсального обладнання роботизовані технологічні комплекси, гнучкі до автоматизації виробництва. В результаті розвитку робототехніки людство отримало можливість вирішувати принципово нові наукові і виробничі завдання.

Мета роботи забезпечення автономності мобільного роботизованого комплексу шляхом розробки методу детектування перешкод на основі візуального аналізу навколишнього середовища.

Для досягнення мети дипломного проекту необхідним є вирішення наступних задач:

1. Провести аналіз проблеми автоматизації процесу навігації мобільних роботизованих комплексів та методів її вирішення;

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. На основі проведеного аналізу розробити структурну схему системи автоматизації процесу навігації мобільних роботизованих комплексів та її апаратні складові;

3. На основі розробленої структурної схеми системи розробити алгоритмічне забезпечення системи автоматизації процесу навігації мобільних роботизованих комплексів;

4. На основі розробленого алгоритмічного забезпечення розробити програмне забезпечення для системи автоматизації процесу навігації мобільних роботизованих комплексів та провести перевірку її його працездатності.

					<i>ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

Почнемо з того, що роздивимось розділ науки, який займається роботами. Робототехніка - прикладна наука, що займається розробкою автоматичних технічних систем і є найважливішою технічною основою розвитку виробництва. Робототехніка спирається на такі дисципліни, як електроніка, механіка, кібернетика, телемеханіка, мехатроніка, інформатика, а також радіотехніка і електротехніка. Виділяють будівельну, промислову, побутову, медичну, авіаційну та екстремальну робототехніку.

Робот - це автоматичний пристрій, призначений для здійснення різного роду механічних або інтелектуальних операцій, яке діє за задалегідь закладеною програмою і є кінцевим продуктом діяльності робототехніки.

Розрізняють декілька видів роботів :

- 1) Андроїд - робот-гуманоїд або синтетичний організм, призначений для того, щоб виглядати і діяти на зразок людини.
- 2) Біоробот - людина або тварина, у якого замість мозку вставлений імплантат (процесор), все інше тіло - органічне.
- 3) Промисловий робот (ПР) - призначений для виконання рухових і керуючих функцій у виробничому процесі, маніпуляційний робот застосовується для переміщення предметів виробництва та виконання різних технологічних операцій. [15] Залежно від функціонального призначення, виділяють наступні типи промислових роботів : транспортний, медичний, бойовий, підводний, наноробот та ін. [13]

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1 Зміст поняття «мобільний роботизований комплекс»

Виходячи з теми дипломної роботи, ми будемо роздивлятися сфери виробництва де активно впроваджуються та застосовуються мобільно-рухомі роботизовані комплекси. Для подальшої зручності введемо поняття мобільний роботизований комплекс (МРК) - це комплекс, який може самостійно пересуватися і переміщатися в просторі. [9] При прогресі МРК спостерігається такі ж тенденції, як при розвитку обчислювальних систем: на зміну великим електронно-обчислювальним машинам з їх робочими станціями, приходять відносно компактні персональні комп'ютери, які в майбутньому, можливо, поступлять лідерство багатфункціональним портативним пристроям. [7] Раніше мобільні роботи керувалися стаціонарними обчислювальними системами, громіздкими і дорогими. Роботи підключалися до них за допомогою шлейфа або бездротових пристроїв. [8]

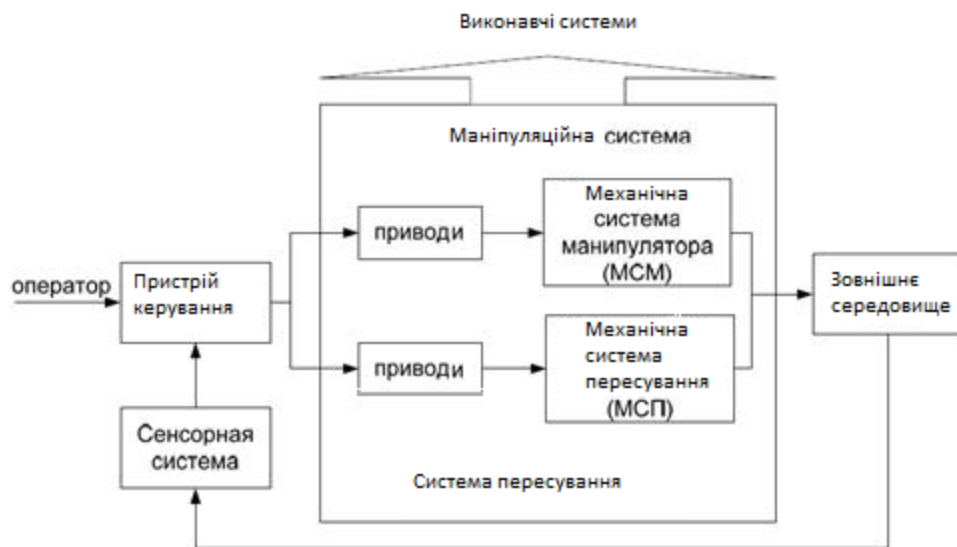


Рисунок 1.1.1 – Загальна функціональна схема роботи

Проте сьогодні ми можемо створювати невеликих мобільних роботів, оснащених численними приводами і датчиками, які управляються за допомогою компактних недорогих комп'ютерів, встановлених безпосередньо на борту роботів.

На відміну від стаціонарних, більшість мобільних роботів відрізняються габаритами, маневреністю, швидкістю пересування. Щоб мобільний робот

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

працював продуктивно і коректно, йому необхідна якісна система управління. Далі піде мова про види роботів, вимоги до їх систем управління та розробці однієї з них.

1.2. Класифікація роботів за призначенням, сферою застосування та будовою

Найпоширенішими є наземні мобільні роботи, які зазвичай поділяються на три великі класи: колісні наземні мобільні роботи, крокуючі наземні мобільні роботи і гібридні наземні мобільні роботи. Крім цих трьох найбільш численних класів мобільних роботів існує велика кількість спеціалізованих мобільних роботів, орієнтованих на обмежене застосування. До їх числа відносяться рейкові роботи, адсорбційні роботи, які здатні пересуватися по крутих ділянках, чіпляючись за поверхню з допомогою вакуумних присосок, роботи на магнітній стрічках, повітряних подушках, повзаючі та літаючі дрони. Останнім часом жваво уже активна роботизація кожної сфери праці та людської діяльності. Спектр використання роботів значно ширший, ніж можна було уявити декілька десятиріч тому:

- Боти заміняють людей на виробництві. Загальна автоматизація процесів знижує роль людини у виробництві до прийняття важливих рішень та усунення виникаючих недоліків обладнання;

- Роботи використовуються для відкриття нових космічних кордонів та морського дна;

- Роботи допомагають проводити важкі хірургічні операції на серці і мозку. Це підвищує точність операцій. Розроблено механічні протези кінцівок і імпланти окремих внутрішніх органів;

- Військова сфера активно залучає роботизовані екзоскелети – управління рухом, контроль периметру, автонаведення і ураження цілі

						ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
							12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

спричиняє машина, а людина залишається відповідальною за тактичне мислення і технічне обслуговування.

Роботизація торкнулась і такої незвичайної сфери як забезпечення громадської безпеки: понад 20 років поліція та спецслужби керують мобільними роботами і робототехнічними комплексами. [10]

До сьогоднішнього дня не має чіткого уявлення про те, яку машину можна вважати роботом. У словнику тлумачення слова «робот» є «автоматична система (машина), оснащена датчиками, що сприймають інформацію про навколишньому середовищу, і виконавчими механізмами, здатна за допомогою блоку управління цілеспрямовано вести себе в мінливих обстановці». Основною характеристикою робота вважається здатність частково або повністю виконувати рухові або інтелектуальні функції людини. Від звичайної автоматичної системи робот відрізняється мультизадачністю та багатоцільовим призначенням, більшою універсальністю, можливістю перепрограмування на виконання різноманітних функцій. На практиці ж поняття "Робот" поширюють і на будь-які дистанційно керовані транспортні засоби, забезпечені системою сприйняття (як мінімум, системою машинного зору).

Робот допомагає замінити людину в випадках, коли виконання задачі знаходиться поза межами людських можливостей або пов'язане з надмірної загрозою здоров'ю та життю людини, а також при нестачі професійно підготовленого персоналу для виконання трудомістких і циклічно повторюваних завдань. Робота можна класифікувати по:

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- 1) сфері застосування - виробничі (промислові), військові, дослідні, медичні;
- 2) середовища застосування - наземні, підземні, надводні, підводні, повітряні, космічні;
- 3) ступеня рухливості - стаціонарні, мобільні;
- 4) типу системи управління - програмні, адаптивні, інтелектуальні;
- 5) функціональним призначенням - маніпуляційні, транспортні, інформаційні, комбіновані;
- 6) рівню універсальності - спеціальні, спеціалізовані, універсальні;
- 7) конструктивним ознакам:
 - типу виконавчих приводів - електричні, гідравлічні, пневматичні;
 - типу рушія - гусеничні, колісні, колісно-гусеничні, напівгусеничні, крокуючі, колісно-крокуючі, роторні, з гвинтовим, водометним і реактивним рушіями;
 - конструктивними особливостями технологічного обладнання – по числу маніпуляторів, за вантажопідйомністю маніпуляторів, за системою координат робочої зони (лінійна, кутова);
 - типу джерел первинних сигналів - електричні, біоелектричні, акустичні;
 - способу управління - автоматичні, дистанційно керовані, ручні.

1.3. Виявлення перешкод як основа автоматизованої навігації

За для економії робочої сили, коштів та часу, значною перевагою для робіт є додавання локалізації його у просторі. Це дуже важлива функціональна складова, яка робить використання робіт комфортнішим і простішим, необхідна лише часткова модерація процесу. Але на сьогодні існує

					<i>ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

достатньо багато методів виявлення перешкод та локалізації МРК у просторі, у наступному розділі, подивимось на кожен детальніше.

Висновок до розділу: у першому розділі ми ознайомились з загальним поняттям «робот», його класифікаціями та конструктивними складовими.

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

2. ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД

Існує переважно 3 найпоширеніші методи локалізації – радіохвильовий, сенсорний та візуальний. [14] Роздивимось кожен більш детально.

2.1. РАДІОХВИЛЬОВІ

Радіохвильовий метод здобув найбільшого застосування в системі GPS(Global Positioning System). Реалізується даний метод за допомогою супутників, які розташовані на орбіті Землі та модулю який безпосередньо входить у апаратну частину роботи. Кожен супутник посилає сигнал на Землю зі швидкістю світла, і коли модуль сприймає сигнал від декількох супутників (переважно не менше 3-х), він може з точністю до 1 метру виявити своє місцезоположення, так як локалізація супутників налаштована достатньо точно, і вирахувати положення на Землі, маючи час шляху хвилі до роботи та координати супутників не є проблематичним. Основними плюсами цього методу є централізація системи та її глобальність, яка поширюється всією планетою а в потенціалі і за її межами, та швидкість отримання сигналу. Із мінусів можна виділити погане сприйняття сигналу у замкнутому просторі або місцевості, яка не покривається супутниками (як приклад, полярні полюси). Також достатньо велику похибку (близько 0,5 м) для використання у обмеженому просторі, та неможливість локалізації перешкод, без подібних елементів навігації.

2.2. СЕНСОРНІ

Наступним методом виявлення перешкод роздивимось сенсорний. До сенсорних відносяться лазерні, ультразвукові та інфрачервоні.

2.2.1 УЛЬТРАЗВУКОВІ

Ультразвукове дослідження - це метод візуалізації на основі використання високочастотних звукових хвиль для отримання мапи простору. МРК випускає звукові хвилі з певною частотою та розраховуючи швидкість її руху та час, за який хвиля повертається до датчику сприйняття, робот має змогу розпізнати відстань до перешкоди та її локалізацію відносно себе. Плюсами даного методу є висока точність позиціонування рота у просторі, але

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

з мінусів велика можливість похибки при наявності магнітного поля, яке деформує сигнал, високий час відгуку та висока вартість та крихкість обладнання. Застосування даний метод знайшов на флоті, а кажани і взагалі використовують цей метод для орієнтації у просторі.[4]

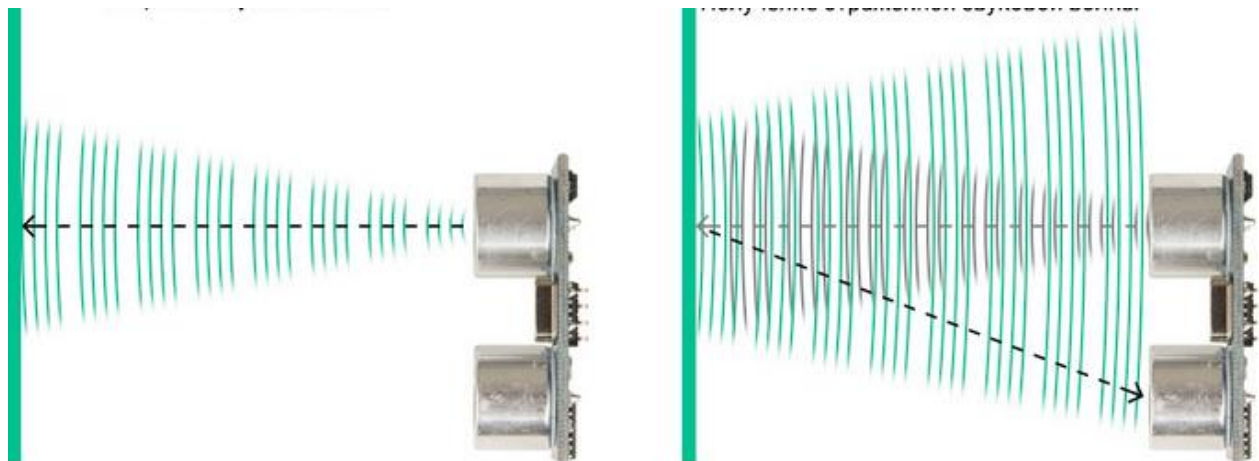


Рисунок 2.2.1 – Принцип роботи ультразвукового локатора

2.2.2 ЛАЗЕРНІ

Лазерний метод має схожий функціонал. Додатковою перевагою є те, що у лазерів більша довжина, при якій перешкоду можна виявити, але при цьому це потребує більш точного наведення, тоді як ультрарзвукові хвилі більш розосереджені. З недоліків можна виявити те, що лазером достатньо важко сформувати трьохвимірне зображення оточуючої середи, та маленькі перешкоди можуть впливати на точність. Лазер використовується у військовій справі, для наведення зрядів, а також у космічній

промисловості, де завдяки лазеру можна отримати достатньо точну відстань до планет[5].



Рисунок 2.2.2 – приклад лазерного вимірювача довжини

2.2.3 Інфрачервоні

Щодо інфрачервоного сигналу, то він взагалі не чутливий до магнітного та електричного поля, що дозволяє використовувати його у ПР. також перевагою є дальність дії, якість сигналу не втрачається навіть на відстані декількох кілометрів, що менше за лазерні установки, але більше за ультразвукові. З недоліків можна відмітити високу вартість апаратного забезпечення та невелику швидкість відгуку.

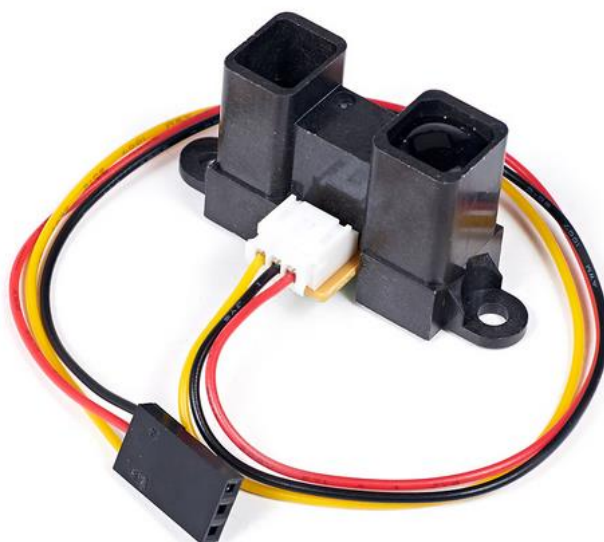


Рисунок 2.2.3 – приклад інфрачервоної камери

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

2.3.ВІЗУАЛЬНІ

Останнім роздивимось візуальний метод виявлення перешкод. Це найбільш простий та доступний спосіб отримання інформації. Він використовується майже всюди, від космосу до сортування. Але з мінусів можна виділити високу швидкість оновлення кадрів, що потребує швидкої обробки інформації, що навантажує апаратну частину. Для швидшої роботи треба витратити більше коштів на більш швидкі комп'ютери та якісні камери. Але універсальність та простота методу компенсують його використання.

Роздивимось найпоширеніші методи візуального пошуку перешкод.

2.3.1Стереозір

- Стереозір – метод, який надає зображенню ілюзію обсягу, тобто відчуття рельєфності і протяжності в глибину за рахунок особливостей бінокулярного зору. Зображення може бути стереоскопічним при розгляданні стереопар або голограм. Зазвичай використовується стереоскоп - оптичний прилад з двома окулярами; використовується для перегляду стереослайдов та подальшим відправленням на опрацювання.



Рисунок 2.3.1 – приклад стереокамери

2.3.1 Камера глибини

- Камера глибини – камери, які знімають відео, в кожному пікселі якого зберігається не тільки колір, а відстань до об'єкта в цій точці.[17] Як приклад

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

можна привести Microsoft Kinect, але для більшої якості фото камери глибини почали додавати навіть на телефони. [12]



Рисунок 2.3.2 – Microsoft Kinect

Висновок до розділу: у другому розділі ми ознайомились з великою кількістю методів детектування перешкод та обрали оптимальний для реалізації нашої ідеї.

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

3.1. Структурна схема автоматизації

На рисунку нижче представлена структурна схема з урахуванням алгоритмічного, програмного та апаратного забезпечення(Рис 3.1)

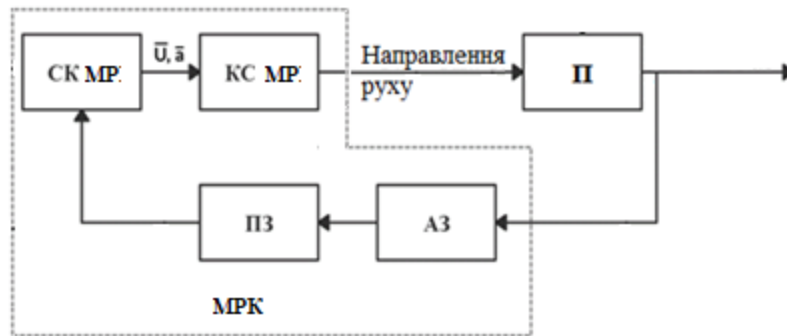


Рис. 3.1 Структурна схема системи автоматизації мобільних роботизованих комплексів.

Введемо умовні позначення:

МРК – мобільний роботизований комплекс

П – перешкода,

\bar{U} – швидкість руху мобільної платформи,

\bar{a} – прискорення мобільної платформи,

АЗ – апаратне забезпечення,

ПЗ – програмне забезпечення,

СК МР – система керування мобільним роботом,

КС МР – кінематична система мобільним робота,

3.2 Алгоритмічна реалізація методу детектування перешкод

Алгоритмічна реалізація методу детектування перешкод при автономній навігації починається із завантаження початкових даних (блок 2), що включає в себе габаритні розміри мобільної платформи. Після цього (блок 3) здійснюється ініціалізація монокулярної камери та отримання відеопотоку з її матриці¹(блок 4).



Рис.3.2 Зображення отримане з камери

Для початку ми проводимо обробку зображення використавши функції, які дозволяють там виявити границі певних об'єктів на зображені, які у подальшому ми будемо використовувати для детектування перешкод, а саме, Canny edge detector (блок б) який будується на основі Sobel operator (блок 5).[18]



Рис. 3.2 Canny Edge Detector

1. Дане зображення використане для прикладу.

Переведення зображення у режим пошуку границь робить реалізацію виявлення Houghlines (блок 7) більш якісною. Для отримання ліній, які в подальшому будуть визначати межі нашої смуги руху, вводимо кутові обмеження, які відкидають всі лінії, які не відносяться до кутів площини пересування (блок 8).



Рис. 3.3 Якісні HoughLines

Далі проводиться вибір певної області безпосередньо перед мобільною платформою, де проводиться кластеризація об'єктів для ідентифікування їх як перешкод (блок 10). За замовченням, робот рухається вперед(блок 12). Якщо перешкода наявна(блок 11), комп'ютер виміряє відстань між межею руху та перешкодою справа(блок 12). Якщо габарити дозволяють провести вільний рух, мобільна платформа рухається прямо(блок 13). Якщо місця для вільного руху недостатньо, комп'ютер проводить вимірювання між перешкодою та межею руху ліворуч. Рух також відбувається при достатній кількості місця(блок 14). Якщо місця не вистачає з обох боків, робот примусово зупиняється(блок 15).



Рис. 3.4 Пошук перешкод

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таким чином, робот або рухається до контрольної точки (блок 16), або зупиняється перед перешкодою, яку неможливо об'їхати без зміни габаритів.

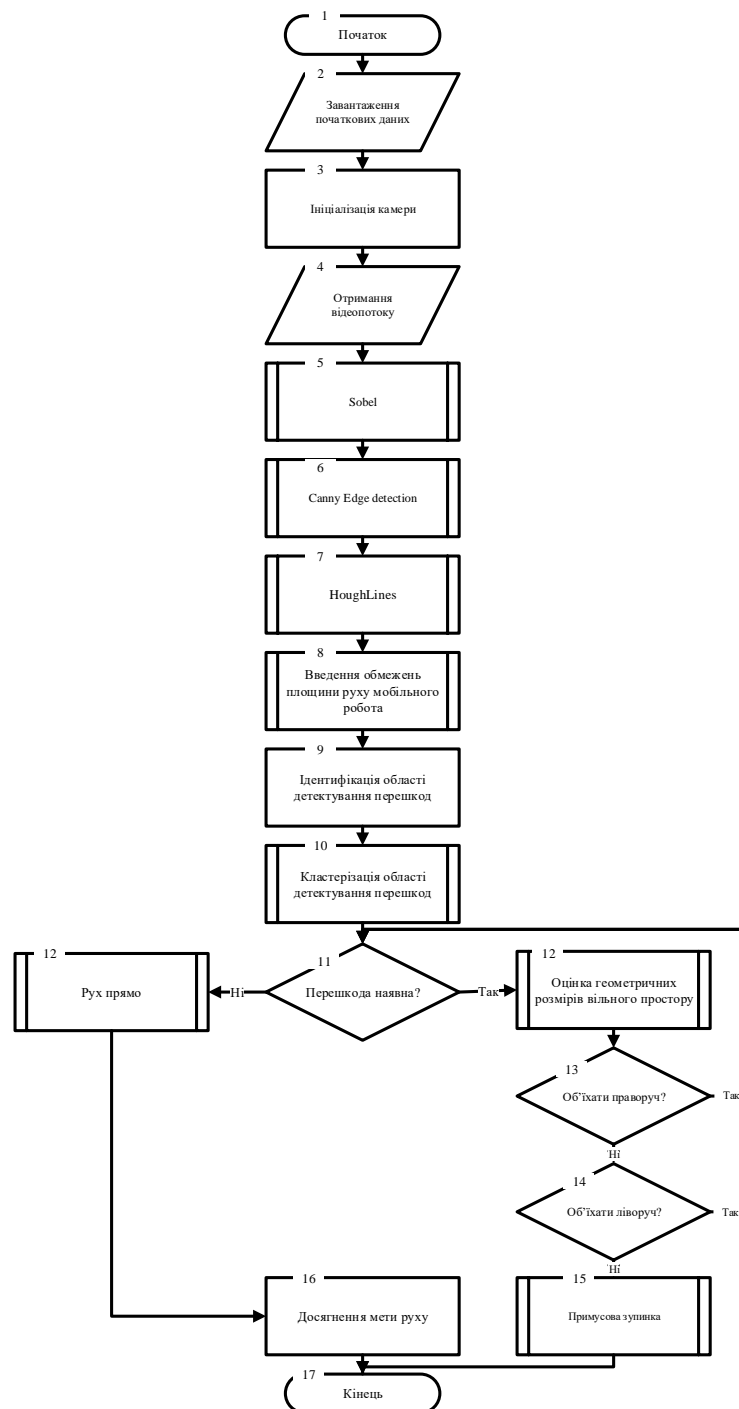


Рисунок 3.5 Алгоритмічна блок-схема системи навігації мобільних роботизованих комплексів

Висновок до розділу: у третьому розділі ми роздивились алгоритм роботи програми та поведінку робота при тих чи інших умовах, далі роздивимось методи реалізації завдяки програмній частині.

4.ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

Для написання програмної складової дипломного проекту була обрана інтерпретуєма мова програмування Python[2]. Ця мова набула свого поширеного використання завдяки ряду переваг, адже в першу чергу вона дуже популярна в сегменті машинного навчання та роботі за даними[1]. Також ця мова достатньо поширена у WEB розробці. Основними перевагами мови Python є :

- Інтерпретуємість. Python може бути інтерпретованим до більшості платформ;
- Гнучкість. Можливість використання даної мови в різних сферах програмування;
- Розширюваність. Постійне поповнення бібліотек Python на випадки життя;
- Простота синтаксису. У код даної мови не важко поринути та він наповнений мінімумом зайвих знаків.

Але не попри ряд переваг, ця мова має і свої недоліки:

- Швидкість. Під час набуття популярності, ця мова була достатньо повільною, але зараз це компенсується достатньо швидкими машинами для обробки;
- Динамічна типізація. Те що змінна при її об'явленні не має прив'язаного типу збільшує шанс некоректної роботи коду та виникненню певних помилок.[3]

Але для реалізації нашої задачі ця мова достатньо зручна, так як в неї є відкрита бібліотека OpenCV, яка дуже зручна для роботи з машиним зором. Перейдемо безпосередньо до опису програмної частини. [16]

По-перше ми імпортуємо потрібні нам бібліотеки, а саме cv2(1) для роботи з зображення та машинним зором, та NumPy(2), що дозволяє

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

працювати з багатовимірними масивами та високорівневими функціями. Також ми завантажуюмо у проект зображення та відео з камери (Рис 4.1)

```
1 import cv2
2 import numpy as np
3 img = cv2.imread("road.jpg")
4 video = cv2.VideoCapture('test.mp4')
```

Рисунок 4.1

Далі йде блок, який перезаписує відео, яке ми завантажили у змінну Frame, з якою ми будемо у подальшому працювати(Рис 4.2)

```
13 while video.isOpened():
14     ret, frame = video.read()
15     copy_img = np.copy(frame)
```

Рисунок 4.2

Наступний блок (Рис 4.3) використовується для отримання координат майбутніх Hough lines, які будуть обмежувати поле пересування нашого робота.

```
17 def make_coordinates(image, line_parameters):
18     # Y = MX + B
19     slope, intercept = line_parameters
20     y1 = image.shape[0]
21     y2 = int(y1 * (2 / 5))
22     x1 = int((y1 - intercept) / slope)
23     x2 = int((y2 - intercept) / slope)
24     return np.array([x1, y1, x2, y2])
```

Рисунок 4.3

У функції average slope intercept ми знаходимо найбільш якісні лінії, шукаючи середню між іншими, яка буде характеризувати край дороги. (Рис

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4). Також, у консоль виводяться координати намальованих ліній, що допомагає оптимізувати код(43,50).

```
27 def average_slope_intercept(image, lines):
28     left_fit = []
29     right_fit = []
30     returnArray = []
31     while lines is not None:
32         for line in lines:
33             x1, y1, x2, y2 = line.reshape(4)
34             parameters = np.polyfit((x1, x2), (y1, y2), 1)
35             slope = parameters[0]
36             intercept = parameters[1]
37             if slope < 0:
38                 left_fit.append((slope, intercept))
39             else:
40                 right_fit.append((slope, intercept))
41
42     left_fit_average = np.average(left_fit, axis=0)
43     print('LEFT: ', left_fit_average)
44     left_line = make_coordinates(image, left_fit_average)
45     returnArray.append(left_line)
46     right_fit_average = np.average(right_fit, axis=0)
47     print(right_fit)
48     if right_fit_average[0] - left_fit_average[0] > 0:
49         right_line = make_coordinates(image, right_fit_average)
50         print('RIGHT: ', right_fit_average)
51         returnArray.append(right_line)
52     return np.array(returnArray)
```

Рисунок 4.4

Наступним кроком є впровадження Canny(58)(Рис 3.2), що полегшує програмі пошук ліній Хафа та зменшує їх кількість. Також у цьому блоці використовується GaussianBlur(57), що знижує якість зображення, задля того,

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

щоб робот не сприймав, наприклад, сонячні блиск або деталі підлоги.

(Рис 4.5)

```
55 def canny(img):
56     img = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2BGRA)
57     blur = cv2.GaussianBlur(img, (5, 5), 5)
58     return cv2.Canny(blur, 50, 100)
```

Рисунок 4.5

Наступна функція відповідає за безпосередньо малювання ліній на нашому відео файлі (Рис 4.6)

```
61 def display_lines(image, lines):
62     line_image = np.zeros_like(image)
63     if lines is not None:
64         i=1
65         for x1, y1, x2, y2 in lines:
66             if i== 1:
67                 cv2.line(line_image, (x1, y1), (x2, y2), (0, 0, 255), 8)
68                 pl=[x1,y1,x2,y2]
69                 i+=1
70             else:
71                 cv2.line(line_image,(x1, y1), (x2, y2),(0, 0, 255), 8)
72                 pts=np.array([[pl[0],pl[1]],[pl[2],pl[3]],[x2,y2],[x1,y1]],dtype=np.int32)
73                 cv2.fillPoly(line_image,pts,(202,255,191), lineType=8,shift=0,offset=None)
74     return line_image
```

Рисунок 4.6

Функції `mask` та `obj` використовуються для того, щоб обмежити навантаження на програму, виділивши тільки ту область на якій зосереджене поле руху. У масив вводяться координати трапецевидної форми, які обмежують смугу руху, та допомагають локалізувати лінії Хафа(79). Функція

obj направлена на те, щоб обмежити зону перед роботом, в якій найважливіше виділяти перешкоди(90) (Рис 4.7)

```
77 def mask(img):
78     high = img.shape[0]
79     poly = np.array([(-220, 330), (200, 100), (300, 100), (830, 330)]) # 480x270 test
80     #poly = np.array([(-220, 330), (150, 50), (300, 50), (830, 330)]) # 480x270 off
81     #poly = np.array([(-80, 330), (150, 50), (300, 50), (500, 330)]) # 480x270 bbb
82
83     mask = np.zeros_like(img)
84     cv2.fillPoly(mask, np.array([poly], dtype=np.int64), 1024)
85     masked_img = cv2.bitwise_and(img, mask)
86     return masked_img
87
88 def obj(img):
89     high = img.shape[0]
90     poly1 = np.array([(150, 300), (200, 100), (280, 100), (300, 300)]) # 480x270 obj
91     obj = np.zeros_like(img)
92     cv2.fillPoly(obj, np.array([poly1], dtype=np.int64), 1024)
93     masked_img = cv2.bitwise_and(img, obj)
94     return masked_img
```

Рисунок 4.7



Рисунок 4.8. виділення перешкоди на шляху робота

Конструкція try-ехсепт(Рис 4.9) дозволяє нам ігнорувати помилки, які раптово виникають при обробці зображення, та у майбутньому їх виправити. Саме в цьому фрагменті коду ми застосовуємо функцію Canny на наше відео (97), після чого накладаємо маску (98), накладаємо маску для пошуку об'єкту(99), та конвертуємо кольори для більш якісного пошуку переходу градієнту. Границі об'єкту, який заважає пересуванню ми виділяємо функцією DrawContours(105). Потім малюємо лінії Хафа(106) та беремо

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

середні. У змінній `combo` ми накладаємо всі фільтри та виводимо зображення функцією `cv2.imshow(114)`

```
96     try:
97         frame1 = canny(frame)
98         frame2 = mask(frame1)
99         frame4=obj(frame1)
100        cvt = cv2.cvtColor(frame4, cv2.COLOR_BGR2RGB)
101        frame3 = cv2.cvtColor(cvt, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
102
103        _, binary = cv2.threshold(frame3, 200, 255, cv2.THRESH_BINARY)
104
105        contours, hierarchy = cv2.findContours(binary, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
106        img = cv2.drawContours(frame, contours, -1, (0, 0, 255), 5)
107        lines = cv2.HoughLinesP(frame2, 2, np.pi / 180, 100, np.array([]), minLineLength=20, maxLineGap=30)
108        averaged_lines = average_slope_intercept(frame2, lines)
109
110        line_image = display_lines(frame, averaged_lines)
111
112        combo = cv2.addWeighted(frame, 0.8, line_image, 0.5, 1)
113
114        cv2.imshow("road", combo)
115
116    except:
117        pass
```

Рисунок 4.9.

Далі наведено декілька експериментальних прикладів роботи алгоритму у із застосуванням програмного забезпечення(Рис 4.10-12)

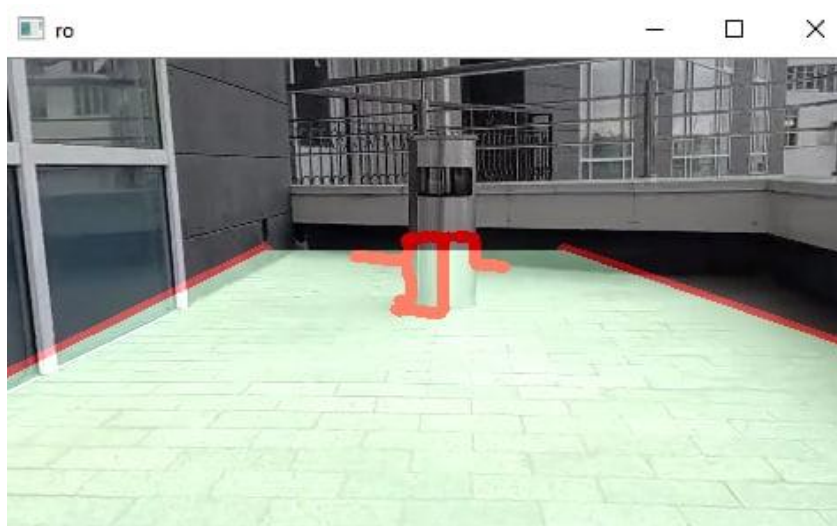


Рисунок 4.10 Приклад детектування перешкоди

					ДПІ ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

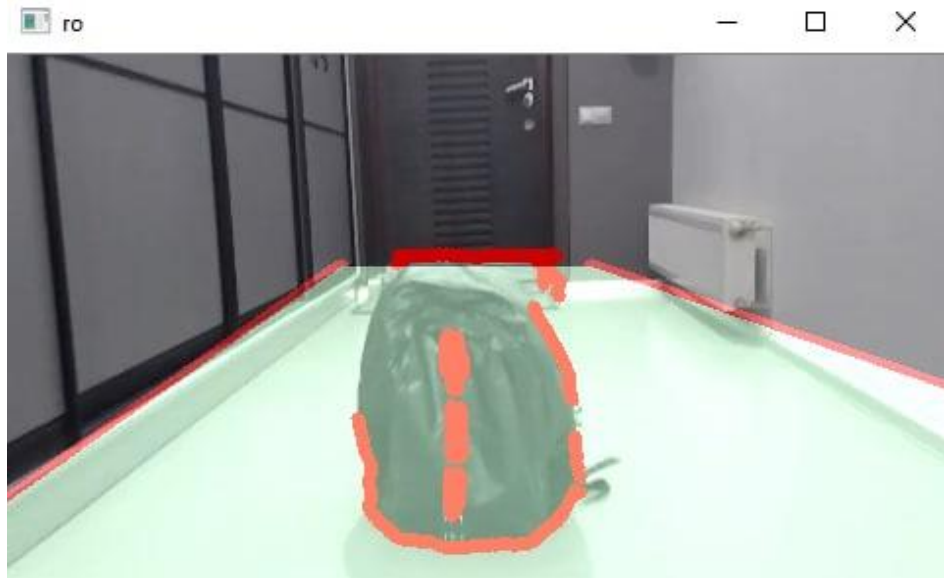


Рисунок 4.11 Приклад детектування перешкоди



Рисунок 4.12 Приклад детектування перешкоди на малюнку

На наступних рисунках зображений шлях обробки відео на шляху отримання кінцевого результату включаючи Canny edge detection (Рис 4.13),

накладення маски (Рис 4.14) та остаточне відео з виділенням перешкоди (Рис 4.15).

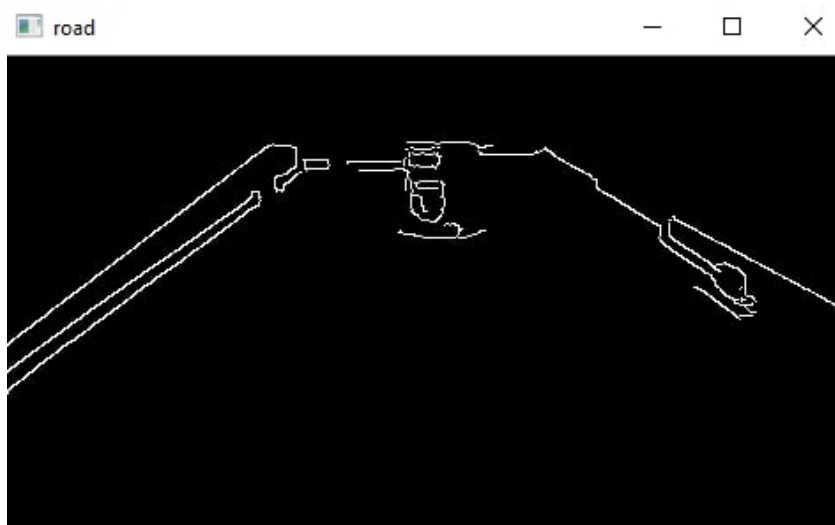


Рисунок 4.13 Canny edge detection

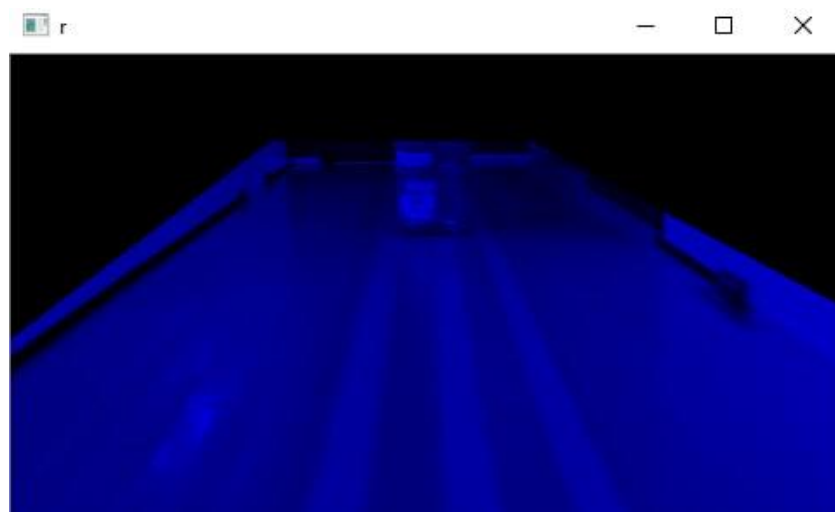


Рисунок 4.14 Цифрова маска



Рисунок 4.15 Пошук перешкоди

Висновок до розділу: у четвертому розділі ми реалізували метод детектування перешкод програмно мовою програмування Python та провели декілька експериментів для загального бачення.

5. АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

Для реалізації даного методу можна використовувати різноманітне апаратне забезпечення. Нас цікавить 3 основних елемента – монокулярна камера, мобільна платформа та безпосередньо сам комп'ютер для обробки зображення з камери.

У якості мобільної платформи для реалізації даного методу підходить багато різноманітних готових та збірних платформ. Зупинимось на даній моделі.

- LAFVIN Smart robot для Arduino (Рис 5.1)[21]

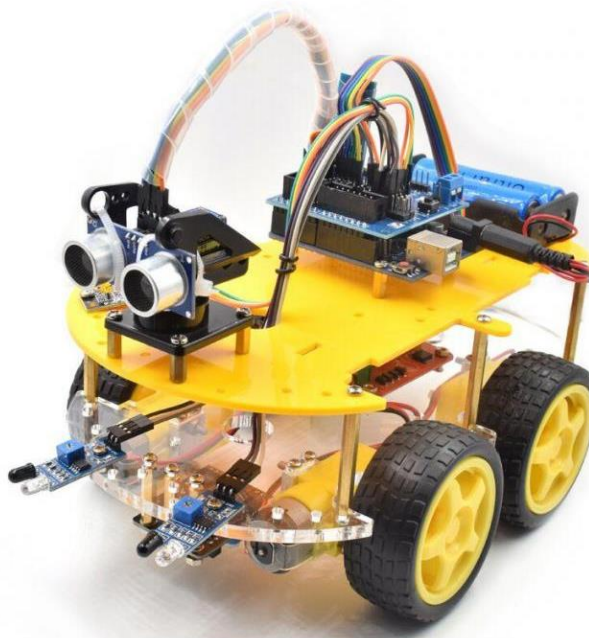


Рисунок 5.1. LAFVIN Smart robot для Arduino

Перевагами даної моделі є невеликі габаритні розміри, широка комплектація та невелика вартість. Недоліками невелика вага, яку цей робот здатний перевозити, але так як це тестова модель, при коректній роботі, у майбутньому можна обирати більш вантажопідйомні моделі.

						ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
							34
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

Для обробки зображення ми будемо використовувати даний мікрокомп'ютер (Рис 5.2)[20]

- Raspberry Pi 4 Model B 4GB



Рисунок 5.2 Raspberry Pi 4

Перевагами даного комп'ютера є значні технічні характеристики у порівнянні з іншими моделями, велика спільнота користувачів, що робить старт роботи більш комфортним та гарна система охолодження, що надає змогу працювати довгий час без перебоїв при великих навантаженнях. Тим не менш, є і декілька недоліків – відсутність eMMC пам'яті, що зменшує швидкість роботи та низька чутливість WI-FI адаптерів.

						ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
							35
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

Для безпосереднього отримання зображення ми будемо використовувати монокулярну камеру, сумісну з нашим комп'ютером— модуль камери Raspberry Pi 4 (Рис 5.3.)[22]



Рисунок 5.3 Монокулярна камера

Перевагами є невелика вартість та велика якість зображення. З недоліків – невеликий кут обзору.

Висновок до розділу: у п'ятому розділі ми обрали апаратну складову для реалізації нашого проекту.

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

6. Охорона праці

При роботі над дипломним проектом «Автоматизація системи мобільних роботизованих комплексів» існують шкідливі та небезпечні фактори, такі як освітлення приміщення, електробезпека, виробничий шум та пожежонебезпека. Так як основні дослідження ми проводили у навчальному корпусі, аналізувати ми будемо саме те приміщення.

6.1 Виробниче освітлення

Шкідливим для оператора є недостатня освітленість робочого місця, це проявляється в погіршенні зору та зниженні продуктивності праці самого оператора.

Для створення світлового комфорту на підприємствах хімічного виробництва використовують: природне освітлення, штучне освітлення, суміщене освітлення.

Площа приміщення, де проходить проектування робота становить 100 кв\м. Ми будемо використати лампи холодного світла для меншого напруження очей. Щоб робоче місце відповідало нормам освітленості обираємо люмінесцентні лампи, з потужністю 60 Вт. Оптимальна освітленість з 9-ю лампами буде 200 Лк (Рис.6.1.1.) [19]

Длина помещения: 10 м
Ширина помещения: 10 м
Высота помещения H: 3 м
Высота H1: 1 м
Помещение: Аудитории, учебные ка
Общий фон: Материалы с высокой
Тип лампы: Люминесцентная ламп
Мощность лампы: 60-80 Вт

РАСЧЕТ



Для освещения данного помещения вам

понадобится 9 ламп..

Рис.6.1.1. Розрахунок оптимальної освітленості

Згідно ДБН В.2.5-28:2018, робота з обслуговування обладнання відноситься до VI розділу підрозділу “а”, тобто загальне спостереження за

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічним процесом. При цьому робоче місце оператора повинно мати освітленість робочої зони $E_{нор}=200$ лк.

6.2 Електробезпека

Устаткування, що розробляється в проекті буде знаходитись в сухому приміщенні з нормальною температурою і вологістю повітря. Підлога приміщення керамічний кафель. Згідно ПЕУ-2017 воно відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки. На контролері та електроустаткуванні напруга $U = 380$ В, частота $f = 50$ Гц. Тип електромережі - із глухо заземленою нейтралю. Для забезпечення електробезпечності передбачені організаційні і технічні заходи:

- інструктаж з техніки безпеки;
- встановлення блокувань та пластикового корпусу;
- встановлення плакатів і знаків безпеки;
- недоступність елементів установки, що знаходяться під напругою(кабелі вкладаємо в полівінілхлоридові труби, піддати захисту: недоступність кабелів на висоті $h_{min} = 2,7$ м, застосування огорожувальних пристроїв);
- ізоляція струмопровідних частин контролера ($R \geq 0,5$ МОм);
- електророзділення мережі за допомогою спеціальних розділяючих трансформаторів;

					<i>ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

-рубильники включення замкнені в спеціальних шафах, різні кольори пускового та робочого обладнання;

В аварійному режимі застосовується пристрій занулення і захисне автовідключення.

6.3. Пожежонебезпека

Згідно ПЕУ-2017 воно відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки.

Для забезпечення пожежної безпеки проектом передбачена система зв'язка й оповіщення, системипорошкового та пінного пожежогасіння, система протипожежного водопроводу, а також первинні засоби пожежогасіння.

До первинних засобів пожежогасіння відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (бочки з водою, пожежні відра, ящики з піском, совкові лопати, протипожежні покривала) та пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири).

Площа приміщення, де проходить проектування робота становить 100 кв\м. Для гасіння пожежі служать вуглекислотні вогнегасники типу ВП-3(3). За формулою, де 1 кг сухої суміші витрачається на площу у 25 кв\м, у аудиторії передбачено 2 вогнегасники, що розташовуються біля входу та у кінці аудиторії.

Вогнегасники та пожежний інвентар мають червоне пофарбування, а бочки з водою та ящики з піском ще й відповідні написи білою фарбою.

Пожежний інструмент фарбується в чорний колір. Бочки для зберігання води з метою пожежогасіння встановлюються підвальному приміщенні. Такі бочки повинні бути укомплектовані пожежним відром місткістю не менше 8 л. Ящики з піском місткістю 0,5, 1,0 та 3,0 м³ та повинні бути укомплектовані совковою лопатою. Протипожежні покривала, виготовлені з негорючого теплоізоляційного полотна, грубо бавовняної тканини повинні мати не менш як 2х1 м та 2х2 м.

При пожежі в приміщенні знаходяться два еваковиходи (двері) розміром 2,5х1,3 м. Протипожежний водопровід забезпечує роботу зрошувальних

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

систем колонних апаратів і резервуарів з підключенням для пересувної пожежної техніки.

Для протипожежного захисту насосної використовується система порошкового пожежегасіння – модулі порошкового пожежегасіння у вибухозахищеному виконанні, згідно ДБН В.2.5-56:2014.

Зовнішнє пожежегасіння виробничого будинку здійснюється від пожежних гідрантів існуючої кільцевої протипожежної мережі.

Для гасіння невеликих вогнищ запалень при вимкненому електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 та пінні ОХП-10. Для гасіння ввімкнених електромереж застосовують порошкові вогнегасники з речовинами ОПС-10 і ОППС-100. В приміщенні встановлений пожежний гідрант з рукавом 10 м.

6.4 Виробничий шум

Джерелом шуму при роботі обладнання є електродвигун робота (загальна потужність $N = 8$ кВт).

Рівень шуму до введення захистних заходів знаходиться на рівні 90...120 дБА. Для зменшення виробничого шуму дозадовільного рівня передбачено проведення наступних заходів:

- встановлення захистних екранів, ($\Delta L = 15$ дБА);
- робота у захистних ізольованих навушниках;
- своєчасне змащування двигуна при висиханні мастила ($\Delta L = 6$ дБА);
- своєчасний ремонт всіх механічних вузлів за регламентом ($\Delta L = 8$ дБА).

Фактичні показники шуму - $L = 30...60$ дБА, що відповідає ДСН 3.36.037-99.

Загальний час роботи в шумному приміщенні без захисту не має перевищувати 2/3 робочої зміни. Тривалість безперервної роботи робота не повинна перевищувати 30 - 45 хвилин. У такому режимі обідня перерва становить не менше 40 хвилин.

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

7.ВИСНОВКИ

Завдяки проведеній роботі над ознайомленням та аналізом систем керування та методами детектування перешкод, ми знайшли оптимальне рішення поставленої задачі у грошовому, енерговитратному, та алгоритмічному плані. Подальша мета реалізувати даний алгоритм на реальній установі та зробити цей проект практичним для використання у промисловості для полегшення фізичних навантажень людей та економії фінансів та часу.

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Список використаної літератури

1. В.Н. Вапник, А.Я. Червоненкис . Теорія розпізнавання образів (статистичні проблеми навчання). – М.:Наука , 1974 – 416с.
2. В.В. В'югін. Елементи математичної теорії машинного навчання : навчальний посібник. – М.: МФТІ ІППІ РАН, 2010 – 231с.
3. «Великомасштабне машинне навчання разом з Python» Бастіан Шарден, Лука Массарон, Альберто Боскетті. 2017 рік. 358 стр
4. «Python та машинне навчання» Себастьян Рашка 2016 рік. 656 стр
5. «Електрони, хвилі і повідомлення» Дж. Пірс. Nevada, the University of Nevada, or UNR 1956 рік. 364 стр.
6. Брюннер В., Юнге К. Довідник з лазерної техніки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. — 544 с.: ил. ISBN 5-283-02480 Wissensspeicher Lasertechnik / Witlof Brunner, Klaus Junge VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1987 рік. 544 стр.
7. Пат. 2185953 РФ, МПК В 25 J 19/00. Стенд для контролю точності контурних переміщень промислового робота / лошата К.В., Кусов Р.Р., Судаков П.Е .; заявник і власник патенту - ВАТ "АВТОВАЗ". - № 2011121960/02; заявл. 02.02.2001; опубл. 27.07.2002.
8. Пат. 2252862 РФ, МПК В 25 J 19/00. Спосіб контролю точності контурних переміщень промислового робота / Лошата К.В., Кусов Р.Р., Судаков П.Е .; заявник і власник патенту - ВАТ "АВТОВАЗ". - № 2003127789/02; заявл. 15.09.2003; опубл. 27.05.2005, Бюл. №15.
9. Пат. 2472612 РФ, МПК В 25 J 19/00. Стенд для контролю точності контурних переміщень промислового робота / Нестеров В.М., Мухін В.М., Мещанов А.В.;заявник і власник патенту - Міністерство промисловості і торгівлі РФ. - № 2011121960/02; заявл.01.06.2011;опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2.
10. Карбовский В.П. Розробка і вдосконалення методів підвищення точностной надійності динамічних систем промислових роботів: автореф. дис. на здобуття уч. ступеня канд. техн. наук: спец. 01.02.06 "Динаміка, міцність машин, приладів та апаратури" / В.П. Карбовський. - Мінськ, 1992. - 20 с.

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Корендясев А.І. Теоретичні основи робототехніки / Корендясев А.І., Саламандра Б.Л., Тивес С.М.; відп. ред. Каплунов С.М.; Ін-т машинознавства ім. А.А. Благонравова РАН. - М.: Наука, 2006. - Кн. 1, 2.11. «Російсько-український ТЕХНІЧНИЙ словник / Національна академія наук України, Інститут мовознавства ім. О. О. ПОТЕБНИ. – Київ: Держ. вид-во технічної літ. УРСР, 1961. – 648 с.»
12. «Kinect» [Електронний ресурс] uk.wikipedia.org – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Kinect>
13. Промисловий робот [Електронний ресурс] uk.wikipedia.org – 2020. Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Промисловий_робот
14. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник./ Я. І. Проць — Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. — 232 с.
15. В. А. Кирилович Зв'язок між складовими технологічної взаємодії схватів промислових роботів з об'єктами маніпулювання.// «Енергетика і автоматика», №4, 2015 р. – 147 с.
16. Python bindings to the pointcloud library [Електронний ресурс] github.com – 2020. Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/strawlab/python-pcl>
17. Сазонов А.Ю., Застосування камер глибини при автоматизованому виявленні перешкод / А. Сазонов, Д. Осіпов // Житомирський державний технологічний університет – 2 с.
18. Кирилович В.А. Система підтримки прийняття рішень як основа автоматизованого вибору пристроїв орієнтування ГІС / Кирилович В.А., Черепанська І.Ю. – Вісник ЖДТУ № 3 (46). – Житомир, 2008. – С. 136 – 142
19. Калькулятор освітленості приміщення [Електронний ресурс] <https://www.calc.ru/osveshchennost-pomeshcheniya-kalkulyator.html>.

					<i>ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Raspberry Pi 4 Model B 4GB [Електронний ресурс]
<https://arduino.ua/prod3308-raspberry-pi-4-4gb>
21. LAFVIN Smart robot для Arduino [Електронний ресурс]
<https://arduino.ua/prod1001-nabor-dlya-sozdaniya-4-h-kolesnogo-robot-a-polnaya-versiya>
22. Інтернет магазин, монокулярна камера для Raspberry Pi 4
 [Електронний ресурс] <https://arduino.ua/prod2586-modul-kameri-5mp-dlya-raspberry-pi-zero>

					<i>ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток 1. Програмний код реалізації методу автоматизації мобільного роботизованого комплексу

```
import cv2
import numpy as np
#завантаження бібліотек

img = cv2.imread("road.jpg")
video = cv2.VideoCapture('bag.mp4')
#Завантаження файлів

if not video.isOpened():
    print("Error")
cv2.waitKey(1)

while video.isOpened():
    ret, frame = video.read()
    copy_img = np.copy(frame)
#Виведення координат

    def make_coordinates(image, line_parameters):
        #  $Y = MX + B$ 
        slope, intercept = line_parameters
        y1 = image.shape[0]
        y2 = int(y1 * (2 / 5))
        x1 = int((y1 - intercept) / slope)
        x2 = int((y2 - intercept) / slope)
        return np.array([x1, y1, x2, y2])

#зрівноваження ліній

    def average_slope_intercept(image, lines):
        left_fit = []
        right_fit = []
        returnArray = []
        while lines is not None:
            for line in lines:
                x1, y1, x2, y2 = line.reshape(4)
                parameters = np.polyfit((x1, x2), (y1, y2), 1)
                slope = parameters[0]
                intercept = parameters[1]
                if slope < 0:

                    left_fit.append((slope, intercept))
                else:

                    right_fit.append((slope, intercept))

            left_fit_average = np.average(left_fit, axis=0)
            print('LEFT: ', left_fit_average)
            left_line = make_coordinates(image, left_fit_average)
            returnArray.append(left_line)
            right_fit_average = np.average(right_fit, axis=0)
            print(right_fit)
            if right_fit_average[0] - left_fit_average[0] > 0:
                right_line = make_coordinates(image, right_fit_average)
                print('RIGHT: ', right_fit_average)
                returnArray.append(right_line)
            return np.array(returnArray)

#Канні для відео
```

					<i>ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						45
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

```

def canny(img):
    img = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2BGRA)
    blur = cv2.GaussianBlur(img, (5, 5), 5)
    return cv2.Canny(blur, 50, 100)

def display_lines(image, lines):
    line_image = np.zeros_like(image)
    if lines is not None:
        i=1
        for x1, y1, x2, y2 in lines:
            if i== 1:
                cv2.line(line_image, (x1, y1), (x2, y2), (0, 0, 255), 8)
                pl=[x1,y1,x2,y2]
                i+=1
            else:
                cv2.line(line_image, (x1, y1), (x2, y2), (0, 0, 255), 8)

pts=np.array([[pl[0],pl[1]],[pl[2],pl[3]],[x2,y2],[x1,y1]],dtype=np.int32)
cv2.fillPoly(line_image,pts,(202,255,191),
lineType=8,shift=0,offset=None)
return line_image

def mask(img):
    high = img.shape[0]
    #poly = np.array([(-220, 330), (200, 100), (300, 100), (830, 330)])
# 480x270 test
    #poly = np.array([(-220, 330), (150, 50), (300, 50), (830, 330)]) #
480x270 off
    #poly = np.array([(-80, 330), (150, 50), (300, 50), (500, 330)]) #
480x270 bbb
    #poly = np.array([(-250, 300), (150, 100), (300, 100), (860, 300)])
# 480x270 balk
    poly = np.array([(-100, 300), (180, 100), (270, 100), (860, 300)]) #
480x270 bag

#маска Для відео
mask = np.zeros_like(img)
cv2.fillPoly(mask, np.array([poly], dtype=np.int64), 1024)
masked_img = cv2.bitwise_and(img, mask)
return masked_img

#Маска для об'єкта
def obj(img):
    high = img.shape[0]
    poly1 = np.array([(150, 300), (200, 100), (280, 100), (300, 300)]) #
480x270 obj
    obj = np.zeros_like(img)
    cv2.fillPoly(obj, np.array([poly1], dtype=np.int64), 1024)
    masked_img = cv2.bitwise_and(img, obj)
    return masked_img

try:

    frame1 = mask(frame)
    frame2 = canny(frame1)
    frame4=obj(frame2)
    cvt = cv2.cvtColor(frame4, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    frame3 = cv2.cvtColor(cvt, cv2.COLOR_RGB2GRAY)

```

					ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

```

_, binary = cv2.threshold(frame3, 200, 255, cv2.THRESH_BINARY)

contours, hierarchy = cv2.findContours(binary, cv2.RETR_TREE,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
img = cv2.drawContours(frame, contours, -1, (0, 0, 255), 5)
lines = cv2.HoughLinesP(frame2, 2, np.pi / 180, 100, np.array([[]]),
minLineLength=20, maxLineGap=30)
averaged_lines = average_slope_intercept(frame2, lines)

line_image = display_lines(frame, averaged_lines)

combo = cv2.addWeighted(frame, 0.8, line_image, 0.5, 1)
cv2.imshow("r", frame1)
cv2.imshow("ro", combo)
cv2.imshow("road", frame2)

except:
    pass

if cv2.waitKey(25) & 0xFF == ord('q'):
    video.release()
    cv2.destroyAllWindows()
cv2.imshow(combo)
video.release()
cv2.destroyAllWindows()

#Допоміжний код

# lines = cv2.HoughLines(edges, 1, np.pi / 50, 150)

# for line in lines:

# rho, theta = line[0]
# a = np.cos(theta)
# b = np.sin(theta)
# xo = a * rho
##yo = b * rho

# x1 = int(xo + 1000 * (-b))
# y1 = int(yo + 1000 * (a))
# x2 = int(xo - 1000 * (-b))
# y2 = int(yo - 1000 * (a))

#Лінії Хафа

# if a > 0.60 and a < 0.68:
# cv2.line(image, (x1, y1), (x2, y2), (0, 0, 255), 1)
# if a > -0.95 and a < -0.65:
# cv2.line(image, (x1, y1), (x2, y2), (0, 0, 255), 1)

# cv2.line(image, (650, 290), (0, 290), (0, 255, 0), 1) # зелена
горизонталь

```

					<i>ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						47
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

```
# v2.line(image, (202, 290), (474, 290), (0, 255, 255), 1) # желтая линия
расстояния

# length = np.math.sqrt((610 - 200) ** 2 + (290 - 290) ** 2)

# print(lines) # координаты линий хафа
# print(length) # длина
```

					<i>ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

Додаток 2. Специфікація апаратної складової
Raspberry Pi4

Табл.1

Система на кристалі (SoC)	Broadcom BCM2711 (CPU + GPU)
Процесор	Процесор 64-розрядний чотирьохядерний ARMv8 Cortex-A72 процесор з тактовою частотою 1,5 ГГц
Графічний процесор	Графічний процесор VideoCore VI GPU підтримує стандарти OpenGL ES 3.0; кодування H.264 до 1080p30, декодування 4Kp60 відео (H.265 до 4Kp60, H.264 до 1080p60)
ОЗУ	1/2/4/8 ГБ SDRAM LPDDR4
Сховище	слот для карти пам'яті MicroSD
Дата виходу	червень 2019
Цільова ціна	от \$35
Ethernet	10/100/1000 Мбит Gigabit Ethernet (контролер Broadcom BCM54213PE)
Wi-Fi/Bluetooth	2.4 ГГц і 5 ГГц IEEE 802.11.b/g/n/ac WI-FI и Bluetooth 5.0 Low Energy (BLE), що забезпечуються мікросхемою Cypress CYW43455
Відео вхід	1 x CSI-2 для підключення камери по інтерфейсу MIPI
Відео вихід	Відео вихід 2 x мікро-HDMI 1 x DSI (Display Serial Interface) для підключення штатного дисплея; 1 x композитний відеовихід (CVBS відео, PAL і NTSC) 3.5 мм роз'єм
Аудіо вхід	Нема, але можна додати USB-мікрофон або звукову карту
Аудіо вихід	гніздо 3,5 мм, 2 порти мікро-HDMI
USB-порти	2 порти USB 2.0 і 2 порти USB 3.0 через VLI VL805
Периферія	40 портів введення-виведення загального призначення (GPIO), UART (Serial), I ² C / TWI, SPI з селектором між двома пристроями; Піни харчування: 3,3 В, 5 В і земля.
Живлення	5 В, 3,0 А через порт USB type C або GPIO; Power over Ethernet (PoE) через окремий PoE HAT (окремі 4 Піна)
Модуль керування живленням (PMIC)	MxL7704
Енергоспоживання	—
Розміри	85,6 мм x 56,5 мм x 17 мм
Вага	45 г
ОС	Ubuntu, Debian, Fedora, Arch Linux, Gentoo, RISC OS, Android, Firefox OS, NetBSD, FreeBSD, Slackware, Tiny Core Linux, Windows 10 IOT

						ДП ЛА72.22.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			49

Напруга	6 В, передатне число редуктора: 1 до 48
Довжина платформи	23 см; ширина: 12 см
Зовнішнє живлення	7...12 В
Керування роботом	Інфрачервоний пульт дистанційного керування
Драйвер	L298N для управління двигунами