

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

РОЗРОБЛЕННЯ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА МОБІЛЬНОГО ПОШУКОВО-
РЯТУВАЛЬНОГО РОБОТА

(тема)

Виконав студент 2 курсу, групи КТРСм-22-2
Головіна Владислава Сергіївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва напрямку)

Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Комп'ютеризовані та
робототехнічні системи
(назва)

Керівник проф. каф. КІТАР Євсєєв В.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2023 р.

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

15.01.2024

Головіна В.С.



ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет	АКТ
Кафедра	КІТАР
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	Освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютеризовані та робототехнічні системи (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.кафедри _____
(підпис)

«__» _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____
Головній Владиславі Сергійові
(прізвище, ім'я, по батькові)Тема роботи: Розроблення дослідного зразка мобільного пошуково-рятувального робота

Затверджена наказом по університету від _____ №1288Ст від 03.11.2023

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 16.01.2024р3. Вихідні дані до роботи: 3.1 Час регулювання системи керування не більше ніж 1.3 секунди; 3.2 Виявлення наявності людини на відстані 1-2 метри;3.3 Керування мобільним роботом на базі клієнт серверної архітектури з використанням тонкого клієнта

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 Вступ; 4.2 Дослідження сучасних пошуково-рятувальних роботів; 4.3 Розробка системи керування дослідницького макета мобільного робота; 4.4 Розробка алгоритмів керування; 4.5 Розробка програми керування; 4.6 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Графічний демонстраційний матеріал в форматі PowerPoint(*.ppt) формату А4-11 сторінок.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних пошуково-рятувальних роботів	01.09.2023-15.09.2023	виконано
2	Аналіз та вибір апаратних модулів	15.09.2023-20.09.2023	виконано
3	Розробка системи керування	21.09.2023-05.10.2023	виконано
4	Розробка дослідного зразка	05.09.2023-21.10.2023	виконано
5	Розробка алгоритмів керування	21.10.2023-06.11.2023	виконано
6	Розробка програми керування	06.11.2023-15.11.2023	виконано
7	Експериментальні дослідження	15.11.2023-08.12.2023	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	08.12.2023-31.12.2023	виконано
9	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом	12.01.2023	виконано
10	Подання роботи на рецензію	13.01.2023	виконано
11	Подання роботи на підпис зав. кафедри	13.01.2023	виконано
12	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	19.01.2023	виконано
13			

Дата видачі завдання 1 вересня 2023р.

Студент _____
(підпис)

Головіна В.С.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. Євсєєв В.В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 103 с., 11 табл., 42 рис., 4 дод., 35 джерел.

МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИЙ РОБОТ,
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ.

Мета роботи – розробка експериментального макета мобільного пошуково-рятувального робота для підвищення ефективності пошуку людей в зоні надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт розробки – процес керування мобільним роботом.

Предмет розробки – методи керування мобільним пошуково-рятувальним роботом.

У цій магістерській кваліфікаційній роботі приведено аналіз моделей сучасних мобільних пошуково-рятувальних роботів, конструкцій та методів керування пошуково-рятувальним роботом. Також розроблено структуру системи керування та зроблено вибір апаратних модулів для реалізації розробленої системи керування. За допомогою теорії автоматичного керування розроблену систему керування було перевірено стійкість. Беручи за основу проведені дослідження було розроблено лабораторний макет мобільного пошуково-рятувального робота.

А також розроблено програму керування та інтерфейс до неї. Було проведено експериментальне дослідження, усі отримані результати були зафіксовані та проаналізовані.

Результати кваліфікаційної роботи опрабовані в журналі ADED (Automation and Development of Electronics Devices).

ABSTRACT

Explanatory note: 103 pages, 11 tables, 42 figures, 4 app, 35 sources.

MOBILE ROBOT, SEARCH AND RESCUE ROBOT, CONTROL SYSTEM.

The purpose of the work is to develop an experimental layout of a mobile search and rescue robot to increase the efficiency of searching for people in emergency situations.

The object of development is the process of controlling a mobile robot.

The subject of development is methods of controlling a mobile search and rescue robot.

This master's qualification thesis provides an analysis of models of modern mobile search and rescue robots, designs and methods of controlling a search and rescue robot. The structure of the control system has also been developed and the selection of hardware modules for the implementation of the developed control system has been made. Using the theory of automatic control, the developed control system was tested for stability. Based on the conducted research, a laboratory model of a mobile search and rescue robot was developed.

A control program and an interface to it have also been developed. An experimental study was conducted, all the obtained results were recorded and analyzed.

The results of the qualification work were tested in the magazine ADED (Automation and Development of Electronics Devices).

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ	10
1 Аналіз сучасних пошуково-рятувальних роботів.....	12
1.1 Аналіз моделей пошуково-рятувальних роботів.....	12
1.2 Огляд та аналіз вимог для мобільних пошуково-рятувальних роботів.....	17
1.3 Аналіз аналогічних рішень	18
1.4 Аналіз методів керування	22
1.5 Постановка задач дослідження.....	25
1.6 Висновки до першого розділу.....	26
2 Розробка системи керування дослідницького макета мобільного робота	27
2.1 Аналіз та вибір апаратних модулів	27
2.2 Розробка структури системи керування	36
2.3 Розробка системи керування.....	38
2.4 Розробка схеми підключення.....	41
2.5 Розробка дослідного зразка мобільного пошуково-рятувального робота.....	42
2.6 Висновки до другого розділу	45
3 Розробка алгоритмів керування.....	46
3.1 Вибір середовища розробки	46
3.2 Розробка загального алгоритму керування	47
3.3 Розробка алгоритму керування мобільним роботом	49
3.4 Висновки до третього розділу	51
4 Розробка програми керування та експериментальні дослідження.....	52
4.1 Розробка інтерфейсу	52

4.2 Прошивка і налаштування модуля ESP32-Cam	55
4.3 Постановка експерименту та аналіз отриманих результатів.....	57
4.4 Розрахунок освітленості приміщення	60
4.4 Висновки до четвертого розділу	62
Висновки	63
Перелік джерел посилань	65
Додаток А Апробація результатів наукових досліджень	70
Додаток Б Основний файл прошивки	78
Додаток В Файл с веб-сервером.....	82
Додаток Г Демонстраційний графічний матеріал	102

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МР – мобільний робот;

ПРМР – пошуково-рятувальний мобільний робот;

DARPA – агентство перспективних оборонних досліджень (англ. Defense Advanced Research Projects Agency) ;

GPS – система глобального позиціонування (англ. Global Positioning System);

HMI – людино-машинний інтерфейс (англ. Human-machine interface);

OCU – блок оперативного управління (англ. Operational control unit);

USB – універсальна послідовна шина (англ. Universal Serial Bus);

ВСТУП

Використання роботів є досить популярним і має величезний потенціал у багатьох галузях. Але активне впровадження роботів поки що обмежене низкою факторів, і насамперед певними науково-технічними труднощами. При цьому однією з найперспективніших галузью для роботизації є порятунок та пошук людей у зонах техногенних аварій, надзвичайних ситуацій та природних катастроф. З роками ця тема з роками стає дедалі актуальнішою.

Основною перешкодою в запровадженні роботів стає не технічна, а алгоритмічна складність. Оскільки, повністю покласти на роботів завдання пошуку людей не можливо, так як і самі люди не можуть впоратись з цим у повному обсязі не дивлячись на професіоналізм рятувальною команди. Якщо рятувальна операція проходить в умовах стихійного лиха це дуже складно та небезпечно також для рятувальної команди. Але використання роботів разом з рятувальною командою можуть зробити пошуково-рятувальну операцію більш ефективною та як умога швидче наблизитись до результату.

Часті стихійні лиха та техногенні катастрофи ставлять під загрозу безпеку громадян. Пошуково-рятувальні роботи здатні не лише підвищити ефективність рятувальних операцій, а й знизити ризик життя і здоров'ю для самих рятувальників. Роботи можуть допомагати рятувальним командам і навіть замінювати рятувальників під час виконання небезпечних місій. Пошуково-рятувальні роботи відіграватимуть все більш важливу роль у рятувальних операціях. Пошуково-рятувальна роботизована техніка є необхідною, стратегічною технологією для розвитку держави і забезпечення безпеки громадян розвитку.

Мета роботи – розробка експериментального макета мобільного пошуково-рятувального робота для підвищення ефективності пошуку людей в зоні надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт розробки – процес керування мобільним роботом.

Предмет розробки – методи керування мобільним пошуково-рятувальним роботом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз пошуково-рятувальних роботів;
- провести аналіз методів управління мобільними пошуково-рятувальними роботами;
- провести аналіз та обрати апаратні модулі;
- розробити структуру системі керування;
- розробити програму керування та інтерфейс;
- прошити на налаштувати модуль ESP32-Cam;
- проведення експериментальних досліджень та аналіз отриманих результатів.

Магістерська робота оформлена згідно з рекомендаціями [1], та вимогам ДСТУ 3008:2015 [2].

Результати проведеного аналізу доповідались у доповіді [3], індексовані у гугл академії та впроваджені у освітній процес (Додаток А).

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБОТІВ

1.1 Аналіз моделей пошуково-рятувальних роботів

Технічний прогрес у сфері рятувальних операцій є роботизовані технології, які можуть самостійно або за допомогою оператор проводить пошуково-рятувальні роботи у разі аварії техногенного, природного, екологічного, біологічного та соціального характеру. Вони унікальні роботи, тому що можуть вводити умови, небезпечних для здоров'я і життя людей. Такі роботи повинні виконувати комплекс різних завдань залежно від характеру інциденту [3].

Існують різні види пошуково-рятувальних мобільних роботів (ПРМР), це залежить від місця та умов в яких вони потрібні. Нарзповсюдженими є такі види:

- наземний пошуково-рятувальний робот;
- водний пошуково-рятувальний робот;
- пожежний робот;
- дрон;
- ліквідаційний робот [4].

Більш детально розглянемо вид наземно-пошукових роботів. Основною відмінністю є даному виду є спосіб пересування поверхнею та конструкція самого робота, і залежить він від багатьох факторів, але здебільшого це обумовлено метою пошуково-рятувальної операції.

Одне з перших відомих реальних використань роботів для пошуково-рятувальною операції стала трагедія 11 вересня 2001 року, саме тоді роботи використовувалися для:

- пошук жертв;
- пошук доріжок крізь завали, для швидкого походження;

- обстеження конструкції;
- виявлення небезпечних матеріалів.

У кожному з цих випадків використовувалися маленькі роботи, оскільки вони могли проникати глибше, ніж традиційні пошукове обладнання (роботи регулярно заходили на 5–20 м всередину купи уламків).

На рисунку 1.1 показана початкова група роботів, привезених до місця подій.



Рисунок 1.1 – Роботи на статичній виставці на Javits Convention [5]

Лише три моделі фактично використовувалися на завалах з 11 по 21 вересня. Цими моделями були micro-Tracs, Inuktun micro-VGTV і Solem, які обведені на фотографії колом. Роботи належали DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency), або були надіслані виробниками.

Кожну з двох наведених моделей Inuktun могла переносити в рюкзаку одна людина. Обидва роботи – гусеничні машини розміром з коробку для взуття (0,17 м × 0,32 м × 0,06 м) і телекеровані через прив'язку. Цей трос слугує як для зв'язку, так і для живлення робота. Оператор дистанційно керує роботом через окремого оператора блок керування (OCU) трохи більший за ноутбук. Обидва роботи мають кольорову камеру та двосторонній звук.

Різниця між двома транспортними засобами полягає в тому, що є мікро-VGTV поліморфний, він може змінювати свою форму. Обидві моделі розроблені для обстеження систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітроводи і труби. Вони не мають інклінометрів, одометрів або датчиків температури, хоча нові моделі мають. Максимальна швидкість для цих роботів становить швидкість 0,076 м/с, вага 4,5 кг.

Модель Solem можуть нести дві людини. Це відстежуваний транспортний засіб із бездротовим зв'язком, чорно-білою камерою на відкидній щоглі та лазерною сіткою діапазону. Оператор керує робот через окремий OCU. У Solem немає двостороннього аудіо. Він призначений для військового та цивільного знешкодження вибухонебезпечних предметів і має максимальну швидкість 0,5 м/с, бортовим джерелом живлення служать нікель-гідридні акумулятори. Незважаючи на те, що він бездротовий, він використовується зі страхувальною мотузкою [5].

Згодом на місце подій подій було доставлено багато різноманітних моделей пошуко-рятувальних роботів, які представлено на рисунку 1.2.

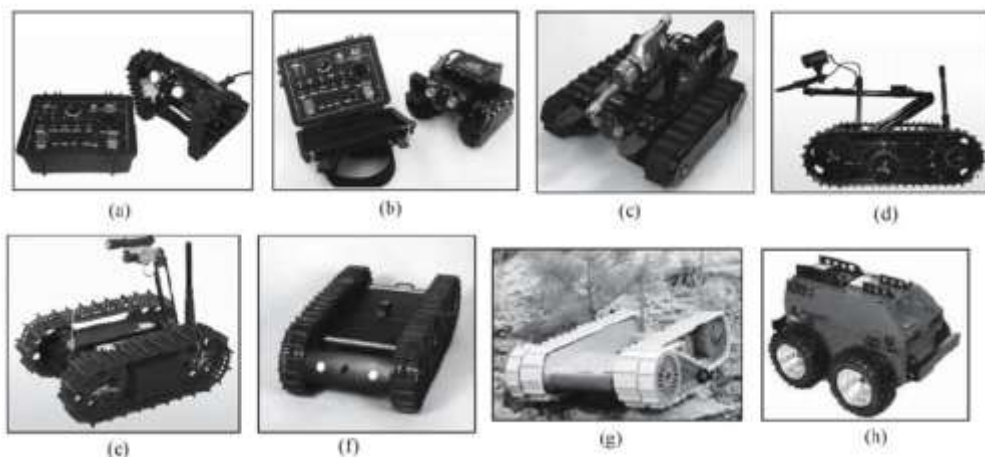


Рисунок 1.2 – Моделі пошуково-рятувальних роботів, які були використані в рятувальній операції Всесвітнього торгового центру: а) Micro VGTV; б) Micro Traces; в) Mini Traces; г) Talon; д) SOLEM; е) Urbot; ж) Packbot; з) ATRV [5]

Як ми можемо побачити здебільшого були використані моделі роботів, які мали гусені і за рахунок цього вони могли пересуватися на нерівній поверхні.

Нині розробка та технологічні можливості дозволяють зробити роботів більш ефективними. Одним з прикладів є сучасна модель пожежного робота Thermite RS1, на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Пожежний робот Thermite RS1 [6]

Моделі оснащені потужним дизельними двигунами, керуються дистанційно, рухаються на гусенях промислового класу і можуть долати підйоми з нахилом до 70 градусів. Роботи, здатні викидати до 2500 галонів води і піни за хвилину, спеціально розроблені для боротьби з великими промисловими пожежами, такими як пожежі на нафтопереробних заводах, а також багатьох інших типів [6].

Один із найвідоміших у світі роботів є модель Atlas від компанії Boston Dynamics (рисунок 1.4). Цей робот був розроблений в рамках напівлегендарного конкурсу DARPA Robotics Challenge. Конкурс спонукав інженерів створювати роботизовані машини, які могли б допомогти бригадам з надзвичайних ситуацій справлятися із природними та техногенними катастрофами, тоді і був вигаданий цей проект. З тих пір гуманоїд Атлас став більш досконалим. Нині окрім базових речей він може навіть робити сальто назад.



Рисунок 1.4 – Робот Atlas від компанії Boston Dynamics [7]

В рамках проекту DARPA Atlas був спроектований для виконання базових, але потенційно життєво важливих завдань у незвичайних умовах: перемикання вимикачів, відключення клапанів, відкриття дверей та запуску силового обладнання [7].

Також існує рятувальний робот від компанії DEEP Robotics. Було розроблено чотирилапу тварину – Jueying X20, приклад на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Рятувальний робот Jueying X20 [8]

Робот, схожий візуально на собаку, може переміщатися пересіченою місцевістю в екстремальних погодних умовах завдяки своїм можливостям та

водонепронекному копрусу. Має автономну навігацію, здатність долати схили з ухилом близько 35 градусів і робочому навантаженню може підняти близько 80 кілограмм. Завдяки здатності переносити таке обладнання, як кисневі балони, робот є ідеальним помічником у рятувальних операціях. Його також можна оснастити роботизованою рукою, щоб робити більше [8].

1.2 Огляд та аналіз вимог для мобільних пошуково-рятувальних роботів

Мобільні роботи (MR) продовжуються замінювати традиційне пошуково-рятувальне обладнання, особливо в останні 20 років. Сьогодні, з удосконаленням сенсорної технології та зростанням швидкості та потужності мікроконтролерів, роботи, які є достатньо малими, щоб проходити крізь купи уламків, та виконувати інші завдання. Існують різні галузі досліджень пошуково-рятувальних роботів, наприклад:

- картографування;
- виявлення жертв та постраждалих;
- навігація;
- дослідження місцевості;
- нейтралізація небезпечних та вибухових предметів;
- фізична допомога (перенесення уламків, транспортування необхідного спорядження та інше).

У літературі зустрічаються різні типи пошуково-рятувальних роботів [9]. Мобільні роботи (MR) зазвичай інтегровані в пошуково-рятувальну групу як один з інструментів для:

- пошуку жертв у небезпечних зонах для рятувальників;
- для збору та надання необхідних даних з місця трагедії;
- стеження за людиною під час місії.

У пошуково-рятувальних операціях наразі використовуються мобільні роботи (MR), які допомагають рятувальникам виконувати небезпечні та

ризиковані завдання під час місії. Керування роботом зазвичай є завданням людини-оператора, яка знаходиться в безпечному місці, але наразі спостерігається активне впровадження деяких автономних функцій, які стануть дуже в нагоді рятувальній команді. Бажані автономні можливості для роботів:

- надання та обробка необхідних даних;
- дослідження довкілля на місці події;
- пошук поранених людей;
- перевезення обладнання або допомоги для постраждалих;
- повернення на безпечну територію у разі нестачі живлення.

На думку пожежників, більш автономні роботи можуть бути використані у далекому майбутньому для виконання завдань самостійно. Типовими завданнями, які бажано виконувати автономно, є, наприклад, пошук поранених на великих територіях та дослідження небезпечних зон, надання оновленої карти відповідно до виявлених небезпечних зон від газу чи пожежі або закритого шляху будівлі від обвалу, а також перевозити важке обладнання для пожежників під час рятувальної місії. Крім того, робот може виконувати рутинні завдання для економії часу людини [10].

1.3 Аналіз аналогічних рішень

Конструкція моделі пошуково-рятувального мобільного робота (ПРМР) розробляється в залежності від поставленої мети рятувально-пошукової операції. Нині існує декілька розповсюджених конструкцій пошуково-рятувальних роботів, які здебільшого використовуються для проведення рятувальних операцій.

Одним з прикладів є iRobot (рисунок 1.6), робот що оснащений для розбору завалів та переміщення уламків з місце надзвичайної пригоди. Окрім клешні маніпулятора, також робот оснащений камерою, за допомогою, якої можливо побачити постраждалих під завалами.



Рисунок 1.6 – Машина iRobot's Warrior, один із двох типів роботів, відправлених до Японії [11]

iRobot – дочірня компанія Лабораторії комп'ютерних наук та штучного інтелекту, заснована професором Массачусетського технологічного інституту Родні Бруксом, Хелен Грейнер та Коліном Енглom – відправила чотири таких роботи до Японії для допомоги відновлення пошкоджених ядерних реакторів на Фукусімі та очищення території після землетрусу та цунамі [11].

Snakebot – це безмежно розширювана роботизована платформа, яка використовує метод руху рухомої хвилі, схожий на рух біологічних змій. Зібраний Snakebot містить 10 двосегментних блоків, а загалом 20 активних сегментів, а також головка, яка має свій власний сервопривід, що дозволяє керувати ним самостійно при бажанні. Arduino Micros, який використовується для керування, може розумно керувати по чотири сервоприводи кожен (інші порти використовуються для різних сигналів і комунікаційні функції). Змієподібний режим пересування гарантує, що будь-де голова йде, решта змій слідує за нею, рухаючись у такому ж напрямку. Таким чином, поки голова успішно орієнтується у середовищі, необмежено довге тіло може слідувати за головою, не змінюючи алгоритми навігації чи пересування. Приклад конструкції робота-змій показано на рисунку 1.7 [12].



Рисунок 1.7 – Snakebot [12]

Нині японські служби екстреної допомоги застосовують невеликого робота-рятівника, схожого на танк, який може шукати під завали постраждалих і доставляти воду, їжу чи мобільні телефони в зони стихійних лих.

QUINCE (рисунок 1.8), саме таку назву дали цьому роботу, розміром з ігрову машинку для малюків, має роботизовану руку, якою можна дистанційно керувати, щоб відчиняти дверні ручки, маневрувати серед завалів і переносити важливі предмети для виживання після землетрясіння або іншої катастрофи.



Рисунок 1.8 – QUINCE [13]

Рятувальна команда керує рукою дистанційно, використовуючи комп'ютерний зв'язок, який показує їм зображення з камери робота. Машина

також оснащена інфрачервоними датчиками і датчиками вуглекислого газу, щоб знаходити виживших, визначаючи їх тепло та дихання, а також створює тривимірні карти місця дії під час сканування. Чотири комплекти коліс, кожен з яких приводить в рух гумові гусені, схожу на танк, і приводяться в рух шістьма електродвигунами, що дозволяють машині подолати нерівності, а також підняти і спуститися по нахилу крутизни до 80 градусів [13].

Через дуже швидкий розвиток технологій у сучасному світі, розвивається і сфера робототехніки, тому конструкції роботів стають дедалі ефективнішими і кращими. Прикладом конструкції сучасних рятувально-пошукових роботів є так званий робот-собака. Чотиринога безпілотна наземна платформа (QUGV), зображена на рисунку 1.9. Напівавтономний робот запрограмований так, щоб мінімізувати вплив небезпек для людини. Унікальні можливості робота, включаючи сенсорні датчики, створюють помітну перевагу для забезпечення безпеки зони проведення рятувальної операції. Робот може самостійно відстежувати периметр зони проведення операції, сканування за допомогою декількох типів камер місцевості, долати великі відстані без підзарядки, безпечна передача інформації. Рятувальники можуть перервати автономну функцію собаки та керувати нею вручну. Також робот може переносити невеликі вантажі у вигляді води та їжі для постраждалих [14].



Рисунок 1.9 – Чотиринога безпілотна наземна платформа (QUGV) [14]

У Німеччині розробили команду пошуково-рятувальних мобільних роботів (ПРМР), здатних об'єднатися в одного більшого для виконання складніших операцій. Кожен із трьох знімних модулів робота може функціонувати незалежно, наприклад, для дослідження завалів у пошуках тих, хто вижив. Однак, зібрані разом, модулі функціонують як один більший та складніший робот. Модулі мають по дві гусениці, схожі на танки, кожна з яких дозволяє їм підніматися сходами та долати нерівні поверхні. Набір бортових датчиків, включаючи камеру, сенсорний датчик, гіроскоп і GPS модуль, допомагає їм орієнтуватися в навколишній обстановці і точно визначати своє положення. Приклад, такого робота зображений на рисунку 1.10 [15].



Рисунок 1.10 – Комбінований пошуково-рятувальний робот [15]

1.4 Аналіз методів керування

Здебільшого метод керування пошуково-рятувальним мобільним роботом (ПРМР) може бути обумовлений різними факторами і залежить від завдання для якого він використовується. Пошуково-рятувальним мобільним роботом (ПРМР) може керувати віддалений координатор, який знаходиться в безпечному віддаленому місці за межами зони лиха. Як члена рятувальної

команди, завдання мобільного робота (МР) полягає в тому, щоб досліджувати невідому територію та небезпечну територію, недоступну або ризиковану для людини. Використовуючи відповідне обладнання для сприйняття, мобільний робот може аналізувати місцевість, та допомагати людині, наприклад при поганій видимості. Компонент обробки датчиків відповідає за управління датчиками, збір даних. Генеруючи свої дані та обробляючи їх таким чином, щоб вони могли бути використані іншими компонентами системи. Система управління, наприклад навігаційна система. Основна увага приділяється етапам обробки даних зовнішніх датчиків (наприклад, інфрочервоного або ехолокаційного) і те, як результати використовуються для аналізу місності та пошуку тих, хто вижив. Мобільні роботи (МР) виконують дві основні функції під час місії; один полягає в тому, щоб надати дані датчиків для модуля відображення, а інший полягає в тому, щоб стежити за людиною.

Для наочного прикладу візьмемо типового колісного робота, американської компанія «MobileRobots». Вона представила мобільний робот РЗ-DX, який є платформою, що складається з трьох коліс, з незалежними електродвигунами правого і лівого колеса. Також на платформі встановлені відеокамера та ультразвуковий датчик. Приклад можна побачити на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 – Зовнішній вигляд мобільного робота РЗ-DX [16]

Кінематична модель колісного робота P3-DX є таким виглядом:

$$y_1 = \cos \alpha V_z, \quad (1.1)$$

$$y_2 = \sin \alpha V_z, \quad (1.2)$$

$$\alpha = \omega V_z = \frac{K}{2}(V^1 + V^2), \quad (1.3)$$

$$\omega = -\frac{K}{2}(V^1 - V^2), \quad (1.4)$$

де $\gamma = (\gamma_1 \gamma_2)$ – координат колісного робота на площині;

α – кут повороту робота в площині;

V_z – швидкість робота;

ω – кутова швидкість;

V^1, V^2 – поздовжня швидкість колеса;

K – коефіцієнт передачі приводу.

Виходячи з всіх наявних даних маємо систему керування колісного робота P3-DX, яку можна побачити на рисунку 1.12 [16].

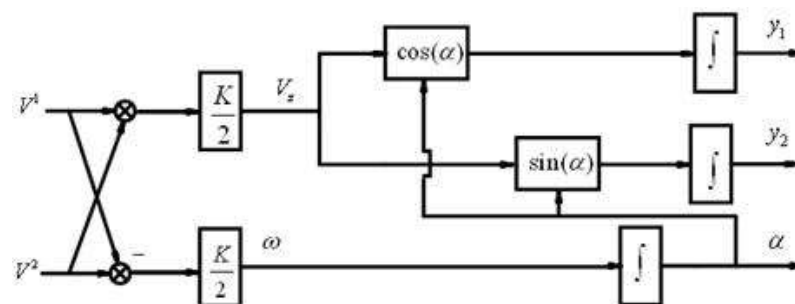


Рисунок 1.12 – Система керування колісного робота P3-DX [16]

Мобільним керованим об'єктом у просторі є колісний робот. У випадку завдання його локалізації визначається його декартовими координатами у просторі і кутовий орієнтацією в певний час. Таке завдання може бути вирішене шляхом безпосереднього виявлення та розпізнавання

навколишнього середовища, в цьому можуть допомогти різні апаратні модулі здатні на вирішення цієї задачі. Це можуть бути датчики, камери, GPS-мітки і т.д.

В даний час більшості рятувальних команд потрібні лише роботи з дистанційним керуванням, виняток становлять військові, які заявляють про автономних роботів для побудови карт або дослідження навколишнього середовища. У деяких випадках пожежники обережно ставляться до надійності та адаптивності автономності, для таких випадків потрібні дистанційні роботи. У будь-якому випадку роботи повинні забезпечувати автономні низькорівневі дії та методи екстреної обробки, щоб відповідати вимогам надійності. наприклад робот знаходить дорогу назад у разі переривання зв'язку.

Але незважаючи на це все ще найбільш реальним і найвживанішим залишається керування роботом за допомогою людини-оператора.

1.5 Постановка задач дослідження

Після проведення аналізу можемо зробити висновок, що нині пошуково-рятувальні мобільні роботи (ПРМР) є досить актуальною темою. Ця тема є актуальною оскільки розроблення дослідного зразка пошуково-рятувального мобільного робота дозволить в майбутньому розробити більш досконалі моделі, які можливо буде використовувати для порятунку людських життів та збереження здоров'я.

Мета роботи – розробка експериментального макета мобільного пошуково-рятувального робота для підвищення ефективності пошуку людей в зоні надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт розробки – процес керування мобільним роботом.

Предмет розробки – методи керування мобільним пошуково-рятувальним роботом.

Для поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз пошуково-рятувальних роботів;
- провести аналіз методів управління мобільними пошуково-рятувальними роботами;
- провести аналіз та обрати апаратні модулі;
- розробити структуру системи керування;
- розробити програму керування та інтерфейс;
- прошити на налаштувати модуль ESP32-Cam;
- проведення експериментальних досліджень та аналіз отриманих результатів.

1.5 Висновки до першого розділу

Після проведення аналізу можемо зробити висновок, що нині мобільні пошуково-рятувальні роботи є досить актуальною темою. Ця тема є актуальною оскільки розроблення дослідного зразка мобільного пошуково-рятувального робота дозволить в майбутньому розробити більш досконалі моделі, які можливо буде використовувати для порятунку людських життів та збереження здоров'я.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОГО МАКЕТА МОБІЛЬНОГО РОБОТА

2.1 Аналіз та вибір апаратних модулів

На першому етапі розробки системи керування для пошуково-рятувального мобільного робота (ПРМР), необхідно проаналізувати та обрати апаратні модулі.

На базі готової платформи буде створюватися дослідний зразок мобільного робота (МР). Найбільш поширенішими та доступними є варіації колісних платформ. Декілька прикладів таких платформ можна побачити на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Приклади колісних платформ [17]

Досить часто трапляється, що колісна платформа на не рівній поверхні при повороті чи значному розвороті може перекинутися. Оскільки в надзвичайній ситуації, обмеженому просторі або просторі куди не може дістатися людина, не має можливості ставити таку платформу на колеса. Тому було обрано платформу з гусеневою стрічкою, яка за рахунок внутрішнього каркасу має змоги продовжувати рух не зважаючи на перекидання. Приклад обраної платформи в зібраному стані, можна побачити на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Платформа гусеничного танкового шасі Mini TP100 [18]

В комплекті до платформи йдуть два двигуни 33GB-520, які розташовані на платформі, можна побачити на рисунку 2.3.



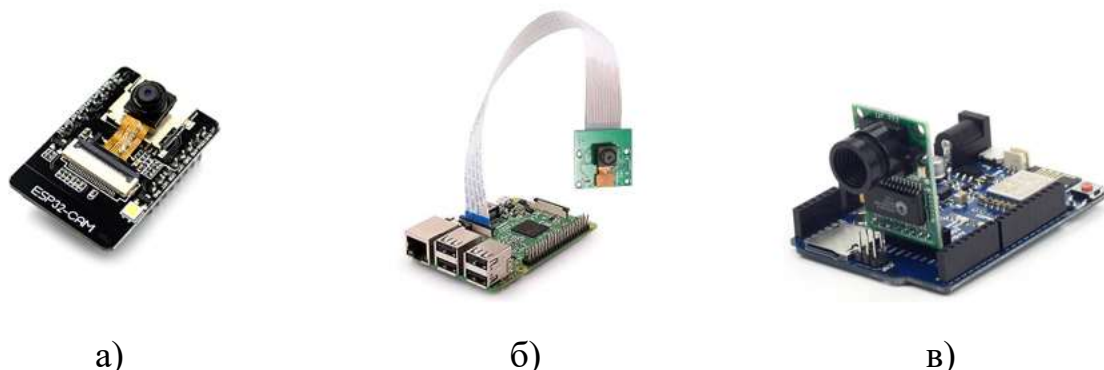
Рисунок 2.3 – Двигун 33GB-520 [18]

У таблиці 2.1 представлені основні параметри двигуна 33GB-520.

Таблиця 2.1 – Параметри двигуна 33GB-520 [18]

Параметр	Значення
Номінальна потужність	12 В
Напруга	6-12 В
Сила струму	100 мА
Частота обертів	170-350 об/хв
Вага	100 г

Для вирішення задачі локалізації мобільного робота (МР), як найліпше підходять основні модулі які мають вбудовану камеру. Розглянемо декілька найпоширеніших варіантів. Варіанти показані на рисунку 2.4.



а) ESP32-CAM;

б) Raspberry Pi Mini Camera Video Module;

в) Arducam ESP8266 UNO Board

Рисунок 2.4 – Приклади модулів [19]

У таблиці 2.2 представлені основні характеристики модулів.

Таблиця 2.2 – Характеристики модулів

Характеристика	ESP32-CAM	Raspberry Pi Mini Camera Video Module	Arducam ESP8266 UNO Board
Мікроконтролер	ESP32	Broadcom VideoCore IV	ESP8266
Інтегрована камера	Так	Так	Так
Роздільна здатність камери	Різні варіанти, до 2 мпкс	Різні варіанти, до 8 мпкс	Різні варіанти, до 5 мпкс
Інтегрований Wi-Fi	Так	Ні	Так
Енергоспоживання	Низьке	Середнє	Середнє
Розміри	27 мм x 39 мм	Різні варіанти	Різні варіанти
Вартість	\$10	\$15	\$19

Одним з основних модулів для системи керування мобільним роботом (МР) був обраний модуль ESP32-CAM [20]. Оскільки є найбільш компактним для нашої платформи, має невелику вартість, низьке енергоспоживання та інтегрований Wi-Fi (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Модуль ESP32-CAM [20]

У таблиці 2.3 представлені основні параметри модуля ESP32-CAM.

Таблиця 2.3 – Параметри модуля ESP32-CAM [20]

Параметр	Значення
Робоча частота процесора	240 МГц
Напруга живлення	5 В
Роздільна здатність камери	2 МПкс
Розмір	27 мм x 39 мм
Вага	10 г

При виборі драйверів двигуна для лабораторного макету було проаналізовано дві найпопулярніші та найдоступніші моделі нині на ринку, а саме L298N та МХ1508 [21-22].

У таблиці 2.4 представлені основні характеристики драйверів.

Таблиця 2.4 – Характеристики драйверів [21-22]

Характеристика	L298N	MX1508
Тип драйвера	Н-міст двигуна	Н-міст двигуна
Напруга живлення	5 В – 35 В	2,5 В – 10 В
Максимальний струм	2 А (періодичний), 1 А (постійний)	1,5 А (періодичний), 0,6 А (постійний)
Кількість каналів керування	2 (для керування двома двигунами)	1 (для керування одним двигуном)
Захист від перегріву	Так	Так
Захист від короткого замикання	Так	Так

Обидва драйвера двигуна призначені для керування постійними моторами та мають достатньо схожі характеристики, наприклад захист від перегріву та короткого замикання. Але все ж таки L298N незважаючи на свій більший розмір, забезпечує більш високий максимальний струм у порівнянні з MX1508. Також L298N (рис. 2.6) підходить для керування відразу двома двигунами.

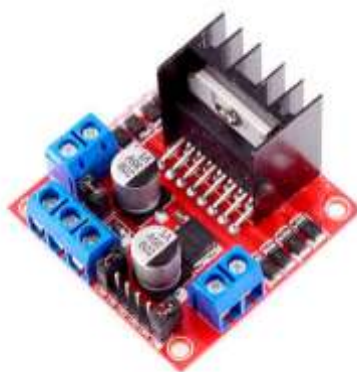


Рисунок 2.6 – Драйвер двигуна L298N [21]

У таблиці 2.5 представлені основні параметри драйвера двигуна L298N.

Таблиця 2.5 – Параметри драйвера двигуна L298N [21]

Параметр	Значення
Напруга живлення вбудованої логіки	5 В
Споживаний струм вбудованої логіки	0 – 36 мА
Напруга живлення драйвера	5 – 35 В
Розмір	43,5 мм x 43,2 мм x 29,4 мм
Вага	26 г

Оскільки два двигуни лабораторного макету живляться від напруги в 12 В, а основний модуль мікроконтролера ESP32-Cam живиться від напруги 5 В, щоб знизити напругу нам знадобиться знижувач напруги. В нашому випадку був обраний найбільш розповсюджений знижувач напруги USB-DC-DC-StepDown-5V-1A [23].

Приклад якого можна побачити на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Знижувач напруги USB-DC-DC-StepDown-5V-1A [23]

У таблиці 2.6 представлені основні параметри знижувача напруги USB-DC-DC-StepDown-5V-1A.

Таблиця 2.6 – Параметри знижувача напруги USB-DC-DC-StepDown-5V-1A [23]

Параметр	Значення
Вхідна напруга	12-80 В постійного струму
Вихідна напруга	5 В постійного струму
Вага	8 г

Модуль контролю заряду для акумуляторів відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки та ефективності використання літій-іонних акумуляторів, які живитимуть наш лабораторний макет. Цей пристрій запобігає перезарядженню та глибокому розрядженню акумуляторів, а також забезпечуючи їх тривалий термін служби.

Порівняємо дві різні моделі модулі контролю заряду акумулятора.

У таблиці 2.7 представлені основні характеристики модулів.

Таблиця 2.7 – Характеристики модулів

Характеристика	ХН-М602L [24]	BMS 18650 3S [25]
Тип пристрою	Модуль контролю заряду	Система управління акумулятором (Battery Management System)
Напруга живлення	Зазвичай 5 В – 12 В	Залежить від моделі, зазвичай 12 В – 36 В
Максимальний струм заряду	До 10 А (періодичний)	Залежить від моделі, зазвичай 10 А – 20 А
Балансування заряду	Ні	Так
Захист від перезаряду	Так	Так
Захист від глибокого розряду	Так	Так
Кількість серій (S)	1S, 2S, 3S, 4S і т.д.	3S (три в серії)

Додаткова можливість балансування заряду дозволяє уникнути нерівномірного розрядження між акумуляторами, підвищуючи загальну продуктивність системи. Також, BMS 18650 3S, спеціалізований на трьох акумуляторах у серії, дозволяє забезпечити потрібну потужність для лабораторного макету. Також він має всього 3 блоки, які підходять нам за габаритами для встановлення усередині каркасу. Всі вище перераховані параметри роблять BMS 18650 3S надійним і практичним вибором. Приклад модуля контролю заряду акумулятора можна побачити на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Модуль контролю заряду акумулятора BMS 18650 3S 10A [25]

У таблиці 2.8 представлені основні параметри модуля контролю заряду акумулятора.

Таблиця 2.8 – Параметри модуля контролю заряду акумулятора [25]

Параметр	Значення
Номінальна напруга	11,1 В - 12,6 В
Максимальний безперервний струм заряду та розряду	10 А
Розмір	50 мм x 16 мм x 1 мм
Вага	7 г

Технічні характеристики літієвих акумуляторів роблять їх ідеальним вибором для забезпечення постійного живлення мобільних роботів (MR), зокрема відміною рисою є стабільність напруги та тривалий цикл життя акумуляторів. Приклад літієвого акумулятора можна побачити на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Літієвий акумулятор LIR18650 [26]

У таблиці 2.9 представлені основні параметри акумулятора LIR18650.

Таблиця 2.9 – Параметри акумулятора LIR18650 [26]

Параметр	Значення
Хімічний склад	Li, Ion
Номінальна напруга	3,7 В
Номінальна ємність	3000 мАг
Вага	46,5 г

Оскільки лабораторний макет виконують основну функцію пошуку людей при надзвичайних ситуаціях. Буде використана технологія радіовиявлення, яка є найбільш ефективною. Це радіотехнічна система виявлення об'єктів, і навіть визначення їх швидкості, дальності, а як і геометричних параметрів. Система використовує метод радіолокації, заснований на випромінюванні радіохвиль та реєстрації їх відбиття від об'єктів [27]. Приклад сенсора можна побачити на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 – Радарний датчик присутності людини HLK-LD2410B4 [27]

У таблиці 2.10 представлені основні характеристики датчика.

Таблиця 2.10 – Параметри датчика [27]

Параметр	Значення
Найдальша відстань спрацьовування	до 5 м
Кут виявлення, охоплення	60 градусів
Розміри	7 мм x 35 мм
Вага	4 г

2.2 Розробка структури системи керування

Система керування дозволяє мобільному роботу працювати в ручному режимі. Оператор може контролювати всі переміщення у просторі мобільного робота. Для кращої орієнтації у просторі встановлена відеокамера та датчик виявлення та присутності людини, це також допомагає оператору та пошуково-рятувальній бригаді для дослідження місця події.

Розробимо структуру системи керування нашим лабораторним макетом пошуково-рятувального мобільного робота (ПРМР) враховуючі всі особливості конструкції та апаратні модулі, які було обрано вище.

Приклад розробленою структури керування можна побачити на рис 2.11.



Рисунок 2.11 – Структура системи керування

Як показано на рисунку 2.11 система має один вихідний датчик та оснащена камерою, сигнали яких відображаються на інтерфейсі програми керування. Оператор має змогу побачити їх та скерувати свої дії відносно переміщення мобільного робота в просторі.

Використання камери та сенсорів в мобільних роботах (МР) відкриває широкий спектр можливостей для навігації та покращення їхньої роботи та навігації. Камера слугує основним елементом для забезпечення найкращого візуального сприйняття простору, що оточує мобільного робота, що в свою чергу дозволяє роботу та насамперед оператору ефективно навігувати в просторі та взаємодіяти з ним.

У свою чергу система управління мобільним роботом (МР) також є невід'ємною частиною для взаємодії робота з навколишнім середовищем. Вона визначає його рухи, відповіді та функціональні можливості. У деяких випадках система управління визначає його автономні здатності, дозволяючи роботу виконувати завдання, які вимагають інтелектуального вирішення.

Як ми можемо бачити всі елементи структури керування пов'язані між собою і мають безпосередній вплив один на одного [28].

2.3 Розробка системи керування

Проведемо моделювання системи керування пошуково-рятувальним мобільним роботом (ПРМР) з використанням теорій автоматичного керування, виконує кілька ключових функцій. По-перше, воно дозволяє аналізувати та оптимізувати взаємодію робота з оточуючим середовищем, враховуючи різні сценарії дій. Моделювання також допомагає визначити оптимальні параметри контролерів та алгоритмів для досягнення поставлених завдань, забезпечуючи ефективність та точність управління. Крім того, цей підхід дозволяє виявляти можливі ризики та недоліки в системі керування, допомагаючи вдосконалювати її перед впровадженням у реальних умовах. Використовуючи теорію автоматичного керування, опишемо обрані модулі у вигляді передаточних функцій першого та другого порядку.

Якщо ми припустимо, що HLK-LD2410B має передаточну функцію першого порядку, то її можна записати у вигляді:

$$W_{HLK}(s) = \frac{k}{\tau s + 1}, \quad (2.1)$$

де K – коефіцієнт передачі;

τ – часова константа;

s – змінна Лапласа.

Передаточна функція камери OV2640 для ESP32-CAM може бути апроксимована, як ідеальний передавач:

$$W_{OV}(s) = 1. \quad (2.2)$$

Передаточна функція самого модуля ESP32-CAM для керування пошуково-рятувальним роботом можна переставити у вигляді:

$$W_{ESP}(s) = \frac{K_c}{s}, \quad (2.3)$$

де K_c – коефіцієнт.

Для двигунів постійного струму 33GB-520 можна представити у вигляді передаточної функції першого порядку, яка має наступний вигляд:

$$W_{GB}(s) = \frac{K_p}{1+T_p s}, \quad (2.4)$$

де K_p – коефіцієнт;

T_p – постійна часу.

Передаточна функція драйвера двигуна L298N може бути апроксимована, як ідеальний передавальний елемент:

$$W_L(s) = 1. \quad (2.5)$$

Передаточна функція модуля Wi-Fi, яка знаходиться на модулі ESP32-SAM можна представити у вигляді передатної функції першого порядку:

$$W_{Wi-Fi}(s) = \frac{1}{1+T_d s}, \quad (2.6)$$

де T_d – час затримки.

Передаточна функція першого порядку для живлення на базі акумуляторів 18650 можна представити у вигляді передатної функції:

$$W_{Ak}(s) = \frac{1}{1+T_h s}, \quad (2.7)$$

де T_h – постійна часу.

Операторський інтерфейс для передачі команд від оператора, представимо у вигляді передаточної функції ідеального елемента:

$$W_{HMI}(s) = 1. \quad (2.8)$$

Розробимо структурну схему керування пошуково-рятувальним мобільним роботом (ПРМР) з використанням теорій автоматичного керування на базі запропонованих передаточних функцій (2.1-2.6). Структурна схема керування представлена на рисунку 2.12.

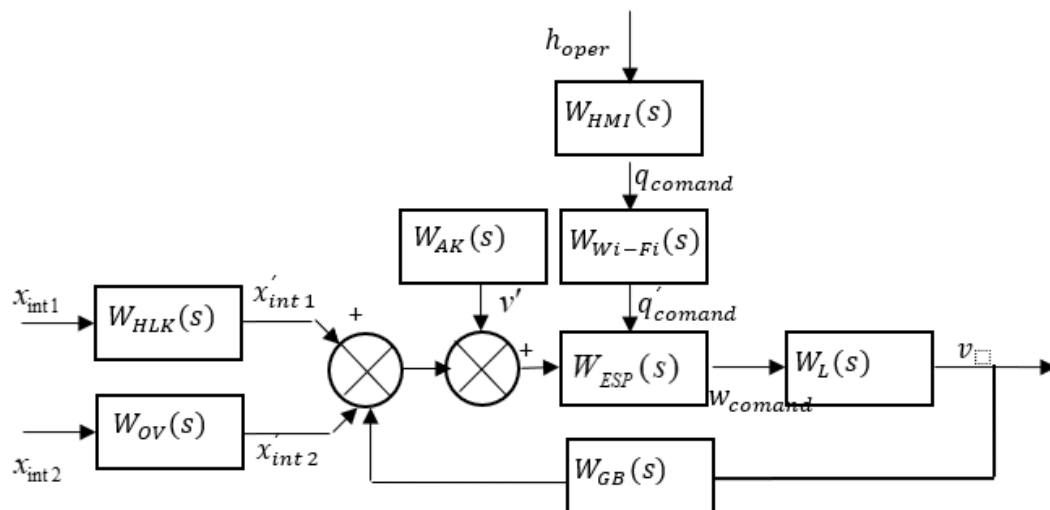


Рисунок 2.12 – Структурна схема керування мобільним пошуково-рятувальним роботом [29]

На вхід схеми керування подається два сигнали x_{int1} та x_{int2} , які описують навколишнє середовище мобільного робота, оброблена інформація у вигляді x'_{int1} та x'_{int2} поступає на суматор та передається на $W_{ESP}(s)$, також на цей блок подаються команди оператора q_{comand} через блок $W_{Wi-Fi}(s)$, які приймають від q'_{comand} . Відповідно до отриманої інформації з x'_{int1} , x'_{int2} та q'_{comand} , модуль ESP32-CAM формує керуючу команду для $W_L(s)$ у вигляді v . Цей тип сигналу надходить до $W_{GB}(s)$, що дає можливість керувати двигунами

постійного струму. Також, сигнал у вигляді v' з блоку $W_{AK}(s)$ описує живлення на базі акумуляторів 18650 [18].

Після описання обраних модулів за допомогою у вигляді передаточних функцій першого та другого порядку на базі яких побудовано структурну схему системи керування, проведемо моделювання в середовищі MatLab. Результати у вигляді графіку можна побачити на рисунку 2.13.

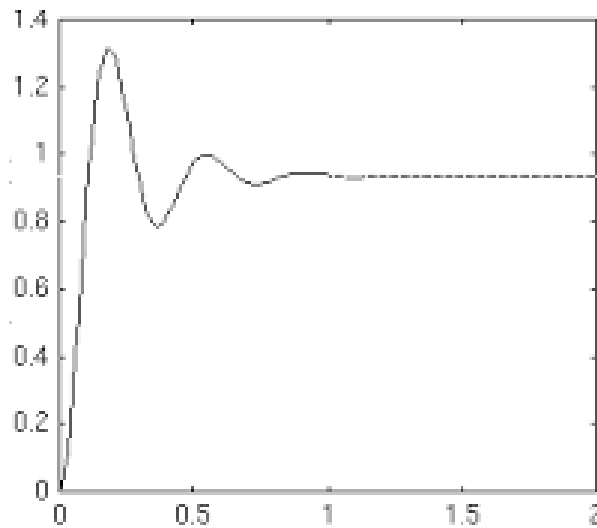


Рисунок 2.13 – Графік отриманої перехідної функції

Виходячи з рисунку 2.13 можемо бачити результати перевірки розробленої системи на стійкість. Система є стійкою.

2.4 Розробка схеми підключення

Схема підключення для розробки макета мобільного робота (МР) відіграє важливу роль у збірці, вона допомагає визначити правильність а також ефективність всіх підключень. Спрощує процес збирання та забезпечує вірне підключення всіх компонентів. Схема допомагає уникнути помилок та неполадок, а також забезпечує зручність обслуговування та можливість подальшого розвитку системи. З її допомогою можна ефективно визначити, як кожен компонент взаємодіє з іншими, забезпечуючи безперебійну роботу мобільного робота при складанні та експлуатації.

Маючи усі основні модулі, розробимо схему підключення, враховуючи розпінування усіх модулів.

Готову схему підключення, можна побачити на рисунку 2.14.

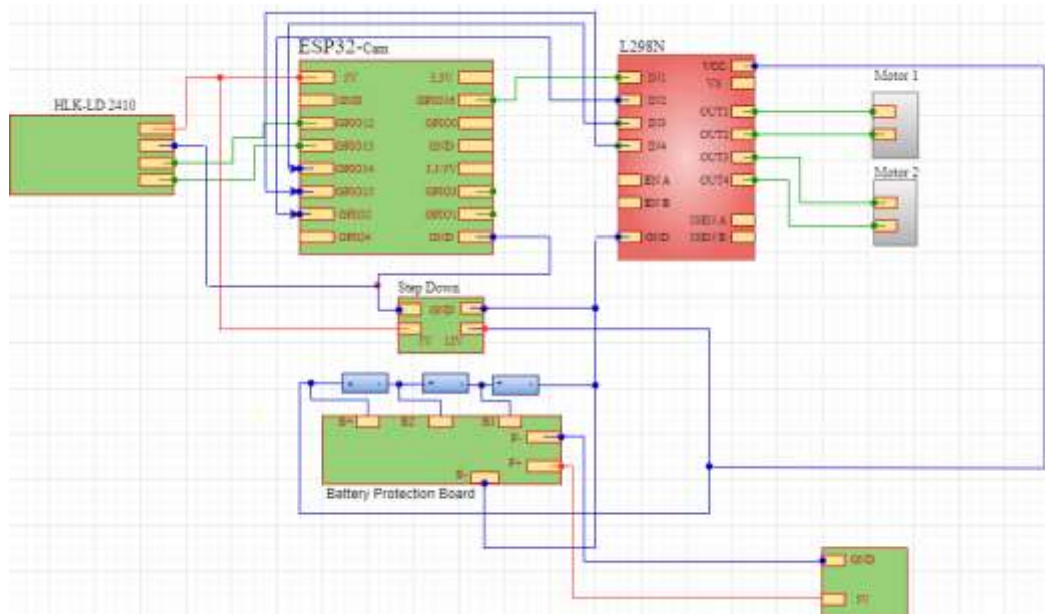


Рисунок 2.14 – Схема підключення

Як бачимо на рисунку 2.14 мікроконтролер ESP32-CAM підключений до драйвера двигуна L298N, який в свою чергу підключений до двох двигунів. Радарний датчик підключений також до основного модуля ESP32-CAM. Все це також підключено до системи живлення, яка складається з модуля контролю заряду акумулятора, акумуляторів з'єднаних послідовно та знижувача напруги.

2.5 Розробка дослідного зразка мобільного пошуково-рятувального робота

Під час складання макету були використанні всі модулі та деталі наведенні вище.

Платформа має окремі деталі корпусу виконані з металу й окремі деталі гусеничної стрічки, які складаються з обертаємих частин та самою стрічки.

Збираємо металевий каркас за допомогою гвинтів та прикріплюємо на нього два двигуна та пластикові елементи гусенець. Двигуни прикріплюємо асиметрично з різних сторін каркасу. Приклад зібраного каркасу можна побачити на рисунку 2.15.

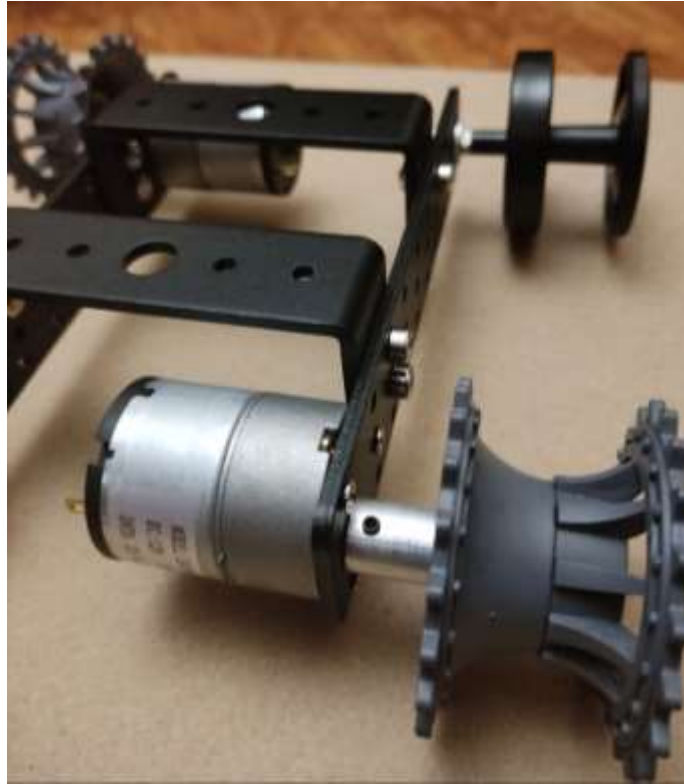


Рисунок 2.15 – Процес складання каркасу дослідницького зразка

Після цього приміряємо гусені та вкорочуємо їх, оскільки стрічка занадто довга. Маємо ось таку складену основу на рисунку. Приклад можна побачити на рисунку 2.16.

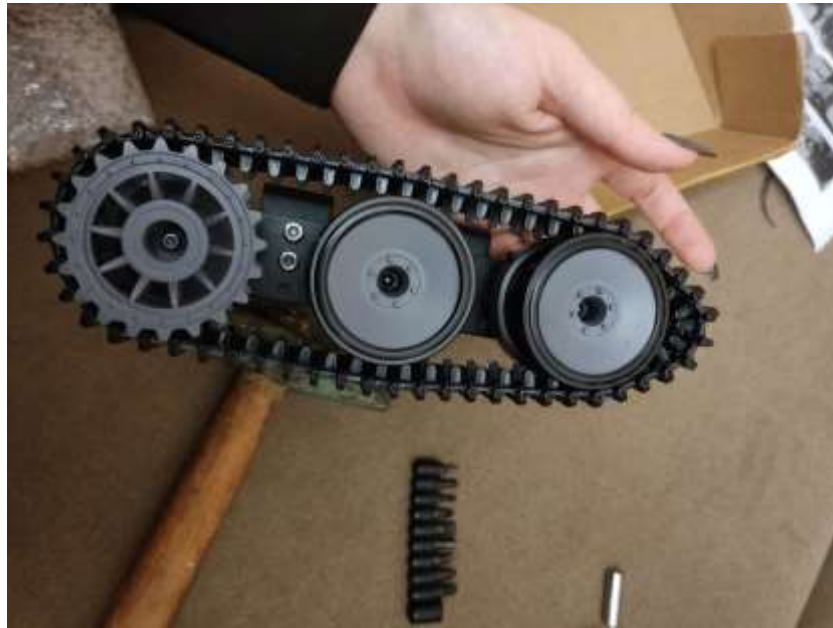


Рисунок 2.16 – Зібраний каркас дослідницького зразка

Виходячи з схеми підключення наведеної вище з'єднуємо основні модулі за допомогою паяльної лампи. Зпершу з'єднуємо модуль ESP32-Cam, драйвер двигунів L298N та радарний датчик присутності людини HLK-LD2410B. Результат можна побачити на рисунку 2.17.

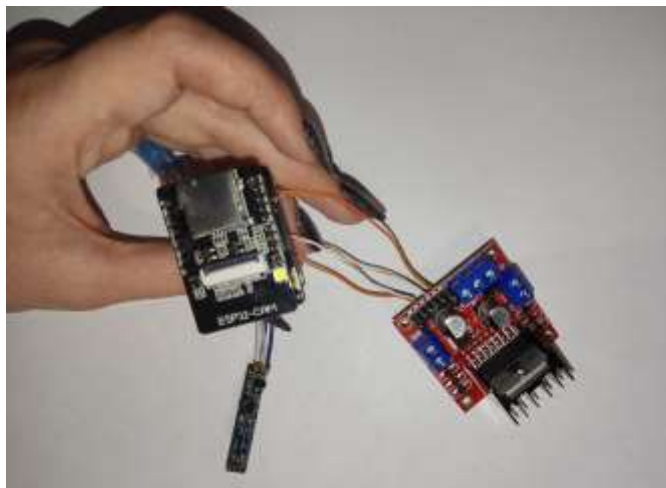


Рисунок 2.17 – З'єднані основні модулі

Також з'єднаємо поміж собою три акумулятора, які буде розміщено в батарейному відсіку та модуль контролю заряду акумулятора, а також зробимо вихід за допомогою USB кабеля. Результат можна побачити на рисунку 2.18.

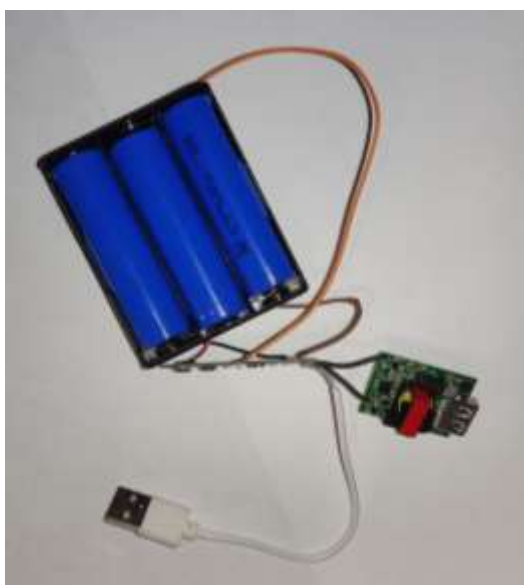


Рисунок 2.18 – З'єднані основні модулі живлення

Останнім кроком закріплюємо всі елементи на каркасі нашої основи та з'єднуємо основні модулі з двигунами згідно з схеми підключення. Повністю зібраний макет можна побачити на рисунку 2.19.

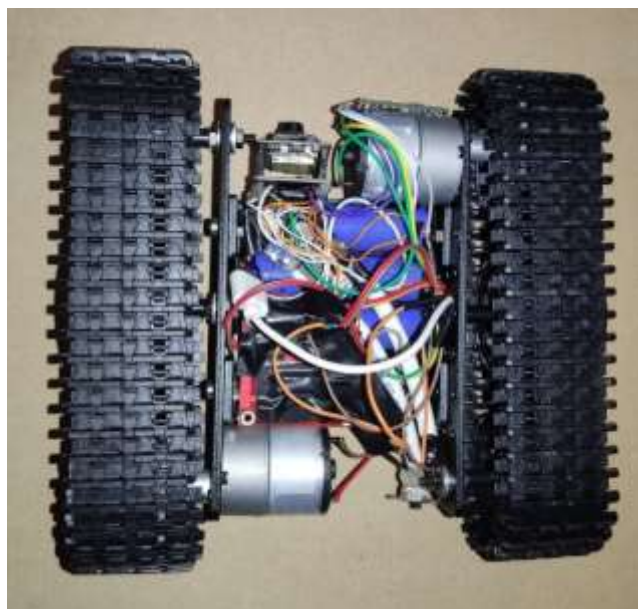


Рисунок 2.19 – Готовий лабораторний макет

2.6 Висновки до другого розділу

В цьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи, було проаналізовано та обрано основні модулі та датчики для дослідного зразка. Розроблено структуру системи керування, а також розроблено структуру системи керування на базі математичних залежностей. Для цього було використано теорій автоматичного керування на базі запропонованих передаточних функцій. Також систему було промодельовано в середовище MatLab та перевірено на стійкість. Розроблено схему підключення та зібрано лабораторний макет дослідного зразка з обраний раніше апаратних модулів, та закріплено на платформі з гусенечною стрічкою.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ

3.1 Вибір середовища розробки

Нині у сучасному світі існує дуже багато різноманітних середовищ розробки. Вибір середовища розробки для Arduino залежить від ряду факторів, таких як рівень навичок, тип проекту, доступність функцій і ресурсів та т.д.

Найбільш популярними середовищами розробки наразі Arduino IDE. Це програмне забезпечення для користувачів, яке дозволяє писати свої програми (скетчі) для платформи Arduino. Ця платформа насамперед орієнтується на конструкторів-аматорів, які застосовують Arduino для побудови простих систем автоматизації та робототехніки. Мова програмування Arduino є стандартною C++ з деякими особливостями, що полегшують написання програм новачкам у цій справі [30].

Розглянемо середовище розробки PROGRAMINO. Це платне середовище розробки, але його можна випробувати протягом 14 днів безкоштовно. Programino, як і інші середовища розробки, вимагає, щоб вже було встановлено Arduino IDE. Мова, яка використовується в даному середовищі розробки – така сама, як і в оригінальній Arduino IDE. Це є перевагою тому, що не потрібно вивчати нову мову програмування.

Цікава альтернатива Arduino. Це середовище розробки унікальне тим, що використовує мову Basic, а не Cі. Вона також підтримує автодоповнення коду. Крім того, вона повністю безкоштовна.

CodeBlocks for Arduino також є досить поширеною основна її відмінність від описаних IDE – можливість писати код для мікроконтролерів та деяких інших платформ, не лише Arduino [31].

Виходячи з нашого технічного завдання та потреб основною середою розробки обрано Arduino IDE.

Цей вибір обумовлений простотою і гнучкістю цього середовища. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс Arduino IDE дозволяє написати код значно швидше навіть для новачків, дозволяючи швидко засвоїти середовище розробки. Також не менш важливим є велика спільнота та достатня кількість технічної документації.

3.2 Розробка загального алгоритму керування

Розробка загального алгоритму управління мобільним роботом (МР) є одним із ключових етапів і може включати кілька необхідних кроків. Цільовим завданням нашого робота є пошук людей у надзвичайних ситуаціях. Лабораторний макет буде оснащений однією камерою та радарним датчиком. Таким чином людина оператор, яка керує лабораторним макетом може отримати більше інформації про довкілля та події які відбуваються навколо. На основі інформації яку отримують камера та датчики, людиною-оператором приймається рішення щодо переміщення робота в просторі, його маршруту, перешкод та взаємодії з навколишнім середовищем.

Після визначення траєкторії переміщення, лабораторний макет продовжує моніторити навколишню середовище, що допомагає людині-оператору свої корективи у існуючий маршрут.

На рисунку 3.1 можна побачити розроблений загальний алгоритм керування для нашого лабораторного макету.

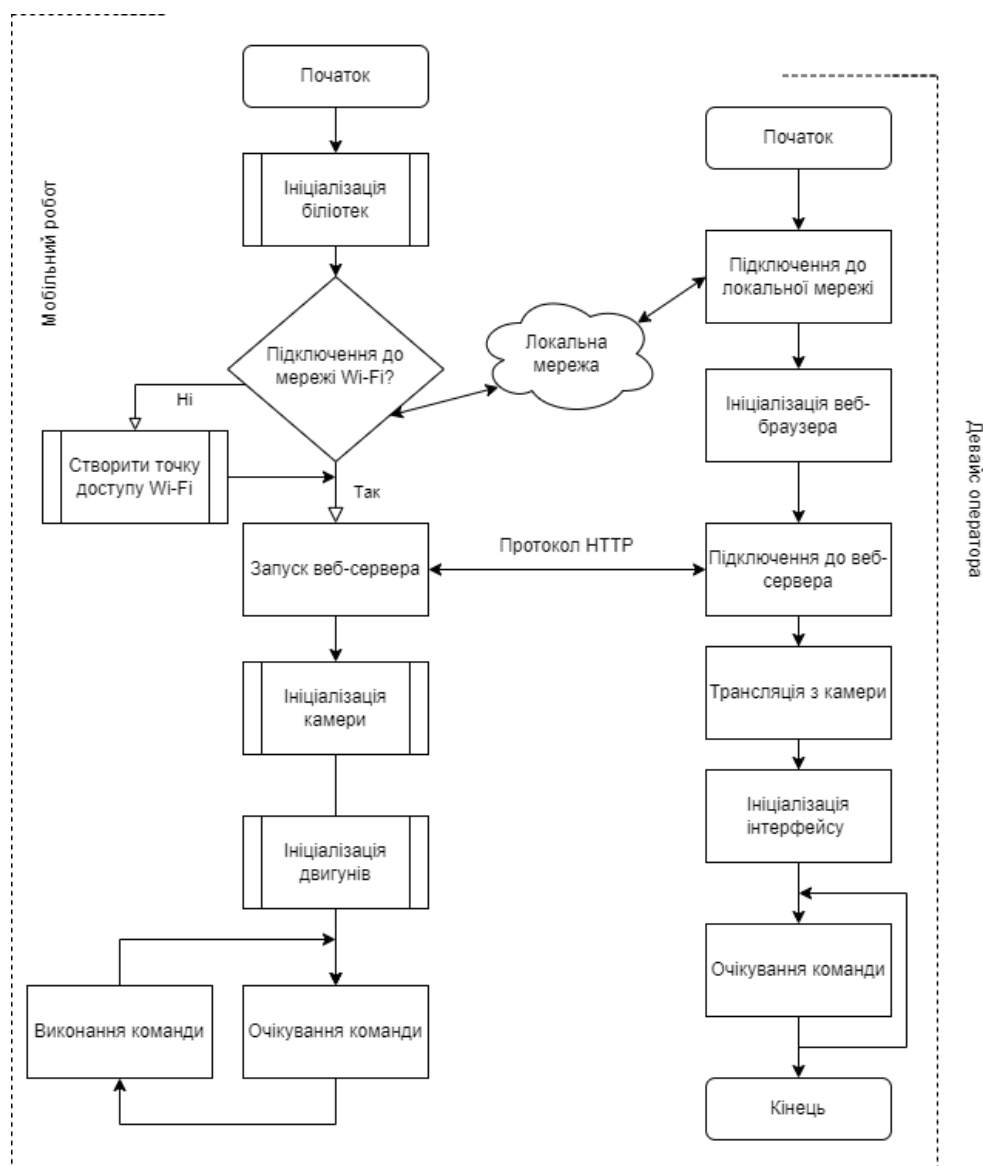


Рисунок 3.1 – Загальний алгоритм керування

Як бачимо на рисунку 3.1, спочатку лабораторний макет проводить ініціалізацію підключених бібліотек та доступу до мережі Wi-Fi, якщо точка не може бути виявлена то відбувається створення точки доступу або підключення до вже наявної локальної мережі. Паралельно з цим після підключення починає відбуватися процес на девайсі (це може бути як комп'ютер так і телефон) людина-оператора, у якого після підключення до мережі починає ініціалізація веб-браузера. Після запуску веб-сервера та підключення до нього оператора, відбувається ініціалізація основних модулів таких як камера та мотори. Наступним етапом запускається онлайн трансляція

з модуля відеокамери, яка відображається на інтерфейсі у оператора. Після чого за допомогою інтерфейсу оператор може керувати переміщенням робота в просторі для виконання необхідних цілей і завдань [32].

3.3 Розробка алгоритму керування мобільним роботом

Розглянемо більш детально безпосередньо алгоритм керування переміщенням мобільного робота (MP). Основною метою розробки алгоритму керування є спрощення у переміщенні, для максимальної ефективності у використанні мобільного робота для виконання поставленої мети.

Алгоритм керування буде реалізовано за допомогою відповідних кнопок руху, позначки яких наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення кнопок на інтерфейсі

Назва кнопки	Опис дії кнопки
Forward	Рух вперед
Backward	Рух назад
TurnRight	Виконання танкового повороту праворуч, права гусеня рухається назад, ліва вперед
TurnLeft	Виконання танкового повороту ліворуч, ліва гусеня рухається назад, права вперед
Stop	Зупинка на місці
LeftSlightUp	Рух лівої гусені вперед
RightSlightUp	Рух правої гусені вперед
RightSlightDown	Рух лівої гусені назад
LeftSlightDown	Рух правої гусені назад

Розглядається робота мобільного робота (МР) в приміщенні, план якого заздалегідь невідомий. У приміщенні можуть бути як і статичні перешкоди (стіни, столи, стільці, обломки тощо), так і рухливі (люди, тварини тощо). Мобільний робот (МР) у цьому випадку оснащений радарним датчиком присутності людини.

Алгоритм керування мобільним роботом (МР) можна побачити на рисунку 3.2.

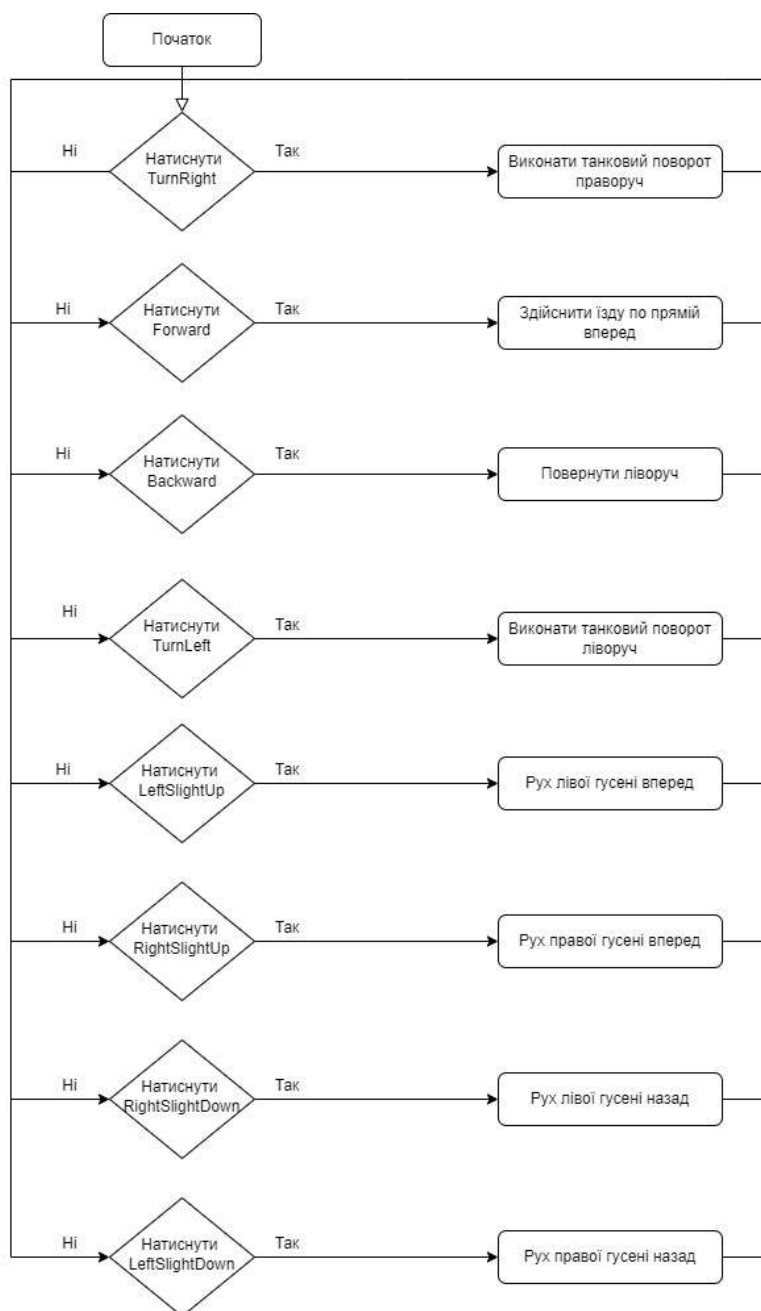


Рисунок 3.2 – Алгоритм керування

Лабораторний макет буде працювати на місці надзвичайної пригоди з пошуково рятувальною групою, тому керування роботом буде здійснюватися за віддалено за допомогою людини-оператора. Тому керування рухом буде здійснюватися тільки в режимі ручного управління, додаткові датчики не буде враховано в алгоритмі для орієнтації у просторі.

Радари здатні вимірювати швидкість або відстань, а завдяки обробці сигналу можливий вимір багатьох інших параметрів, таких як детектування руху, виявлення присутності людей, вимірювання частоти дихання і серцебиття, детектування падінь і т.д. [33].

Оскільки основним завданням є в режимі реального часу визначати положення мобільного робота в системі координат, пов'язаної з приміщенням (завдання локалізації), наявність цього сенсора не вирішує це завдання, але наявність цього сенсора є основним засобом для пошуку людей у надзвичайних ситуаціях.

3.4 Висновки до третього розділу

В даному розділі було проаналізовано декілька середовищ розробки. Для подальшої роботи було обрано Arduino IDE, яка має весь необхідний функціонал. Після чого було розроблено загальний алгоритм керування, на базі якого було розроблено алгоритм керування переміщення лабораторного макету в просторі також було обрано та описано значення кнопок для майбутнього інтерфейсу.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Розробка інтерфейсу

Людино-машинний інтерфейс (НМІ) є ключовим елементом в системах, де взаємодія між людиною та машиною є необхідною. Його завданням є забезпечення точки зв'язку та взаємодії між користувачем та машиною. Дизайн ефективного НМІ є важливим для зручної та ефективної роботи. Проектування людино-машинного інтерфейсу включає в себе розробку оптимального робочого оточення, що охоплює елементи, такі як крісла, столи або пульт управління. Також враховується розташування приладів і засобів управління для забезпечення зручності та ефективності користувача. Крім того, увага приділяється освітленню робочого простору та, можливо, регулюванню мікроклімату, щоб створити оптимальні умови для комфортної та продуктивної роботи [34].

Оскільки наш лабораторний макет має ручне керування за допомогою людини-оператора, розроблений інтерфейс має бути зручним та зрозумілим. Програмою керування можливо буде користуватися як з комп'ютера так і з іншого девайсу на якому є мережа інтернет. На екрані користувача має бути виведено пряму трансляцію з відеокамери, показники радарного датчика присутності та панель з кнопок для керування переміщенням робота.

Приклад фрагмента коду для виведення прямої трансляції з відеокамери можна побачити на рис. 4.1, також на рисунку 4.2 можна побачити код для кнопки, якою можна запустити трансляцію.

```

964 void startCameraServer()
965 {
966     httpd_config_t config = HTTPD_DEFAULT_CONFIG();
967
968     httpd_uri_t index_uri = {
969         .uri      = "/",
970         .method   = HTTP_GET,
971         .handler  = index_handler,
972         .user_ctx = NULL
973     };
974
975     httpd_uri_t status_uri = {
976         .uri      = "/status",
977         .method   = HTTP_GET,
978         .handler  = status_handler,
979         .user_ctx = NULL
980     };
981
982     httpd_uri_t cmd_uri = {
983         .uri      = "/control",
984         .method   = HTTP_GET,
985         .handler  = cmd_handler,
986         .user_ctx = NULL
987     };
988
989     httpd_uri_t capture_uri = {
990         .uri      = "/capture",
991         .method   = HTTP_GET,
992         .handler  = capture_handler,
993         .user_ctx = NULL
994     };
995
996     httpd_uri_t stream_uri = {
997         .uri      = "/stream",
998         .method   = HTTP_GET,
999         .handler  = stream_handler,
1000        .user_ctx = NULL

```

Рисунок 4.1 – Код запуску трансляції

```

<td align="center"><button id="toggle-stream">Start Stream</button></td>
</tr>

```

Рисунок 4.2 – Код кнопки для запуску

Оскільки камера є основним модулем, який допомагає оператору орієнтуватися в просторі. Було прийнято рішення для більшої зручності додати такі налаштування для камери:

- дозвіл (Resolution);
- швидкість (Speed);
- якість (Quality);
- спалах (Flash).

Ми маємо пряму трансляцію в браузері на яку має орієнтуватися оператор мобільного робота (МР). При знаходженні в просторі не відомого об'єкту, оператор може зробити фото трансляції в браузері, для подальшого вивчення та аналізу об'єкту.

Приклад коду для кнопки можна побачити на рис. 4.3.

```
<tr>
  <td align="center"><button id="get-still">Photo</button></td>
</tr>
```

Рисунок 4.3 – Код кнопки «Photo»

Також для керування трансляцією передбачені кнопки «Restart» та «Start Stream», які дозволяють перезавантажити мікроконтролер або запустити трансляцію. Приклад розробленого інтерфейсу можна побачити на рисунку 4.4.

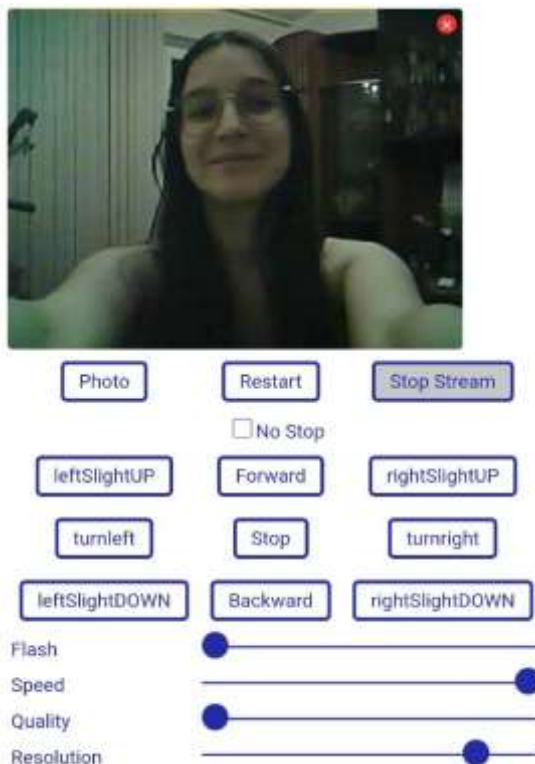


Рисунок 4.4 – Розроблений інтерфейс

4.2 Прошивка і налаштування модуля ESP32-Cam

Модуль ESP32-CAM, включає плату ESP32, а також камеру OV2640. Модуль є досить-таки популярним рішенням, тому має велику кількість документації та відкритих джерел з інформацією.

Почнемо з встановлення середовища розробки Arduino IDE, для якого потрібно додатково інтегрувати підтримку нашого модуля ESP32 за допомогою налаштувань.

Після завантаження середовища слід обрати в верхньому меню вказані параметри: "Інструменти" - "Менеджер плати" - вказати назву ESP32-CAM та встановити запропонований драйвер.

Приклад налаштування зображений на рисунку 4.5 та 4.6.

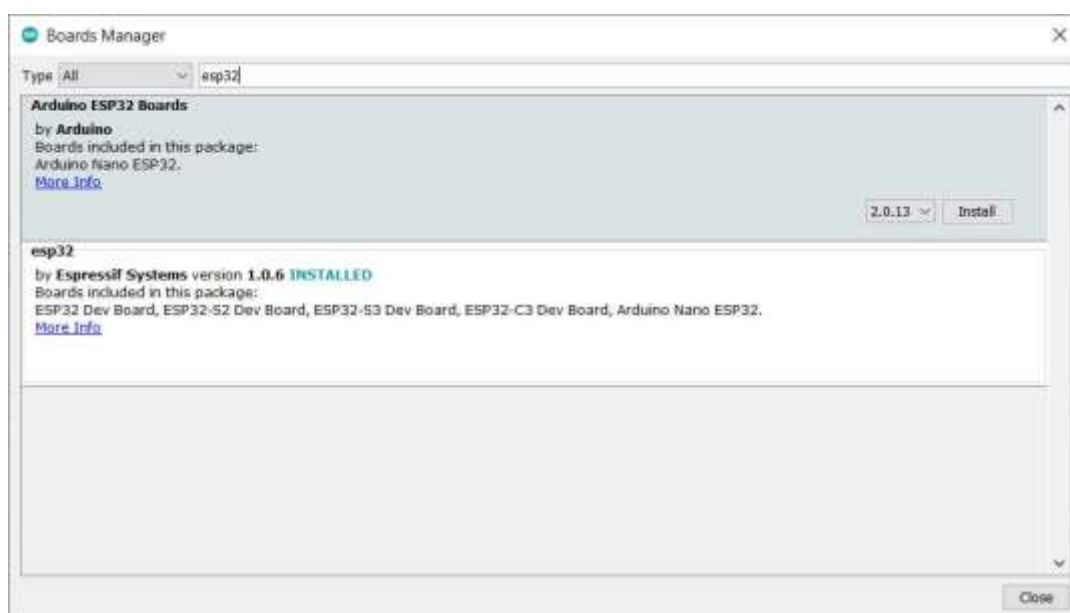


Рисунок 4.5 – Налаштування середовища

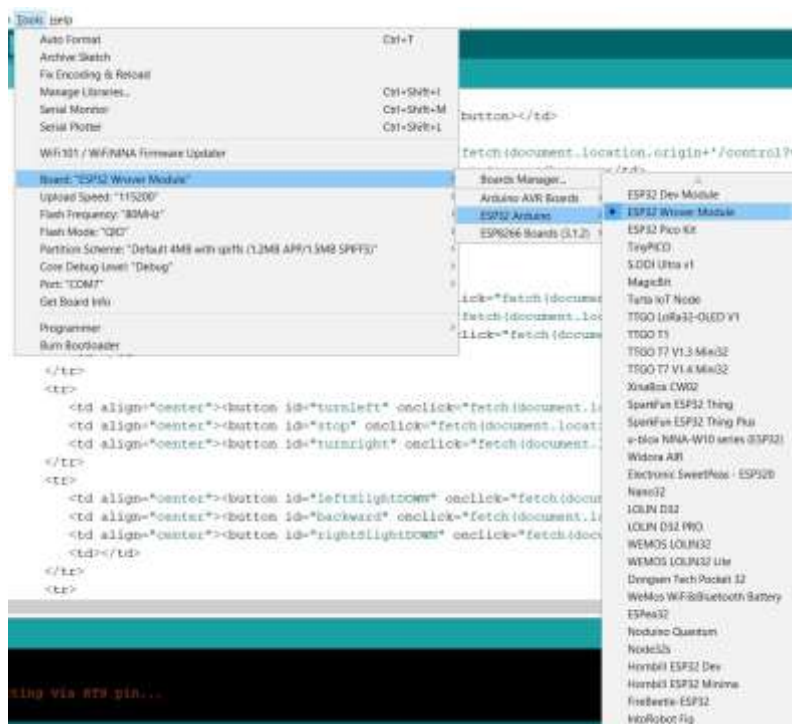


Рисунок 4.6 – Налаштування середовища Arduino IDE

Після встановлення необхідного драйверу, плата автоматично з'явиться для вибору в переліку на панелі «Інструменти». Обираємо її.

Для початку роботи з програмою та встановлення зв'язку з розробницьким середовищем ми підключимо ESP32-CAM до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Для цього ми використаємо провід, який ми підключимо один кінець до плати ESP32-CAM, а інший – до USB-порту комп'ютера. Потім, у програмі Arduino IDE, перейдемо до вкладки "Інструменти" і оберемо з переліку "Порт", оберемо доступний COM-порт для плати (якщо такий порт є, оберемо його).

Якщо у переліку не порт не зазначений потрібним порт, потрібно завантажити додаткові драйвера для цього порту.

Після створення тестової версії програмного забезпечення, натискайте кнопку "Завантажити" для передачі цієї прошивки на плату ESP32-CAM та виконання перевірки його роботи. Після успішної перевірки можна переходити до написання основного коду.

Після того як буде завантажено основний скетч коду в середовище

Arduino IDE потрібно впевнитися в тому, що він справним та працює. На рисунку 4.7 можна бачити моніторинг порту при отриманні IP – адреси.



```

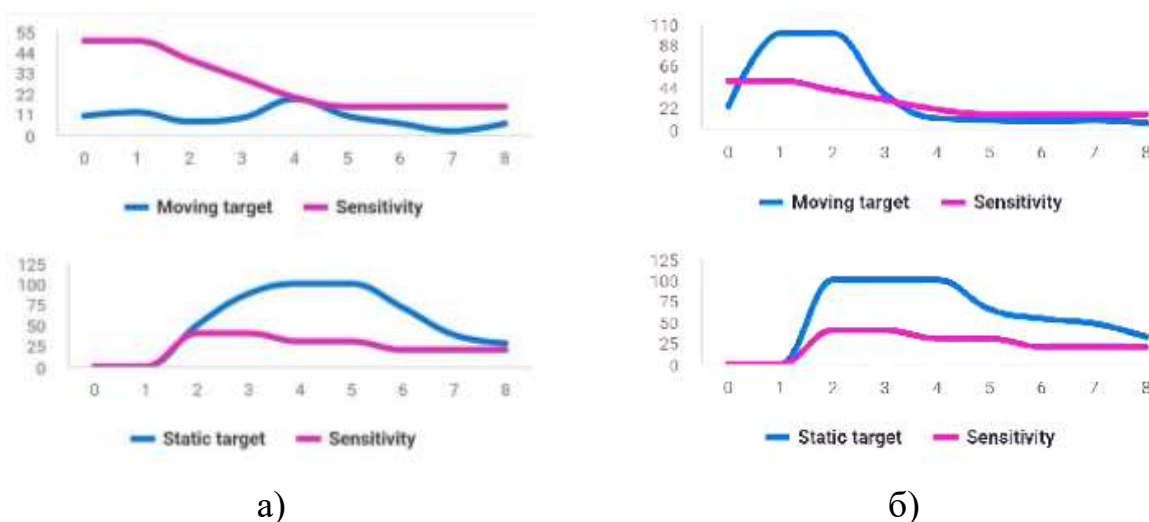
02:17:32.542 -> [D][WiFiGeneric.cpp:374] _eventCallback(): Event: 2 - STA_START
02:17:37.737 -> [D][WiFiGeneric.cpp:374] _eventCallback(): Event: 5 - STA_DISCONNECTED
02:17:37.737 -> [W][WiFiGeneric.cpp:391] _eventCallback(): Reason: 15 - AWAY_HANDSHAKE_T1
02:17:43.545 -> Starting web server on port: '80'
02:17:43.545 -> Starting stream server on port: '81'
02:17:43.545 ->
02:17:43.545 -> WiFi disconnected
02:17:43.545 -> Self-hosted camera ready! Use 'http://192.168.4.1' to connect
02:17:43.545 -> [D][WiFiGeneric.cpp:374] _eventCallback(): Event: 14 - AP_START
02:17:45.043 -> BSSID: 0 dBm
02:17:45.043 -> 0
02:17:46.026 -> BSSID: 0 dBm
02:17:46.026 -> 0
02:17:47.057 -> BSSID: 0 dBm
02:17:47.057 -> 0
  
```

Рисунок 4.7 – Моніторинг порту при отриманні IP – адреси

4.3 Постановка експерименту та аналіз отриманих результатів

Перевіримо працездатність лабораторного макета за допомогою експерименту. Ввімкнімо живлення лабораторного макета, та під’єднаємо до мережі Wi-Fi, після цього знімемо показники роботи радарного датчика присутності людини на відстані 1 м, 2 м та 3 м у закритому приміщенні. На кожній контрольній точці зафіксуємо два результати (у сталому положенні та у русі) показників датчика. Веб-сторінку з для отримання результатів завантажимо на мобільний телефон. Під час експерименту лабораторний макет знаходиться в статичному положенні.

Отриманні показники можна побачити на рисунках 4.8.



а)

б)

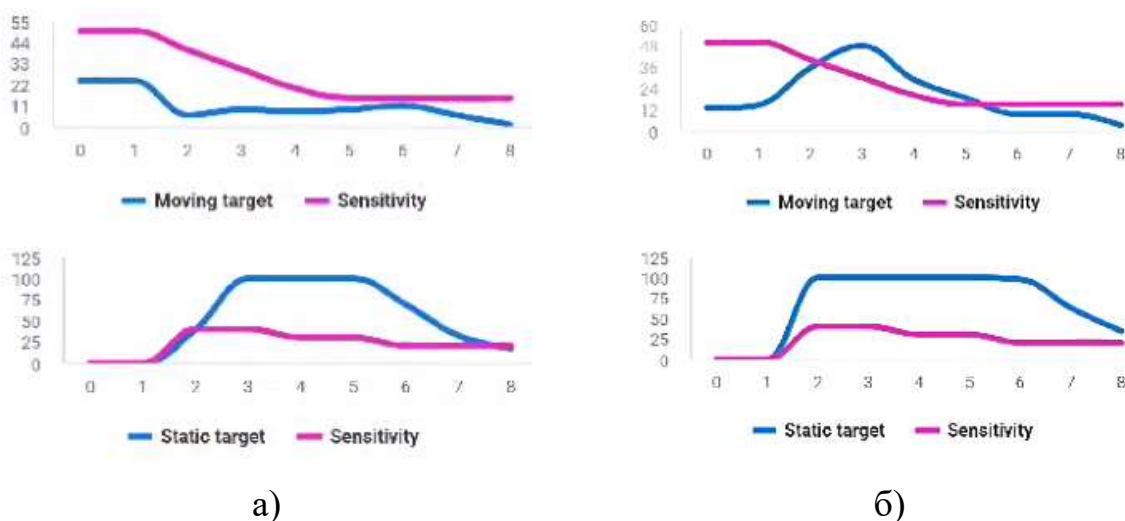
а) статичне положення;

б) рухливе положення

Рисунок 4.8 – Показники на відстані 1 м

Як можна побачити на графіку зі сталим положенням, сенсор зафіксував положення людини, також не дивлячись на суцільну нерухомість, сенсор зафіксував не значний рух, що свідчить про дихання людини. Також на другому графіку можна побачити зафіксований рух в більшій амплітуді.

Розглянемо показники на відстані 2 м на рисунку 4.9.



а)

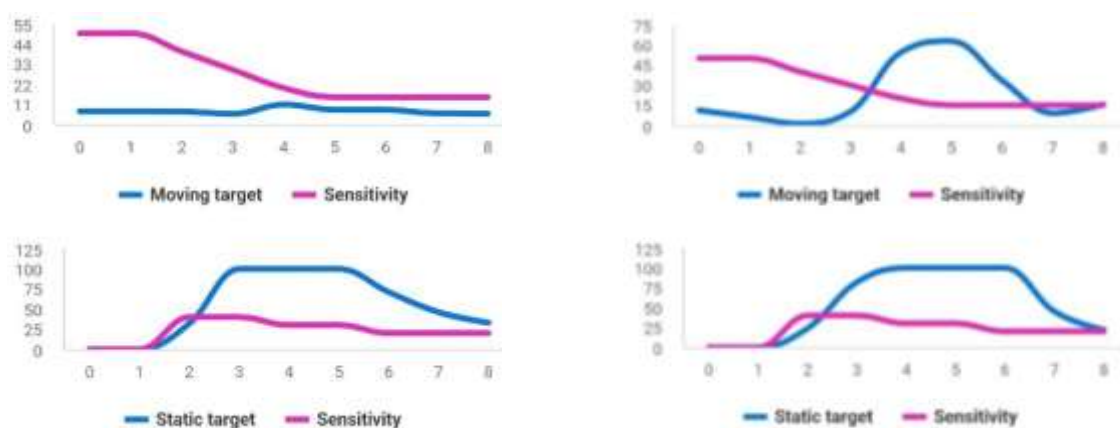
б)

а) статичне положення;

б) рухливе положення

Рисунок 4.9 – Показники на відстані 2 м положення

На відстані 2 м, також було зафіксовано статичні та рухомі показники. Зафіксовані показники на відстані 3 м, можна побачити на рисунку 4.10.



а)

б)

а) статичне положення;

б) рухливе положення

Рисунок 4.10 – Показники на відстані 3 м

Як можна побачити на всіх графіках, сенсор абсолютно чітко фіксує знаходження людини та її стан. Також було проведено експеримент, метою якого було виявлення датчиком людини, яка знаходиться за різними перешкодами у статичному положенні. Для цього було обрано наступні перешкоди:

- відріз щільної тканини;
- картон;
- стіна з цегли.

Результати експерименту можна побачити на рисунку 4.11.

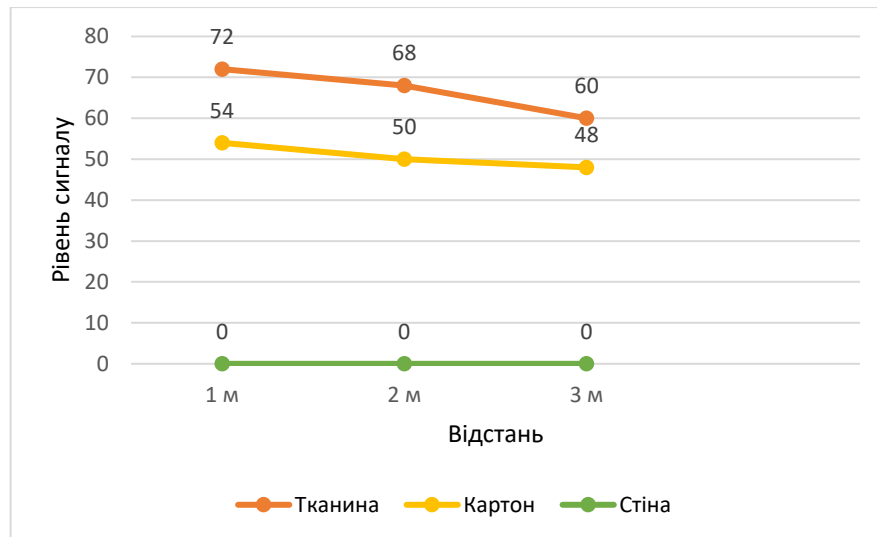


Рисунок 4.11 – Графік отриманих результатів експерименту з перешкодами

З показників датчику були взяті пікові значення для побудови графіку. З чого можна зробити висновок, що чим більш товстіша перешкода та більша відстань, сенсор гірше реагує на наявність людини.

4.4 Розрахунок освітленості приміщення

При складанні лабораторного макета потрібно хороше освітлення робочого місця, оскільки світло впливає стан вищих психічних функцій і фізіологічні процеси в організмі.

Правильно виконана система висвітлення підвищує продуктивність праці від 10% до 20%, зменшує брак на 20%, знижує кількість нещасних випадків на 30%.

Відчуття світла при дії на око людини викликає електромагнітна хвиля так званого оптичного діапазону. Область оптичних електромагнітних випромінювань розташована між областю

рентгенівських випромінювань та областю радіовипромінювань. Видима частина оптичних випромінювань лежить у діапазоні довжин хвиль від 380 до 770 нм; з одного боку, до неї примикає область ультрафіолетових, а з іншого – інфрачервоних випромінювань.

Для розрахунку необхідного рівня освітленості робочого місця беруть формулу з великою кількістю змінних:

$$N = \frac{ESK_z z}{\Phi \eta}, \quad (4.10)$$

де N – кількість джерел світла;

E – норма освітленості;

S – площа робочої поверхні;

K_z – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення (обидва залежить від виду лампочки, ступеня забруднення приміщення);

Φ – світловий потік 1 джерела у Люменах (характеристика вказується на упаковці);

η – коефіцієнт використання світлового потоку (враховує висоту стін, площу об'єкта, тип світильника, на якій висоті він буде встановлений, колір покриття стелі, стін, підлоги).

Зробимо зразковий розрахунок для робочого місця площею 4,5 кв. Робоче місце знаходиться в приміщенні довжиною 10, шириною 5 метрів та висота стелі – 3 м. Колір стін та стелі білий, підлогове покриття світле.

Для освітлення робочого місця будуть встановлені точкові світильники зі світлодіодними лампами, яскравість яких становить 850 Лм. Відповідно до вимог, норма освітленості складає 300 люксів. Інші значення є.

Розрахуємо кількість точкових світильників необхідну для робочого місця

$$\frac{300 \cdot 4,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{850 \cdot 0,51} = 5,14 \text{ шт.} \quad (4.2)$$

Відповідно до наших розрахунків, необхідна кількість світильників для достатньої освітленості робочого місця, становить 6 точкових світильників [35].

4.5 Висновки до четвертого розділу

В четвертому розділі було реалізовано інтерфейс для керування переміщенням лабораторного макету. Прошито та налаштовано модуль мікроконтролера ESP32-CAM. Відео трансляцію було виведено на екран інтерфейсу користувача та розроблено кнопки для налаштування параметрів відображення відео. Для перевірки задач дослідження було проведено експеримент. Експеримент проводився за допомогою радарного датчика знаходження людини, було зафіксовано показники датчика на відстані 1 м, 2 м та 3 м. Показники отримано в статичному положенні та у русі. Також отримано показники на різній відстані за різними перешкодами (щільна тканина, картон та стіна). Виходячи з результатів експерименту сенсор швидко та чітко розпізнає людину у статичному положенні та русі. Виходячи з отриманих результатів що до перешкод, радарний сенсор працює тільки за умови не щільною перешкоди, чим більш товста та щільна перешкода тим менше сенсор має змоги розпізнати людину.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі було проведено аналіз сучасних пошуково-рятувальних роботів, а саме безпосередньо аналіз різних моделей пошуково-рятувальних роботів. Виходячи з чого було проведено огляд та аналіз вимог до пошуково-рятувальних роботів та проведено аналіз аналогічних рішень. Після детального аналізу було визначено актуальність теми моєї роботи та сформовано основні задачі дослідження.

Вже в другому розділі було розроблено системи керування. На початку було проведено аналіз ринку апаратних модулів та обрано найбільш оптимальних рішення для виконання мети. Було розроблену структуру системи керування, після чого за допомогою теорії автоматичного управління було перевірено систему на стійкість. Також розроблену систему підключення для подальшої збірки лабораторного макету. Лабораторний макет було зібрано за допомогою платформи з гусеневою стрічкою та обраних апаратних модулів.

Далі було проведено вибір середовища розробки, серед декількох варіантів було обрано Arduino IDE. Після чого було розроблено загальний алгоритм керування, та розроблено алгоритм керування переміщенням лабораторним макетом в просторі.

В наступному розділі було розроблено інтерфейс веб-сторінки для керування переміщенням лабораторного макета мобільного робота та прошиито і налаштовано модуль ESP32-Cam.

Після цього лабораторним макет був повністю справний та готовий до проведення експерименту. В ході проведення експерименту було зафіксовано та проаналізовано отриманні данні з радарного датчика присутності людини. Експеримент було проведено на трьох контрольних точках, що відповідають відстані 1 м, 2 м та 3 м. Сенсор однаково виявив находження людини у приміщенні як у статичному положенні так і у русі. Після чого на кожній контрольній точці було виставлено перешкоду різної щільності. Експеримент

виявив, що сенсор не реагує на людину за цегляною стіною, а також виходячи з отриманих результатів було виявлено, що чим менша щільність у перешкоди ти краще сенсор може визначити нахождение за нею людини.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкорвайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.

2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.

3. Holovina Vladyslava Analysis of Ground Search and Rescue Robots/ Vladyslava Holovina // «Analysis of Ground Search and Rescue Robots» Manufacturing & Mechatronic Systems 2022: Proceedings of VIst International Conference, Kharkiv, October 21-22 2022. –Thesises of Reports / [Ed.I.Sh. Nevlyudov (chief editor).] Kharkiv.: [electronic edition], 2022. – P. 81-84.

4. 12 Examples of Rescue Robots You Should Know // Сайт Builtin, 15 листопада 2022р. URL: <https://builtin.com/robotics/rescue-robots> (дата звернення: 15.09.2023).

5. Rescue Robot // Сайт student.cs.uwaterloo.ca, 30 грудня 2021р. URL: <https://student.cs.uwaterloo.ca/~cs492/papers/trial.pdf%204> (дата звернення: 16.09.2023).

6. Thermite // Сайт Howeandhowe, 30 грудня 2021р. URL: <https://www.howeandhowe.com/civil/thermite> (дата звернення: 20.09.2023).

7. Atlas // Сайт Bostondynamics.com, 2023р. URL: <https://bostondynamics.com/atlas/> (дата звернення: 26.09.2023).

8. Jueying X20 Robot Dog Hazard Detection Rescue Solution // Сайт Wevolver.com, 11 квітня 2023р. URL: <https://www.wevolver.com/article/jueying-x20-robot-dog-hazard-detection-rescue-solution> (дата звернення: 29.09.2023).

9. Yakupcan Baldemir. Design and Development of a Mobile Robot for Search and Rescue Operation in Debris / Yakupcan Baldemir, Soner İyigün, Oruj Musayev, Cenk Ulu. // International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers 8. –2020. –Vol. 08.

10. N. Ruangpayoongsak, H. Roth, Jan Chudoba. (2005). Mobile robots for search and rescue. Safety, Security and Rescue Robotics, Workshop, 2005 IEEE International, DOI:10.1109/SSRR.2005.1501265.

11. Irobot to the rescue // Сайт news.mit.edu, 2010р. URL: <https://news.mit.edu/2011/irobot-to-the-rescue%2010> (дата звернення: 03.10.2023).

12. Holovina Vladyslava Analysis of Ground Search and Rescue Robots/ Vladyslava Holovina // «Analysis of Ground Search and Rescue Robots» Manufacturing & Mechatronic Systems 2022: Proceedings of VIst International Conference, Kharkiv, October 21-22 2022. – Theses of Reports / [Ed.I.Sh. Nevlyudov (chief editor).] Kharkiv.: [electronic edition], 2022. – P. 81-84.

13. Japanese rescue bot disaster survivors video// Сайт phys.org, 01 червня 2010р. URL: <https://phys.org/news/2010-07-japanese-rescue-bot-disaster-survivors-video.html%2012/> (дата звернення: 05.10.2023).

14. Portland Air National Guard Base puts robot dog to work// Сайт www.nationalguard.mil, 15 квітня 2022р. URL: <https://www.nationalguard.mil/News/Article/3001201/portland-air-national-guard-base-puts-robot-dog-to-work/> (дата звернення: 07.10.2023).

15. Search and rescue robots team up for tricky tasks// Сайт www.newscientist.com, 2 березня 2007р. URL: <https://www.newscientist.com/article/dn11301-search-and-rescue-robots-team-up-for-tricky-tasks/> (дата звернення: 08.10.2023).

16. Arrabales Moreno, Raúl, Ledezma Espino, Agapito, Sanchis de Miguel, Araceli. (2009). A Cognitive Approach to Multimodal Attention. Journal of Physical Agents (JoPha), 2009, Vol. 3, No. 1, DOI: 10.14198/JoPha.2009.3.1.07

17. Робототехника // Сайт Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ru/cat9-robototehnika> (дата звернення: 01.12.2024).

18. Mini TP100 Aluminium Legierung Panzer Roboter Chassis Raupe Plattform Mit 12 v 350 rpm Motor- DIY Arduino Unmontiert Bausatz // Сайт <https://deu.grandado.com/>. URL: <https://deu.grandado.com/products/mini-tp100-aluminium-legierung-tank-roboter-chassis-raupe-plattform-mit-12-v-350-rpm-motor-diy-arduino-unmontiert-kit> (дата звернення: 03.01.2024).

19. Засоби розробки, програматори // Сайт Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/cat12-sredstva-razrobotki-programmatori> (дата звернення: 03.01.2024).

20. Модуль ESP32-CAM з камерою OV2640, WiFi і Bluetooth // RoboStore, 2022. URL: <https://www.robostore.com.ua/modul-esp32-cam-bluetoothwi-fi-esp32-s-kameroju-ov2640/> (дані звернення : 01.05.2022).

21. Модуль драйвер двигунів L298N // Сайт Robostore.com. URL: <https://www.robostore.com.ua/ua/detali-i-komplektuyushie-dlya-robototehniki/drajvera-motorov-i-shagovyh-dvigatlej/drajver-dvigatlej-l298n/> (дата звернення: 03.01.2024).

22. Драйвер двигунів MX1508// Сайт Robostore.com. URL: <https://www.robostore.com.ua/ua/detali-i-komplektuyushie-dlya-robototehniki/drajvera-motorov-i-shagovyh-dvigatlej/drajver-dvigatlej-l298n/> (дата звернення: 03.01.2024).

23. USB-DC-DC-StepDown-5V-1A// Сайт Kosmodrom.ua. URL: <https://www.kosmodrom.ua/miniatyurniy-modul-zhivlennya/usb-dc-dc-stepdown-5v-1a-2.html> (дата звернення: 03.01.2024).

24. Модуль контролю заряду акумулятора ХН-М602// Сайт moto-Scooter.prom.ua. URL: <https://moto-scooter.prom.ua/ua/p1084890120-modul-kontrolya-zaryada.html> (дата звернення: 05.01.2024).

25. 18650 3S 10A Battery Protection Board // Сайт Kosmodrom.ua. URL: <https://www.kosmodrom.ua/modul-kontrolyu-zaryadu-akumulyatora/18650-3s-10a-battery-protection-board.html> (дата звернення: 05.01.2024).
26. LIR18650 3000mah // Сайт Kosmodrom.ua. URL: <https://www.kosmodrom.ua/akumulyator-litiyeviy/lir18650-3000mah.html> (дата звернення: 05.01.2024).
27. Радарний датчик присутності людини HLK-LD2410B4 // Сайт Imrad.com.ua. URL: <https://imrad.com.ua/ua/radarnij-datchik-prisutnosti-lyudini-hlk-ld2410b#> (дата звернення: 05.01.2024).
28. Tzafestas, S.G. Mobile Robot Control and Navigation (2018), A Global Overview. J Intell Robot Syst 91, 35–58, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0805-9>.
29. Holovina Vladyslava Development Of Mobile Search And Rescue Robot Management System/ Vladyslava Holovina // «Development Of Mobile Search And Rescue Robot Management System» Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2023 Part 2 (Key infrastructure 2023) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2023.
30. A. B. Pratomo and R. S. Perdana, "Arduviz, a visual programming IDE for arduino," // 2017, International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE), Palembang, Indonesia, // pp. 1-6, DOI: 10.1109/ICODSE.2017.8285871.
31. K. Chochiang, K. Chaowanawatee, K. Silanon and T. Kliangsuwan, "Arduino Visual Programming,"// 2019, 23rd International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), Phuket, Thailand, // pp. 82-86, DOI: 10.1109/ICSEC47112.2019.8974710.
32. Невлюдов І.Ш. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi та мови Python 3.6) / І.Ш. Невлюдов,

А.О. Андрусевич, В.В. Євсєєв. Харків: ФОП Панов А.М., 2020. 264 с. ISBN 978-617-7859-56-6.

33. C. Will, P. Vaishnav, A. Chakraborty and A. Santra, "Human Target Detection, Tracking, and Classification Using 24-GHz FMCW Radar,"// IEEE Sensors Journal, // vol. 19, no. 17, pp. 7283-7299, DOI: 10.1109/JSEN.2019.2914365.

34. Khalid, M. S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I. S., Lyashenko, V., & Wahid, R. (2022). HMI Development Automation with GUI Elements for Object-Oriented Programming Languages Implementation. International Journal of Engineering Trends and Technology, 70.1, 139-145.

35. Охорона праці в офісі. Вимоги до робочого місця офісного працівника // Сайт ГСС. URL: <https://гс.ua/uk/охорона-праци-в-офиси-вимогі-до-робочого-місця-офісного-працівника/> (дата звернення: 03.01.2024).