

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютерних технологій  
(повна назва)

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

Перший (бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

Розробка системи автоматизації віддаленого управління мобільним роботом

(тема)

Виконав: студент 4 курсу, гр. АКТСІ-20-2  
Вернигора Д.С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація  
та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньої програми Системна інженерія

(код і повна назва напрямку)

Тип програми Освітньо-професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Демська Н.П.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту  
зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.

(прізвище,  
ініціали)

2024 р.

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет \_\_\_\_\_ АКТ \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ КІТАР \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 151 автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології \_\_\_\_\_  
Тип програми \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Системна інженерія \_\_\_\_\_

ЗАТВЕРЖДУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

«09» червня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_ Вернигорі Данилу Сергійовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Розробка системи автоматизації віддаленого управління мобільним роботом \_\_\_\_\_

Затверджена наказом по університету від \_\_\_\_\_ 03.06.2024 № 545 Ст \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 09.06.2024

3. Вхідні дані до роботи Об'єктом розробки є мобільний робот. Предмет розробки – система віддаленого керування мобільним роботом. Технічне забезпечення: IBM-сумісний персональний комп'ютер. Перелік використовуваних програмних засобів: ОС Microsoft Windows 10 та вище, Python 2.7.

4. Перелік питань, що потрібно розглянути у роботі проаналізувати предметну область, проаналізувати існуючі системи віддаленого керування; провести вибір технології для реалізації систем віддаленого керування; проаналізувати аналогічні рішення та постановити задачу; розробити архітектуру мобільного робота; розробити структурну схему мобільного робота; обрати електронні компоненти для побудови мобільного робота, розробити алгоритм роботи системи віддаленого керування мобільним роботом; розробити алгоритм та програму для мікроконтролера для віддаленого керування мобільним роботом.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint(\*.ppt) – 18с. формату А4.

6. Консультанти розділів роботи

| Найменування розділу | Консультант<br>(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 предметної області   | 22.04.2024                     | Виконано |
| 2. | Постановка задачі   | 02.05.2024                     | Виконано |
| 3. | Аналіз сучасного стану проблеми дистанційного керування мобільним роботом | 04.05.2024                     | Виконано |
| 4. | Розробка системи дистанційного керування мобільним роботом                | 17.05.2024                     | Виконано |
| 4. | Проведення експериментів  | 21.05.2024                     | Виконано |
| 6. | Оформлення пояснювальної записки  | 07.06.2024                     | Виконано |
| 7. | Нормоконтроль, рецензування   | 08.06.2024                     | Виконано |
| 8. | Допуск до захисту у зав. кафедри  |                                |          |

Дата видачі завдання 22.04.2024

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вернигора Д.С.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

доц. Демська Н.П.  
(посада, прізвище, ініціали)

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

"18" червня 2024 р

Handwritten signature in black ink, appearing to read 'D. S. Verhigora', written over a horizontal line.

Вернигора Д.С.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 83 с., 6 табл., 22 рис., 2 додатки, 17 джерел.

МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, INTERNET OF THINGS, ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ, RASPBERRY PI, PYTHON, LINUX, ЕКСПЕРИМЕНТ.

Об'єкт розробки – система віддаленого керування мобільним роботом.

Предмет розробки – керування мобільним роботом.

Мета роботи – розробка методу дистанційного керування мобільним роботом, що забезпечить стабільне виконання роботом заданих завдань у реальному часі з мінімальними затримками, високу точність і безпеку передачі даних, а також зручність використання для оператора.

Методи розробки – щоб досягти поставленої мети, необхідно виконати ряд наступних завдань:

- провести аналіз вже існуючих систем віддаленого керування мобільними роботами;
- виконати вибір методу зв'язку для реалізації системи дистанційного керування;
- розробити структурну схему та алгоритми роботи мобільного робота;
- розробити алгоритм та програму для виконання автоматизованої системи дистанційного керування мобільним роботом;
- провести експериментальні дослідження створеної системи дистанційного керування.

Результати виконаної розробки можна використовувати для модифікації вже існуючих систем автоматизації віддаленого управління мобільним роботом, для скорочення часу виконання різноманітних завдань людиною та

зменшення кількості помилок за рахунок людського фактору, підвищення рівня безпеки в небезпечних та шкідливих для життя умовах праці.

Розроблену систему автоматизації віддаленого керування мобільним роботом доцільно застосовувати для виконання вибухотехнічних робіт, а саме пошуку та утилізації вибухонебезпечних предметів, дослідження важкодоступних і небезпечних зон навколишнього середовища, проведення пошуково-рятувальних операцій.

## ABSTRACT

Explanatory note: 83 pp., 6 tables, 22 figures, 2 appendices, 17 sources.

MOBILE ROBOT, CONTROL SYSTEM, INTERNET OF THINGS, REMOTE CONTROL, RASPBERRY PI, PYTHON, LINUX, EXPERIMENT.

The object of development is a system of remote control of a mobile robot.

The subject of development is the control of a mobile robot.

The goal of the work is to develop a method of remote control of a mobile robot that will ensure stable performance of given tasks by the robot in real time with minimal delays, high accuracy and security of data transmission, as well as ease of use for the operator.

Development methods – to achieve the set goal, it is necessary to perform a number of the following tasks:

- analyze already existing systems of remote control of mobile robots;
- choose a technology for the implementation of a mobile robot remote control system;
- to develop a structural diagram and algorithms for the operation of a mobile robot;
- to develop an algorithm and program for the implementation of an automated system of remote control of a mobile robot;
- conduct experimental studies of the created remote control system.

The results of the completed development can be used to modify already existing systems of automation of remote control of a mobile robot, to reduce the time of performing various tasks by a person and reduce the number of errors due to the human factor, to increase the level of safety in dangerous and life-threatening working conditions.

The developed automation system for remote control of a mobile robot is advisable to use for carrying out explosive work, namely, the search and disposal of explosive objects, the study of hard-to-reach and dangerous areas of the environment, conducting search and rescue operations.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Перелік скорочень .....  | 11 |
| Вступ .....  | 12 |
| 1 Аналіз технічного завдання .....   | 14 |
| 1.1 Мобільний робот як об'єкт керування .....  | 14 |
| 1.2 Аналіз структури мобільних роботів .....   | 20 |
| 1.3 Аналіз і огляд сучасних методів дистанційного керування мобільним роботом .....                              | 21 |
| 1.4 Аналіз сучасного стану проблеми дистанційного керування мобільним роботом .....                              | 23 |
| 1.5 Організація систем дистанційного керування мобільними роботами на основі Internet of Things технологій ..... | 25 |
| 1.6 Вибір компонентів мобільного робота .....  | 27 |
| 2 Розробка системи дистанційного керування .....   | 32 |
| 2.1 Обґрунтування вибору організації системи дистанційного керування мобільним роботом .....                     | 32 |
| 2.2 Схема підключення компонентів мобільного робота .....  | 33 |
| 2.3 Схеми алгоритмів програми керування .....  | 34 |
| 2.4 Розробка програми керування мобільним роботом .....  | 38 |
| 2.5 Розробка клієнтської програми .....  | 41 |
| 2.6 Встановлення необхідних пакетів та налаштувань .....   | 45 |
| 3 Експериментальна частина .....   | 49 |
| 3.1 Планування проведення експериментів .....  | 49 |
| 3.2 Розрахунок часу автономної роботи системи .....  | 51 |
| 3.3 Тестування програмного забезпечення .....  | 52 |
| 3.4 Визначення вартості системи .....  | 55 |
| 3.5 Аналіз розробленої системи .....   | 56 |

|  |    |
|--|----|
| 4 Охорона праці .....                    | 58 |
| Висновки .....                           | 60 |
| Перелік джерел посилання .....           | 61 |
| Додаток А Код програми .....             | 63 |
| Додаток Б Демонстраційний матеріал ..... | 73 |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічними процесами;

ГШ – гусеничне шасі;

КД – кроковий двигун;

КР – колісний робот;

МР – мобільний робот;

НДР – науково-дослідна робота;

ОС – операційна система;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПК – персональний комп'ютер;

РТК – робототехнічний комплекс;

СК – система керування;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

IoT – Internet of Things;

RPi 3 – Raspberry Pi 3.

## ВСТУП

На сьогоднішній день, у світі зростає зацікавленість у розвитку автономних систем, зокрема мобільних роботів, які здатні виконувати різноманітні завдання у віддалених або небезпечних середовищах.

Застосування системи дистанційного керування у робототехніці є дуже актуальним для виконання завдань у різних галузях, і це визначається широким спектром переваг, а саме: забезпечення безпеки оператора при проведенні робіт у небезпечних умовах, таких як пошуково-рятувальні операції, вибухотехнічні роботи – пошук та утилізація вибухонебезпечних предметів, завдяки можливості віддаленого керування; ефективності і точності виконання поставлених задач.

Для виконання подібних завдань дуже важливими є такі параметри, як: точність і зручність керування, що дозволяють швидко виконувати будь-які маніпуляції; простий інтерфейс, який полегшує роботу з системою; час автономної роботи, що дозволяє працювати з нею тривалий час без підзарядки; дальність передавання команд мобільному роботу, яка забезпечує виконання завдань на безпечній відстані для гарантування захищеності людини; а також вартість системи як в цілому, так і її обслуговування.

Для зв'язку оператора з об'єктом керування можуть використовуватися різноманітні радіоканали, зокрема безпроводні технології передачі даних, такі як Bluetooth та Wi-Fi, що є частиною сукупності технологій Інтернету речей. Ці методи зв'язку є дуже поширеними, ефективними та економічно вигідними, що значно полегшує процес проектування та розробки систем дистанційного керування.

Потреба у подальшому підвищенні ефективності використання мобільних роботів зумовлює важливість завдань щодо вдосконалення систем їх дистанційного керування.

Об'єктом розробки є система віддаленого керування мобільним роботом.

Предметом розробки є керування мобільним роботом.

Мета роботи – розробка методу дистанційного керування мобільним роботом, що забезпечить стабільне виконання роботом заданих завдань у реальному часі з мінімальними затримками, високу точність і безпеку передачі даних, а також зручність використання для оператора.

Відповідно до обраної теми кваліфікаційної роботи, для виконання поставлених завдань, необхідно вирішити наступні питання:

- виконати аналіз існуючих систем віддаленого керування мобільними роботами;
- проаналізувати структуру мобільних роботів та визначитися з вибором шасі;
- обрати метод зв'язку між оператором та мобільним роботом;
- зробити вибір електронних компонентів для побудови моделі мобільного робота;
- розробити структурну схему та алгоритми роботи мобільного робота;
- розробити алгоритм та код програми для реалізації системи дистанційного керування;
- провести експериментальні дослідження створеної автоматизованої системи дистанційного керування;
- виконати аналіз результатів, отриманих у ході реалізації автоматизованої системи дистанційного керування мобільним роботом.

Оформлення пояснювальної записки виконано згідно з методичними рекомендаціями [1], та вимогами ДСТУ 3008:2015 [2].

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

## 1.1 Мобільний робот як об'єкт керування

Мобільний робот (МР) – це автономний або дистанційно керований пристрій, який здатний самостійно переміщатися у просторі і виконувати різноманітні задачі. Головними допоміжними інструментами у цьому є оснащення різноманітними сенсорами, датчиками та виконавчими механізмами, які дозволяють йому орієнтуватися в навколишньому середовищі, виконувати поставлені завдання та взаємодіяти з об'єктами [3].

За середовищем застосування, мобільні роботи поділяються на три класи, а саме:

- наземні роботи;
- літаючі роботи;
- морські роботи.

Найпоширенішим класом мобільних роботів є наземні, адже вони широко використовуються у різних галузях завдяки своїй простоті конструкції, високій швидкості та маневреності, а також відносно низькій вартості.

Наземні роботи, у свою чергу, поділяються на такі класи:

- колісні роботи;
- гусеничні;
- крокуючі.

Найпоширенішими та найпростішими видами конструкцій, як у виконанні, так і у програмуванні, є гусеничні та колісні роботи.

Гусеничні мобільні роботи (ГР) – це тип мобільних роботів, які використовують гусеничне шасі для переміщення у навколишньому середовищі. Вони здатні ефективно долати складні нерівності, трав'янисті і кам'янисті місцевості, тому що мають найкраще зчеплення з поверхнею, порівняно з іншими типами шасі [4].

Актуальним призначенням мобільних роботів на гусеничному шасі, у наш час, є виконання різноманітних бойових задач, таких як пошук та утилізація вибухонебезпечних предметів, розмінування територій. Вони повинні ефективно переміщатися по грубим поверхням та важкодоступним місцям, саме тому і розробляються, як гусеничні [3].

Колісні мобільні роботи (КР) – це тип мобільних роботів, які використовують платформу для пересування, яка, у свою чергу, може містити у собі одне, два, три, чотири або більше коліс. Найчастіше зустрічаються одно-, дво-, або чотириколісні роботи.

Головними перевагами даного типу роботів є висока швидкість і ефективність пересування, особливо на рівних поверхнях та простота конструкції та обслуговування.

Проте, кожен з наведених класів наземних роботів, має деякі недоліки. Наприклад, гусеничні роботи мають ускладнене використання при переміщеннях на рівних, гладких поверхнях, в той час, як колісні роботи, навпаки, гірше долають складні нерівності, адже мають менше зчеплення з поверхнею [5].

Розглянемо клас колісних роботів на прикладі вже існуючих рішень.

Arduino 2WD Bluetooth Mobile Robot є найпростішим представником триколісних роботів, де два колеса є направляючими і водночас керуючими завдяки їх незалежності один від одного, а третє колесо виконує опорну функцію. Цей автономний або дистанційно керований пристрій, використовує платформу Arduino для керування та технологію Bluetooth для комунікації.

Керування роботом здійснюється шляхом контролю кількості обертів кожного з ведучих коліс, що дозволяє здійснювати повороти або розвороти мобільної платформи. Проте, ця конструкція має певні недоліки, зокрема нестабільність напрямку руху через відсутність фіксації опорного колеса та зміщений центр мас, що може призводити до нахилання та перевертання на нерівних поверхнях [4].

На рисунку 1.1 зображено триколісний робот Arduino 2WD Bluetooth Mobile Robot.

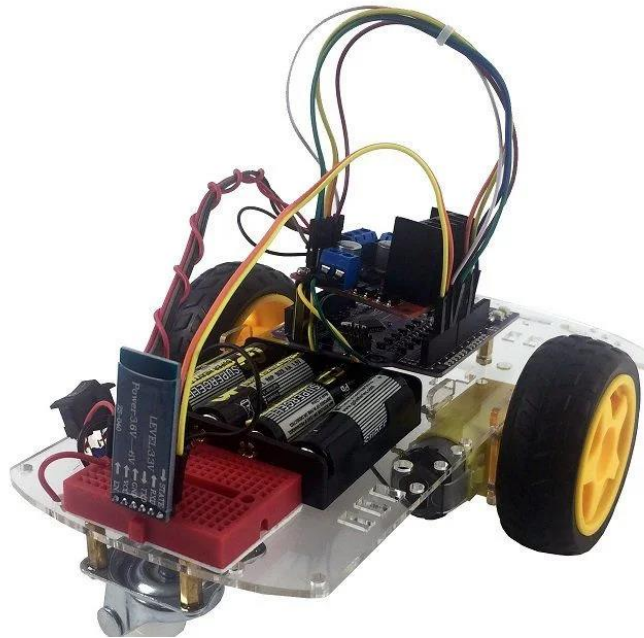
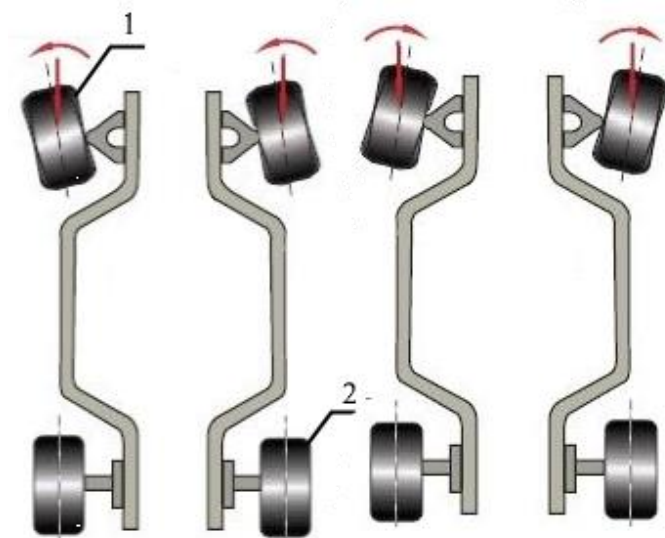


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд робота Arduino 2WD Bluetooth Mobile Robot

Узагальнений вигляд чотириколісного шасі з детальним принципом роботи направляючих коліс приведено на рисунку 1.2.



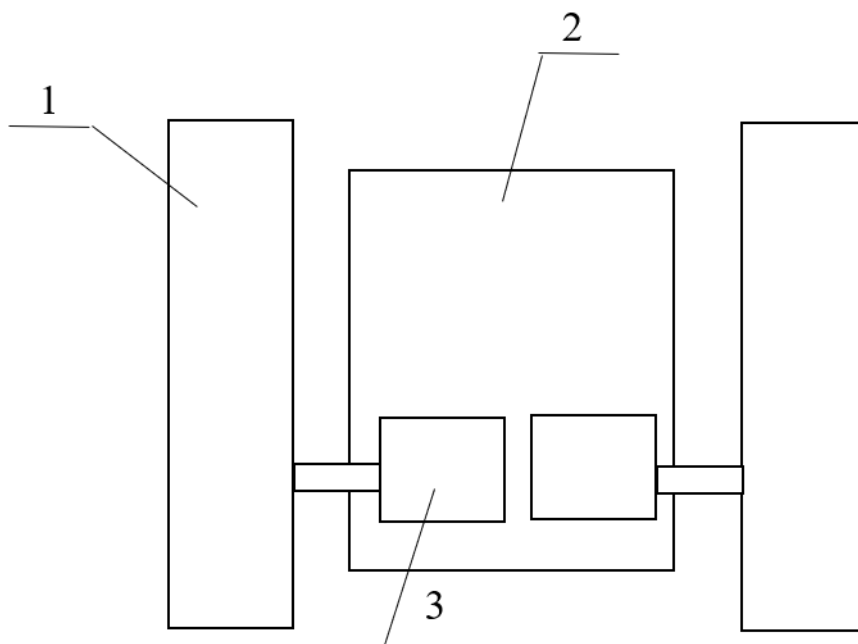
1 – направляюче колесо; 2 – ведуче колесо

Рисунок 1.2 – Загальний вигляд чотириколісного шасі

Ще одним представником колісних роботів виступають мобільні платформи на чотирьох колесах, два з яких є направляючими, а інші два – ведучими. Роботи на чотирьох колесах можуть легко маневрувати, повертати та змінювати напрямок руху завдяки незалежному керуванню кожним колесом.

У таких платформах за напрям руху робота відповідають направляючі, а за рух у цілому – ведучі колеса. Поворот всієї конструкції колісного робота здійснюється залежно від напрямку повороту ведучих коліс. Такі колісні платформи дуже поширені в повсякденному житті, наприклад, у легкових автомобілях та радіокерованих іграшкових машинках [6].

Розглянемо детальніше конструкції мобільних роботів на базі гусеничних шасі (ГШ). У такому типі шасі тягове зусилля створюється завдяки переміщенню гусеничних стрічок, що забезпечує рух конструкції. Загальний вигляд ГШ та ланки приведено на рисунках 1.3 та 1.4.



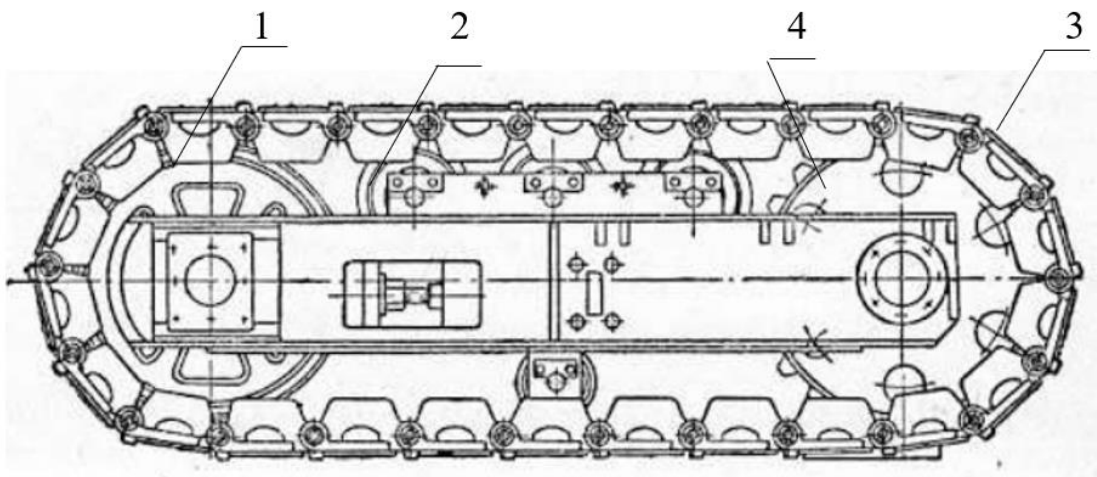
1 – гусеничне полотно; 2 – платформа; 3 – двигун

Рисунок 1.3 – Загальний вигляд гусеничного шасі

На відміну від колісних шасі, гусеничні шасі мають не менше чотирьох коліс. Перші два колеса виконують роль направляючих та керуючих

одночасно, аналогічно до того, як це реалізовано на триколісному шасі. Ще два колеса виступають як опорні та підтримують гусеничні стрічки у натягнутому стані [6]. Залежно від довжини платформи та діаметру направляючих та опорних коліс, гусеничні шасі можуть мати додаткові колеса, що запобігають провисанню гусениць.

Головною перевагою гусеничного типу рушія є велика прохідність, вони здатні долати нерівності та перешкоди на поверхні. Гусениці забезпечують велику площу контакту з поверхнею, що дозволяє розподіляти вагу робота і зменшити тиск на покриття, особливо це важливо на м'яких або руйнівних поверхнях [7]. Також, гусеничне полотно володіє еластичністю та гнучкістю, що дозволяє роботу рухатися під кутом до поверхні, що може бути корисним у важкодоступних умовах.



1 – опорне колесо; 2 – допоміжне колесо; 3 – гусенична стрічка;  
4 – направляюче колесо

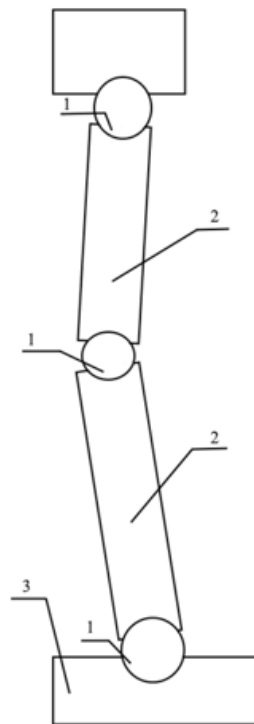
Рисунок 1.4 – Узагальнена схема гусеничної ланки

Однак, в даного типу шасі є і ряд недоліків. По-перше, у порівнянні з колісними рушіями, гусеничні системи зазвичай мають обмежену максимальну швидкість. По друге, управління гусеничним рушієм може вимагати більш складних систем керування через особливості механізму гусениць [7].

Останнім класом наземних роботів є крокуючі. Даний тип мобільних роботів здійснює переміщення за допомогою крокуючих механізмів. Перевагами даного типу рушія є висока точність руху, яку забезпечують крокуючі механізми. Також, завдяки кінематичній ланцюговій конструкції, крокуючі роботи є стабільними як під час руху, так і у стані спокою. Крокуючі роботи можуть похизуватися своєю високою прохідністю, порівняно з колісними або гусеничними роботами [8].

Проте, крокуючі платформи зазвичай рухаються повільніше, аніж колісні або гусеничні аналоги, що обмежує їх використання у деяких завданнях.

Крокуючі роботи зазвичай застосовуються в тих випадках, коли потрібна висока точність або стабільність руху, але вони можуть мати обмеження у швидкості та складності управління, що потребує уваги при їх використанні в конкретних завданнях [9]. На рисунку 1.5 приведена проста схема ноги крокуючого робота.



1 – кроковий двигун; 2 – ланка ноги; 3 – стопа

Рисунок 1.5 – Проста схема ноги крокуючого робота

## 1.2 Аналіз структури мобільних роботів

Структура мобільних роботів може включати різноманітні компоненти, призначені для виконання різних завдань та функцій. Основними компонентами структури мобільних роботів є [9]:

- шасі;
- платформа керування;
- джерело живлення;
- модулі і датчики;
- актуатори;
- системи комунікації;
- навігаційні системи;
- системи комп'ютерного зору.

Шасі є основою робота і визначає його конструкцію та здатність до руху. У ролі шасі може бути колісна платформа, гусенична платформа, нога крокуючої платформи або ж одночасна комбінація цих елементів. Воно повинно бути стійким та маневреним для ефективного переміщення мобільного робота в різних умовах [10].

Платформа керування включає у себе мікроконтролер, комп'ютер або іншу систему керування, яка відповідає за обробку даних з датчиків, прийом команд від оператора та керування рухом робота.

У ролі джерела живлення може виступати акумулятор, джерело енергії або будь-яке інше джерело живлення, яке живить всі електронні компоненти робота [11].

Датчики необхідні для виміру різних фізичних величини в навколишньому середовищі, таких як відстань, температура, освітленість, тиск, вологість тощо. Ці дані використовуються для навігації, виявлення перешкод, визначення місцезнаходження, аналізу навколишнього середовища та інших функцій.

Актуатори відповідають за рух МР і виконання різних завдань. Це можуть бути мотори, сервоприводи, пневматичні або гідравлічні системи.

Система комунікації – це система, що забезпечує зв'язок між роботом та оператором або іншими системами. Вона може включати в себе бездротові або провідні технології зв'язку для передачі даних [10].

Система навігації дозволяє МР визначати своє місцезнаходження та планувати маршрути руху. Вона може включати GPS, компаси, акселерометри, гіроскопи та інші сенсори.

### 1.3 Аналіз і огляд сучасних методів дистанційного керування мобільним роботом

Віддалене керування мобільним роботом може здійснюватися за допомогою таких технологій, як бездротове радіо-керування, бездротової мережі Wi-Fi, Bluetooth, мобільного та супутникового зв'язку.

Використання радіохвиль необхідне для передачі команд від пульта дистанційного керування до робота. Цей метод забезпечує достатню гнучкість та невисоку затримку, але має обмежений радіус дії [7].

Використання мобільної мережі дозволяє віддалено керувати роботом практично з будь-якого місця, де є зв'язок мобільного оператора.

Використання супутникової мережі для віддаленого керування роботом забезпечує покриття практично всієї планети, але може мати високу затримку та високі витрати.

Використання Інтернету для зв'язку між оператором та роботом через веб-інтерфейс або спеціалізовані додатки може бути досить універсальним, але потребує стабільного Інтернет-з'єднання [7].

Бездротова мережа Wi-Fi використовується для зв'язку між роботом та оператором. Wi-Fi може забезпечити великий радіус дії та високу швидкість передачі даних, але потребує доступу до мережі Wi-Fi в місці роботи. На

сьогоднішній день найпоширенішими режимами роботи є режими 5 покоління технології Wi-Fi. Режими роботи та швидкість приведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Режими роботи та швидкість передачі даних Wi-Fi

| Режим    | Швидкість   |
|----------|-------------|
| 802.11b  | 11 МБіт/с   |
| 802.11g  | 54 МБіт/с   |
| 802.11n  | 54 МБіт/с   |
| 802.11ac | 600 МБіт/с  |
| 802.11ad | 6,77 ГБіт/с |

Для дистанційного керування мобільним роботом буде використовуватись мініатюрний Wi-Fi модуль на базі мікросхеми ESP8266 із вбудованим стеком протоколу TCP/IP та керуванням AT-командами [8]. Чіп створений для використання в розумних розетках, mesh-мережах, IP-камерах, бездротових сенсорах, електроніці, що носить, і так далі.

Даний модуль має підтримку WiFi протоколів 802.11 b/g/n, Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP, вбудований стек TCP/IP, вбудований TR перемикач, balun, LNA, підсилювач потужності та відповідність мережі, вбудований PLL, регулятори, та система управління живленням. Вихідна потужність +20.5 дБм у режимі 802.11b (рисунок 1.6).

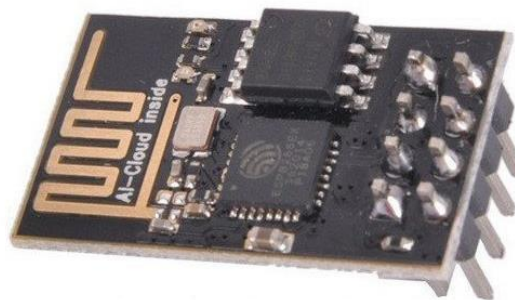


Рисунок 1.6 – Модуль Wi-Fi на базі мікросхеми ESP8266

Керування мобільним роботом за допомогою технології Bluetooth - це популярний спосіб забезпечення взаємодії між роботом і контролером. Дана технологія зазвичай має дуже низьку затримку, що дозволяє оператору швидко реагувати на дії робота, зв'язок легко налаштовується та працює на низьких рівнях потужності, що дає тривалішу роботу. Проте, такий метод має обмежений діапазон роботи, зазвичай до кількох десятків метрів від контролера. Також технологія Bluetooth досить чутлива до перешкод, таких як стіни або металеві конструкції, що можуть значно знизити дальність та якість зв'язку. У таблиці 1.2 приведено дальність зв'язку відповідно до версії специфікації технології Bluetooth [8].

Таблиця 1.2 – Дальність та швидкість передачі даних специфікацій Bluetooth

| Версія Bluetooth | Дальність зв'язку, м | Швидкість передачі даних |
|------------------|----------------------|--------------------------|
| 3.0              | 8 – 10               | 1 Мбіт/с                 |
| 4.0              | 10 – 20              | 2.1 Мбіт/с               |
| 4.1              | 15                   | 3 Мбіт/с                 |
| 4.2              | 11 – 30              | 24 Мбіт/с                |

Кожен з наведених вище методів віддаленого керування мобільними роботами має свої переваги та недоліки, вибір оптимального способу керування залежить від конкретних умов експлуатації, призначення робота та вимог до нього.

#### 1.4 Аналіз сучасного стану проблеми дистанційного керування мобільним роботом

Сучасність відзначається значними досягненнями в галузі дистанційного керування мобільними роботами, проте вона також виявляє

деякі проблеми, які потребують уваги та вирішення. Ось огляд та аналіз деяких ключових аспектів цієї проблеми.

Сучасні мобільні роботи використовують широкий спектр передових технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання, комп'ютерне зорове спостереження та автономна навігація. Ці технології дозволяють роботам ефективно працювати в різних умовах та виконувати різноманітні завдання [10].

Розвиток бездротових технологій, таких як Wi-Fi, Bluetooth, мобільні мережі (3G/4G/5G) та супутниковий зв'язок, дозволяє ефективно віддалено керувати мобільними роботами на великій відстані.

Незважаючи на досягнення у сфері бездротових технологій, деякі області можуть мати обмежене покриття мобільним зв'язком або Wi-Fi. Це може ускладнити або навіть унеможливити дистанційне керування роботом у таких регіонах.

Однією з ключових проблем є розвиток надійних систем автономної навігації, які б забезпечували безпеку та ефективність руху робота в різних умовах, включаючи непередбачувані або складні середовища.

З використанням мобільних роботів у різних сферах, таких як медицина, безпека, транспорт тощо, виникають етичні питання, пов'язані з відповідальністю за їх дії та можливими наслідками [8].

Однією з основних проблем є забезпечення надійного та ефективного зв'язку між оператором та роботом на великій відстані, з мінімальною затримкою. Зв'язок може бути обмеженим у віддалених або недоступних місцевостях, а також зазнає впливу перешкод та інтерференції.

З підвищенням автономності та дистанційного керування мобільними роботами зростає і важливість питань безпеки. Вразливості в мережевому зв'язку можуть призвести до витоку конфіденційної інформації або навіть зловживання контролем над роботом. Існує загроза несанкціонованого доступу та втручання у систему керування, що може призвести до ризику для безпеки та конфіденційності інформації.

Загальною тенденцією є постійний розвиток та вдосконалення технологій, спрямованих на поліпшення дистанційного керування мобільними роботами, одночасно з усвідомленням та вирішенням зазначених вище проблем. Вирішення цих проблем може вимагати спільних зусиль індустрії, науки, правозахисників та суспільства загалом [9].

Методами вирішення існуючих проблем у реалізації дистанційного керування мобільними роботами є:

- розвиток бездротових технологій (постійний розвиток технологій, таких як мобільні мережі (3G/4G/5G), Wi-Fi та Bluetooth, дозволяє покращувати доступність та якість зв'язку для віддаленого керування);
- шифрування та захист даних (використання шифрування та захисту даних є важливими аспектами для забезпечення безпеки та конфіденційності під час передачі команд та інформації між оператором та роботом);
- розвиток систем штучного інтелекту (використання систем штучного інтелекту дозволяє роботам приймати автономні рішення на основі отриманої інформації та уникати перешкод у реальному часі);
- розробка алгоритмів навігації (постійне вдосконалення алгоритмів навігації допомагає роботам ефективно прокладати маршрути та уникати перешкод на шляху);
- використання супутникової навігації (системи супутникової навігації, такі як GPS, дозволяють роботам точно визначати своє місцезнаходження та планувати маршрути).

### 1.5 Організація систем дистанційного керування мобільними роботами на основі Internet of Things технологій

Існує два типи організації системи керування мобільним роботом, а саме point-to-point (P2P) та client-server-client (CSC).

P2P – це тип децентралізованої мережі для організації керування, який потребує лише дві ланки та передачу даних лише між ними – кожен учасник,

або "вузол", діє як і клієнт, і сервер. У P2P-мережах вузли спілкуються безпосередньо один з одним без необхідності центрального серверу. Це дозволяє збільшити швидкість обміну даними між роботом та оператором, проте, водночас підвищити навантаження на ланку МР.

На рисунку 1.7 приведено схему принципу керування мобільним роботом методом P2P.

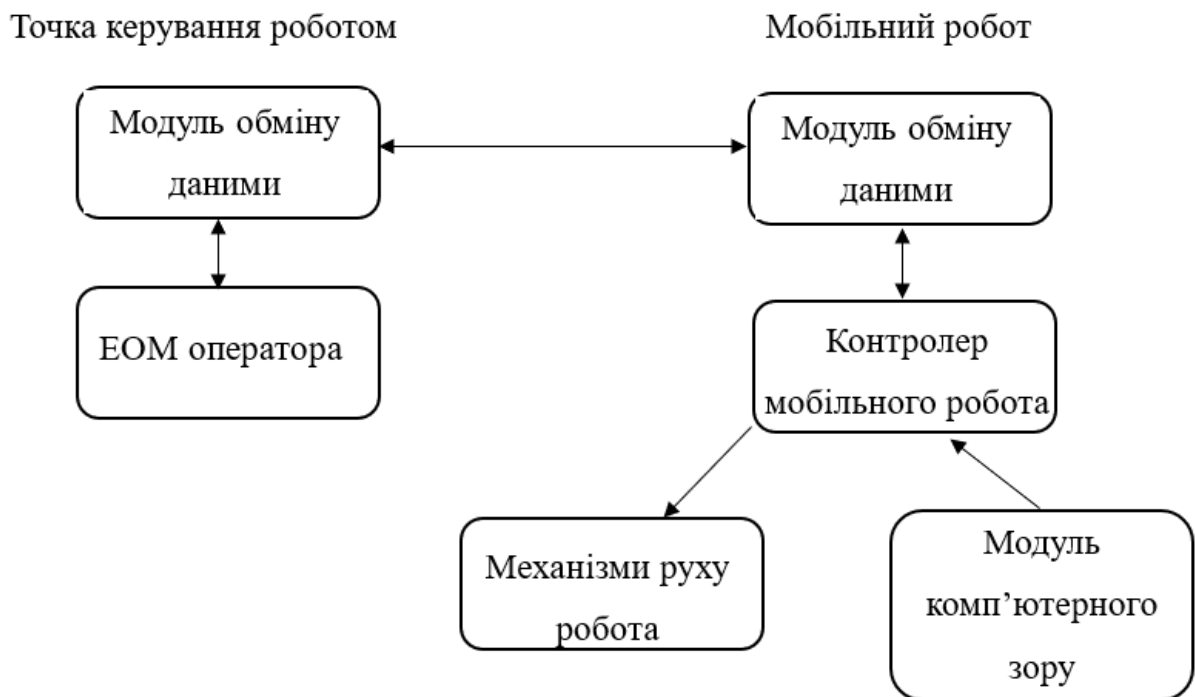


Рисунок 1.7 – Схема принципу дистанційного керування мобільним роботом P2P

CSC – це тип централізованої мережі, де клієнти запитують ресурси або послуги від сервера. Він є менш швидким способом організації керування, через додавання проміжної ланки–обробнику даних. Сервер обробляє запити клієнтів і надає необхідні ресурси або дані, тому швидкість напряму залежить від пропускної здатності каналу сервера.

Також, при такому способі організації, зменшується навантаження на ланку МР, тому що частина її переходить до серверу обробки даних [9].

Схему організації керування методом CSC наведено на рисунку 1.8.

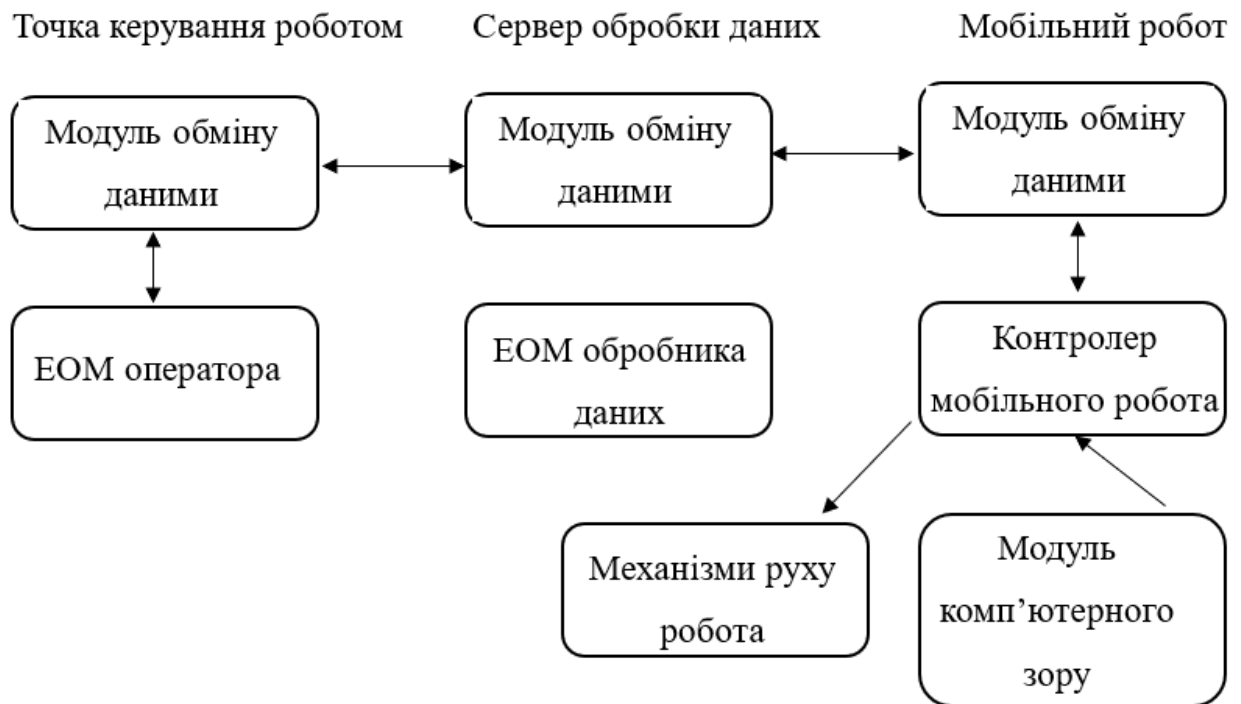


Рисунок 1.8 – Схема організації керування методом CSC

### 1.6 Вибір компонентів мобільного робота

Для навігації мобільного робота у навколишньому середовищі доцільно використовувати ультразвукові датчики відстані Arduino. Вони є дуже затребуваними в робототехнічних проєктах через свою відносну простоту, достатню точність та доступність. Дані датчики можуть бути використані як прилади, які допомагають об'їжджати перешкоди, отримувати розміри предметів, моделювати карту приміщення і сигналізувати про наближення або видалення об'єктів. Одним з поширених варіантів такого пристрою є датчик відстані, в конструкцію якого входить ультразвуковий далекомір HC-SR04.

Датчик відстані Arduino є приладом безконтактного типу, і забезпечує високоточне вимірювання і стабільність [5]. Діапазон дальності його

вимірювання складає від 2 до 400 см. Зовнішній вигляд датчику HC-SR04 представлено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04

Системи комп'ютерного зору, що включають в себе камери та сенсори зображення, дозволяють МР отримувати інформацію про навколишнє середовище візуальним шляхом. Це допомагає в розпізнаванні об'єктів, навігації та виконанні різних завдань.

Перед розробкою системи керування мобільним роботом, необхідно визначитися з вимогами [5].

Вимогами від мобільного робота є:

- дистанційне керування;
- самостійне пересування в просторі;
- автономність роботи.

Для початку потрібно розібрати усі можливі варіанти систем керування двигунами. Найпоширенішими та найдоступнішими є плати керування Arduino, проте вони не надають можливість передавати відеопотік з камери, тому не підходять для розробки даного мобільного робота.

Для розв'язання поставленої задачі ідеально підходить плата RaspberryPi model B.

Raspberry Pi 3 Model B – це одноплатний мінікомп'ютер, досить поширений завдяки своїй потужності, низькій вартості та широкій підтримці спільноти.

Він має процесор Broadcom BCM2837, 64-розрядний, чотирьохядерний ARM Cortex-A53 на частоті 1.2 ГГц, 1 ГБ оперативної пам'яті SDRAM, вбудований модуль Wi-Fi 802.11n та Bluetooth 4.1, 10/100 Ethernet. Також дана плата містить 40-контактний GPIO роз'єм, 4 порти USB 2.0, HDMI вихід для підключення дисплеїв, MicroSD слот для завантаження операційної системи та зберігання даних [10].

Завдяки вбудованим модулям Wi-Fi та Bluetooth, ідеально підходить для створення IoT-пристроїв та систем (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд Raspberry PI model B

Наступним кроком є вибір плати драйвера, яка буде виконувати керування моторами гусеничного шасі.

Для роботи з кроковими двигунами доцільно використовувати модуль L293D. Модуль драйвера двигуна L293D призначений для керування кроковими і колекторними двигунами невеликої потужності. Він дуже компактний та містить всі необхідні компоненти і сигнали керування для повноцінного управління індуктивним навантаженням. Даний модуль дає можливість одночасно управляти одним або двома двигунами постійного струму [3].

Характеристики плат драйверів двигунів постійного струму наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристики плат драйверів двигунів постійного струму

| Назва  | Максимальний струм, А | Максимальна напруга двигунів, В | Керування оборотами | Керування напрямком руху | Ціна, грн |
|--------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------|
| L298N  | 2                     | 36                              | Присутнє            | Присутнє                 | 54,6      |
| L293D  | 1,2                   | 36                              | Присутнє            | Присутнє                 | 52        |
| HG7881 | 0,8                   | 12                              | Відсутнє            | Присутнє                 | 26        |

Напрямок обертання ротора двигуна керується сигналами HIGH або LOW на кожен привід (або канал). Наприклад, для першого мотора, HIGH на IN1 і LOW на IN2 забезпечить обертання в одному напрямку, а LOW і HIGH змусить обертатися в протилежну сторону.

На рисунку 1.11 зображено зовнішній вигляд модуля драйвера двигуна L293D.



Рисунок 1.11 – Модуль драйвера двигуна L293D

Для реалізації системи комп'ютерного зору доцільно використовувати сумісний з платою Raspberry Pi модуль камери. Для трансляції постійного відеопотоку навколишнього середовища підходить модуль камери Raspberry Pi Camera 1.3. Даний модуль підключається до шини CSI за допомогою стрічкового кабеля. Сама плата камери крихітна, її розміри лише 25x20x9 мм, а вага складає 3 грами. Датчик камери 5 МР, має об'єктив з фіксованим фокусом і дозволяє отримати нерухомі зображення з дозволом 2592x1944. Підтримка відео: 1080р 30 кадрів в секунду (fps), 720р при 60 fps і дозволом 640x480 зі швидкістю до 90 fps. На рисунку 1.12 наведено зовнішній вигляд модуля камери Raspberry Pi Camera 1.3.



Рисунок 1.12 – Модуль камери Raspberry Pi Camera 1.3

## 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ

### 2.1 Обґрунтування вибору організації системи дистанційного керування

Згідно з темою кваліфікаційної роботи, необхідно розробити систему віддаленого керування мобільним роботом, який буде керуватися дистанційно, водночас передаючи відео-потік з модуля камери, і використовувати ультразвуковий датчик HC-SR04 для виявлення перешкод або об'єктів переслідування.

Після підбору усіх електронних компонентів, аналізуємо та обираємо метод організації системи дистанційного керування роботом.

Система керування мобільним роботом буде організована за допомогою методу P2P, що означає безпосереднє керування без посередницьких ланок, тобто без модуля обробки даних, тобто сервера.

Плата Raspberry Pi 3 model B ідеально підходить для цих завдань і без проблем впорається з навантаженням керування і трансляції відео.

Отже, система керування включатиме в себе сервер, встановлений на мобільному роботі, і додаток, завдяки якому команди будуть передаватися на робота.

Обираючи метод передачі даних для дистанційного керування, варто враховувати передачу команд і відеозображень. Оскільки міні-комп'ютер вже обладнаний Wi-Fi, не потрібно окремо шукати, встановлювати і налаштовувати інший модуль.

Технологія Wi-Fi має значну дистанцію зв'язку і велику пропускну здатність, що дозволяє передавати будь-яку інформацію, зокрема відео з камери мобільного робота. Ця технологія широко поширена і використовується у всіх сучасних ЕОМ, таких як ноутбуки, телефони і планшети.

## 2.2 Схема підключення компонентів мобільного робота

Після вибору всіх необхідних електронних компонентів і методу керування мобільним роботом, необхідно розробити схеми підключення. Це є критично важливою частиною перед початком розробки моделі мобільного робота, на яку необхідно зосередити особливу увагу.

На рисунку 2.1 наведено принципову схему підключення логіки елементів мобільного робота.

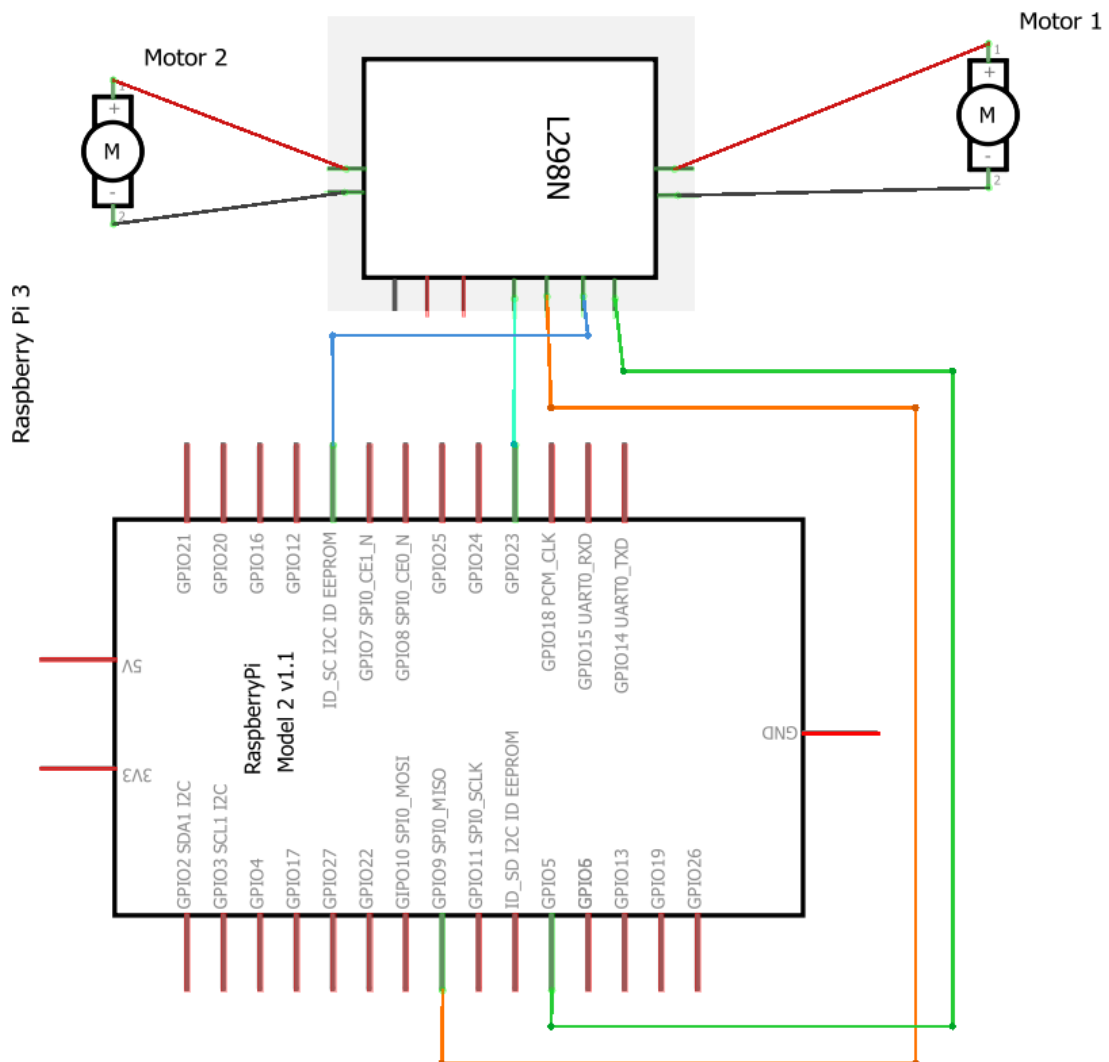


Рисунок 2.1 – Принципова схема підключення логіки елементів МР

Також необхідно розробити макетну схему підключення логіки мобільного робота (рисунок 2.2).

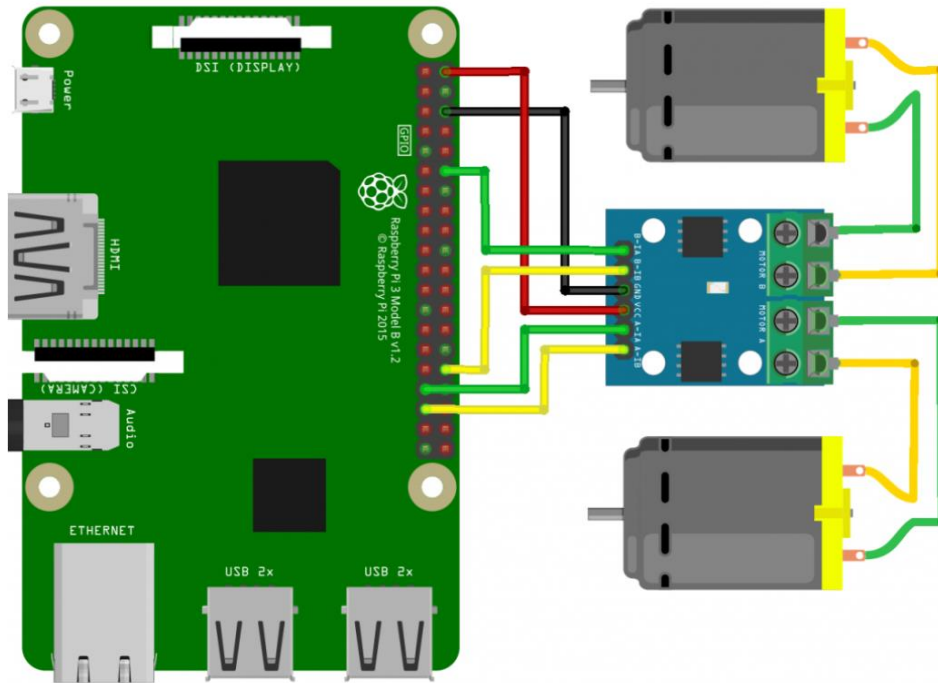


Рисунок 2.2 – Макетна схема підключення компонентів МР

### 2.3 Схеми алгоритмів програм керування

Для початку розробки програми керування, потрібно визначити, які саме завдання буде виконувати мобільний робот. Виходячи з мети роботи, мобільний робот має вільно пересуватися у просторі, тобто виконувати рух вперед, назад, повороти ліворуч, праворуч, а також робити примусову зупинку двигунів. Отже, виходячи з цього, система команд буде наступна:

- команда Forward відповідає за рух вперед;
- команда Backward відповідає за рух назад;
- команда Left відповідає за рух ліворуч;
- команда Right відповідає за рух праворуч;
- команда Stop необхідна для примусової зупинки двигунів.

Завершення розробки системи команд дає змогу перейти до написання алгоритмів програми мобільного робота. Перший алгоритм, який необхідно розробити – це алгоритм запуску усіх необхідних процесів для можливості керування мобільним роботом.

На рисунку 2.3 наведено схему алгоритму завантаження процесів для керування. На цьому алгоритмі представлено, у якій послідовності буде завантажено усі необхідні програмні компоненти.

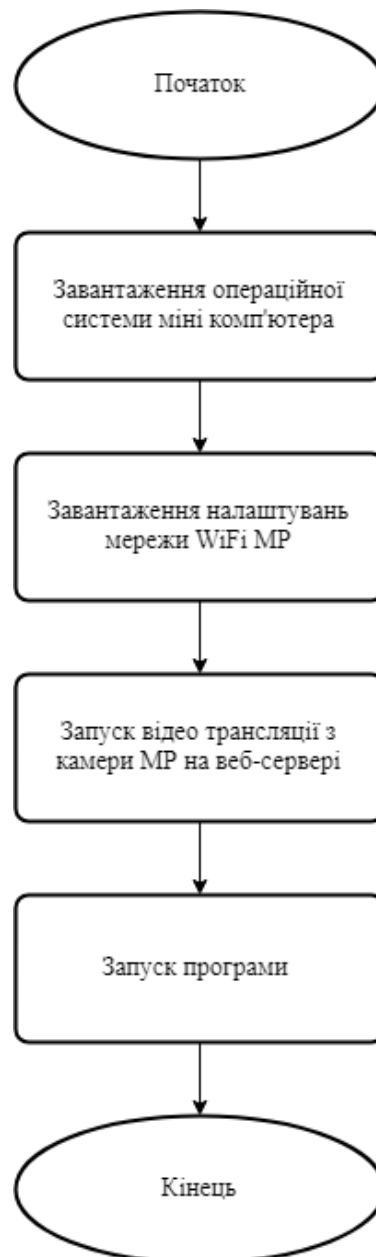


Рисунок 2.3 – Схема алгоритму завантаження процесів для керування

Наступним кроком, розробляємо алгоритм програми керування мобільним роботом. Узагальнена схема логіки серверної програми керування наведена на рисунку 2.4.



Рисунку 2.4 – Узагальнена схема алгоритму серверної програми керування

Після цього необхідно написати логіку обробки даних, які будуть передаватися на МР.

Схему алгоритму прийому команд та їх обробки приведено на рисунку 2.5.

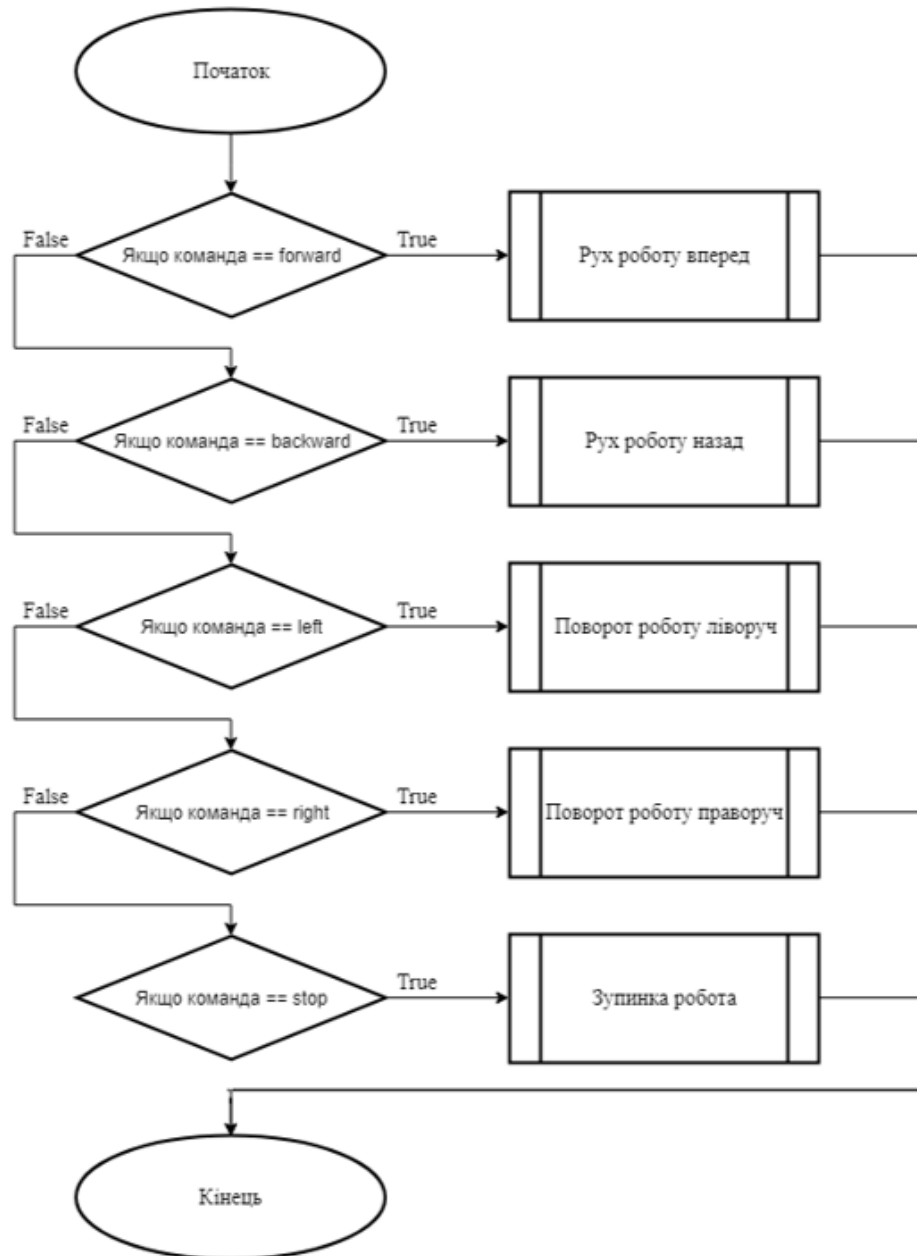


Рисунок 2.5 – Схема алгоритму прийому команд та їх обробки

Виходячи з алгоритму, зображеного на рисунку 2.5, бачимо, що управління роботом здійснюється за допомогою передавання сигналів з міні комп'ютера RPі на драйвер двигунів. Таким чином, на драйвер двигунів передається інформація щодо полярності самих двигунів для зміни їх режимів

роботи, що супроводжує зміну напрямку руху мобільного робота. Зміна полярності одночасно на двох двигунах, дозволяє перемінити напрям руху гусеничної платформи на протилежний. А для реалізації точних поворотів без відхилень, встановлюється різна полярність на два двигуни. Для примусової зупинки платформи, подається відповідна команда, яка в результаті вимикає напругу на драйвері двигунів, що супроводжується повною зупинкою мобільного робота.

## 2.4 Розробка програми керування роботом

Розробка програми керування роботом є надважливою частиною, тому що вона повинна приймати інформацію з клієнтської програми та обробляти її. Для написання програми керування використано мову програмування Python 2.7, яка є досить поширеною у робототехніці, через це досить легко знаходити інформацію щодо використання потрібних функцій, бібліотек. Для початку підключаємо усі необхідні бібліотеки, функції з яких будуть використані у програмі керування:

```
import socket
import RPi.GPIO as GPIO
import time
```

Підключення бібліотеки `socket` надає можливість програмно створити канал зв'язку між двома управляючими програмами – програмою-клієнтом та програмою-сервером. Бібліотека `RPi.GPIO as GPIO` необхідна для налаштування та керування портами входу/виходу управляючого міні комп'ютера для його подальшого зв'язку з драйвером двигунів. А бібліотека `time` використовується для створення часової затримки між виконанням операцій.

Наступним кроком необхідно налаштувати режими роботи портів

входу/виходу управляючого міні комп'ютера:

```
GPIO.setup(IN1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(IN2, GPIO.OUT)
GPIO.setup(IN3, GPIO.OUT)
GPIO.setup(IN4, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ENA, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ENB, GPIO.OUT)
```

Таким чином відбувається налаштування режимів звернення до портів, та їх режими роботи. Наступним кроком потрібно відкрити сокет для обміну даними між двома управляючими програмами:

```
def connect_to_pi(host, port):
    global client_socket
    client_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    try:
        client_socket.connect((host, port))
        print(f"Connected to {host}:{port}")
        return True
    except Exception as e:
        print(f"Connection failed: {str(e)}")
        return False
```

Наступним кроком необхідно описати логіку проходження перешкод. Для цього зчитуються данні з ультразвукового давача, отримуючи відстань до перешкоди.

Після цього, в залежності від того, яка відстань залишається до об'єкта, мобільний робот виконує наступні кроки: якщо відстань до об'єкта менше 30 см, мобільна платформа зупиняється, від'їжджає назад, та через деякий

інтервал часу повертає направо, таким чином обминаючи перешкоду.

Алгоритм роботи програми за допомогою ультразвукового давача зображено на рисунку 2.6:

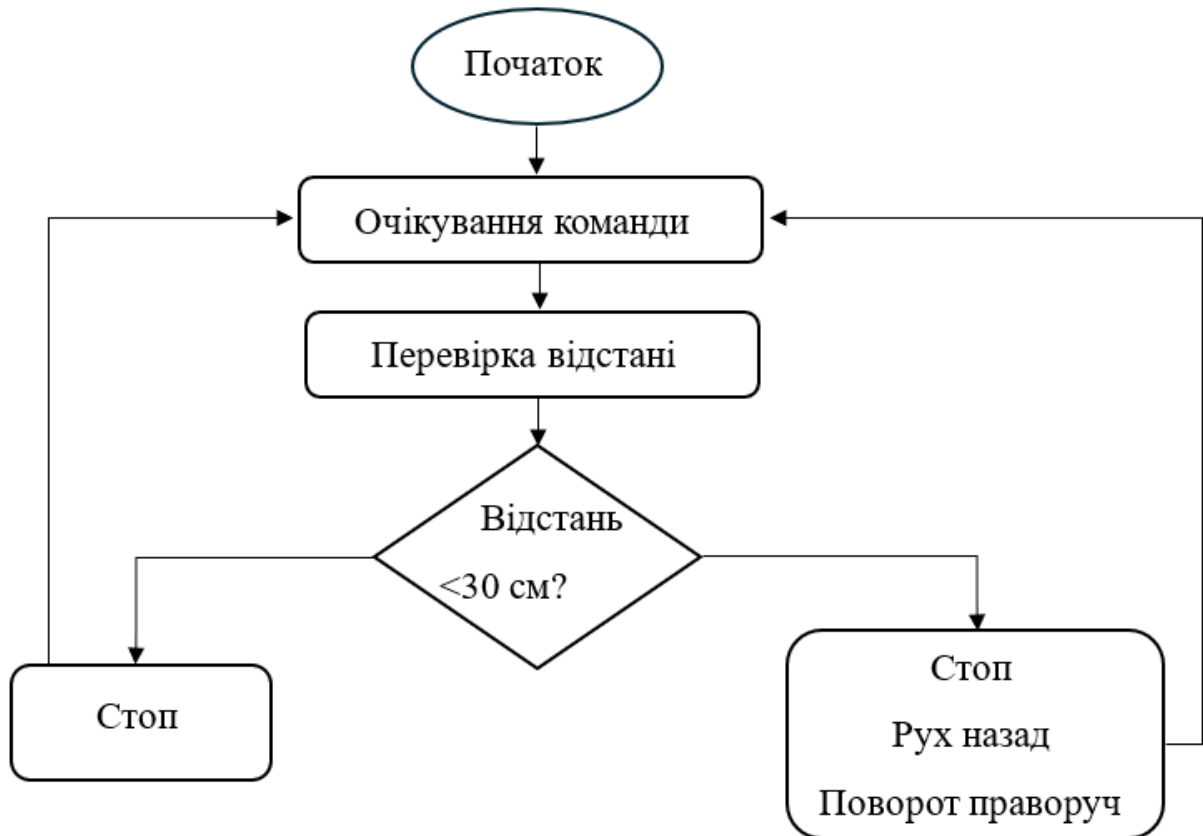


Рисунок 2.6 – Схема алгоритму роботи за допомогою ультразвукового давача

Лістинг коду для керування роботом за допомогою ультразвукового давача наведено нижче:

```

def obstacle_avoidance():
    while True:
        distance = read_distance()
        print(f"Distance: {distance} cm")
        if distance < 30:
            print("Obstacle detected. Turning...")
            stop()
  
```

```
time.sleep(1)
backward()
time.sleep(1)
stop()
time.sleep(1)
turn_right()
time.sleep(1)
stop()
```

Даний програмний код реалізує об'їзд перешкоди, у разі, якщо відстань до неї становить менше 30 см.

## 2.5 Розробка клієнтської програми

Розробивши схему логіки програми мобільного робота, пишемо алгоритм роботи програми, яка буде передавати команди на мобільний робот.

Програма виконує з'єднання з сокетом на сервері мобільного робота. Данні для підключення, а саме Host і Port, необхідно ввести у форму, після цього натиснути на кнопку для з'єднання з роботом. У разі неможливості підключення, відправляється повідомлення про помилку з'єднання.

Також програма транслює з веб сервера відеопотік із зображенням навколишнього середовища з модуля камери мобільного робота. В інтерфейсі програми створено кнопки, які відповідають за відправку команд, необхідних для керування мобільним роботом, а саме: Forward, Backward, Left, Right і Stop.

Після завершення розробки програми мобільного робота, яка приймає команди, потрібно розробити програму, яка буде відправляти зазначені команди.

В якості мови програмування для створення програми відправки команд обрано мову програмування Python 2.7 та середовище .NET Framework 4.5,

тому що дані інструменти дуже зручні у використанні, легкі у реалізації та мають усі необхідні компоненти для створення віконного додатку.

На рисунку 2.7 приведено схему алгоритму клієнтської програми.



Рисунок 2.7 – Схема алгоритму клієнтської програми

На початку створюємо з'єднання по сокету з мобільним роботом:

```
def connect_to_pi(host, port):
    global client_socket
    client_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    try:
        client_socket.connect((host, port))
        print(f"Connected to {host}:{port}")
        return True
    except Exception as e:
        print(f"Connection failed: {str(e)}")
        return False
```

У даному випадку реалізується підключення до Raspberry Pi через введення у відповідну форму адреси міні комп'ютера.

Після цього створюємо відправку команд на MP:

```
def send_command(command):
    try:
        client_socket.send(command.encode())
    except Exception as e:
        print(f"Error sending command: {e}")
```

Далі, необхідно розробити обробник для натискання кнопки з'єднання. У разі успішного підключення програми до MP, одразу з'являється вікно, у якому транслюється відео зображення навколишнього середовища та присутні кнопки керування роботом.

```
connection_frame = tk.Frame(root, pady=10)
connection_frame.pack()
```

```
host_label = tk.Label(connection_frame, text="Host (IP Address):")
```

```
host_label.grid(row=0, column=0, padx=5)
```

```
host_entry = tk.Entry(connection_frame, width=20)
```

```
host_entry.grid(row=0, column=1, padx=5)
```

```
port_label = tk.Label(connection_frame, text="Port:")
```

```
port_label.grid(row=0, column=2, padx=5)
```

```
port_entry = tk.Entry(connection_frame, width=10)
```

```
port_entry.grid(row=0, column=3, padx=5)
```

```
connect_button = tk.Button(connection_frame, text="Connect",
command=lambda: connect_to_pi(host_entry.get(), int(port_entry.get())))
```

```
connect_button.grid(row=0, column=4, padx=5)
```

Також, після цього, створюємо у додатку обробник кнопок для відправки команд на мобільний робот:

```
start_button = tk.Button(control_frame, text="Start", command=start_robot)
```

```
start_button.grid(row=0, column=0, padx=10, pady=5)
```

```
stop_button = tk.Button(control_frame, text="Stop", command=stop_robot)
```

```
stop_button.grid(row=0, column=1, padx=10, pady=5)
```

```
forward_button = tk.Button(control_frame, text="Forward",
command=forward)
```

```
forward_button.grid(row=1, column=0, padx=10, pady=5)
```

```
backward_button = tk.Button(control_frame, text="Backward",
command=backward)
```

```
backward_button.grid(row=2, column=0, padx=10, pady=5)
```

```
left_button = tk.Button(control_frame, text="Left", command=turn_left)
```

```
left_button.grid(row=1, column=1, padx=10, pady=5)
```

Після створення обробнику кнопок, також необхідно розробити програму, яка буде транслювати відео зображення у додаток:

```
def update_video_stream():
    global stop_video_thread
    while not stop_video_thread:
        try:
            frame = receive_frame()
            if frame is not None:
                frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
                frame = Image.fromarray(frame)
                frame = ImageTk.PhotoImage(image=frame)
                video_label.config(image=frame)
                video_label.image = frame
            except Exception as e:
                print(f"Error updating video stream: {e}")
                break
    print("Video stream stopped.")
```

## 2.6 Встановлення необхідних пакетів та налаштувань

Встановлення необхідних пакетів, підключення бібліотек та налаштування компонентів системи є дуже важливою складовою для коректної роботи усієї системи.

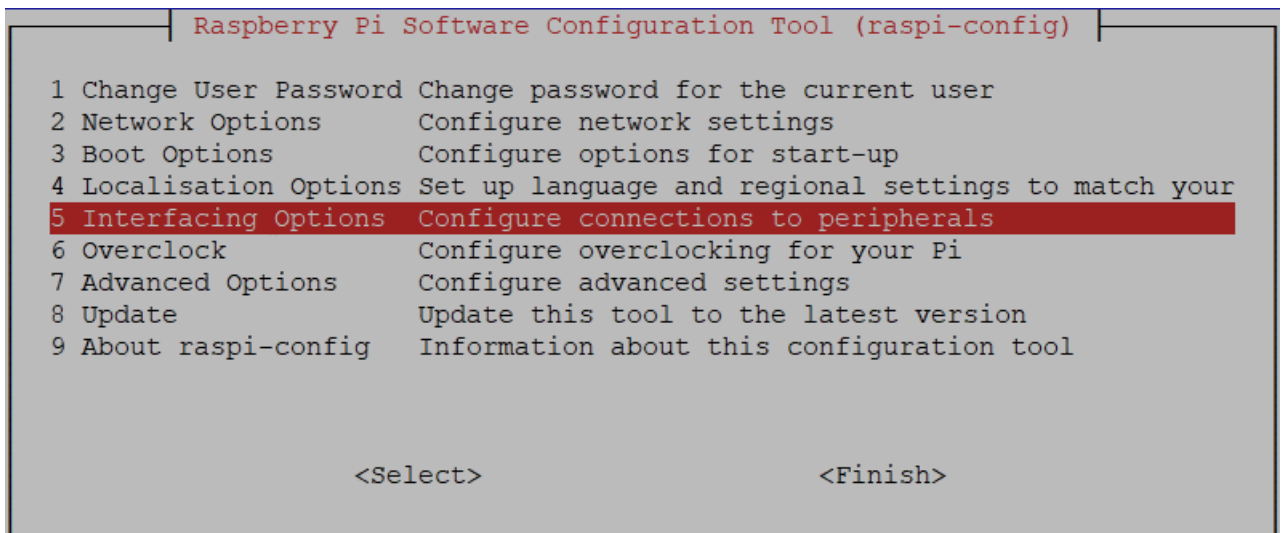
Першим кроком для налаштування Raspberry Pi є встановлення операційної системи, на базі якої працюватиме серверна частина мобільного робота. В якості операційної системи для плати міні-комп'ютера обираємо ОС Linux Raspbian 10.

Після встановлення операційної системи, необхідно інтегрувати карту пам'яті у міні-комп'ютер, подати на нього напругу та під'єднатися до нього за протоколом SSH. За замовченням, адресою для з'єднання з платою Raspberry Pi є raspberrypi, логіном – pi, а паролем доступу є raspberry.

Першою командою, яка надасть права та привілеїї для виконання усіх наступних маніпуляцій є `sudo su`.

Після отримання доступу, потрібно запусити утиліту `raspi-config`, потім у розділі `Interfacing options` вибрати пункт `Camera` та включити даний інтерфейс.

Вікно утиліти `raspi-config` зображено на рисунку 2.8.



```
Raspberry Pi Software Configuration Tool (raspi-config)
1 Change User Password Change password for the current user
2 Network Options      Configure network settings
3 Boot Options         Configure options for start-up
4 Localisation Options Set up language and regional settings to match your
5 Interfacing Options  Configure connections to peripherals
6 Overclock            Configure overclocking for your Pi
7 Advanced Options     Configure advanced settings
8 Update               Update this tool to the latest version
9 About raspi-config   Information about this configuration tool

<Select>                                <Finish>
```

Рисунок 2.8 – Вікно утиліти `raspi-config`

Наступним кроком є оновлення списку джерел, які використовуються для встановлення усіх необхідних пакетів. Для цього потрібно виконати команду `apt-get update`.

Після цього відбувається завантаження усіх необхідних пакетів командою:

```
apt-get install hostapd dnsmasq git python-pip
```

Виконуємо завантаження необхідних бібліотек Python для можливості подальшої роботи програми мобільної платформи. За допомогою раніше встановленої утиліти `pip`, завантажуюємо:

```
pip install sockets times RPi.GPIO
```

Для реалізації трансляції відеопотоку, необхідні спеціальні утиліти, які знаходяться у репозиторії. Встановлюємо пакет за допомогою утиліти `git` [17]:

```
git clone https://github.com/silvanmelchior/RPi\_Cam\_Web\_Interface.git
```

Слідуючим кроком є встановлення програми керування мобільним роботом. Для можливості реалізації програми, надаємо необхідні права на запуск програми командою:

```
chmod +x /home/pi/server_socket/robot_control.py
```

Далі, необхідно запуснути автоматичне виконання програми, під час завантаження ОС. Щоб це реалізувати, додаємо у файл `/etc/rc.local` команду:

```
python /home/pi/server_socket/robot_control.py
```

Останнім кроком для налаштування Raspberry Pi є налаштування способу зв'язку, тобто мережі Wi-Fi, до якої має доєднатися керуючий оператор.

Для цього відключаємо деякі пакети [17]:

```
systemctl stop dnsmasq  
systemctl stop hostapd
```

На даному етапі, встановлення та налаштування усіх пакетів, бібліотек та програмного забезпечення завершено. Для початку роботи з програмою потрібно перезавантажити міні-комп'ютер, щоб усі параметри коректно встановилися.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розрахунок часу автономної роботи системи

Розрахунок даного параметру є дуже важливим для розуміння, скільки часу розроблена система може працювати автономно, без можливості підзаряду. Від даного критерія залежить, у яких саме умовах буде експлуатуватися мобільний робот та які функції він буде виконувати.

Розрахунок необхідної ємкості здійснюється за формулою [12]:

$$E = P \cdot t \cdot 100, \quad (3.1)$$

де  $P$  – потужність навантаження (кВт);

$t$  – час автономної роботи (години).

Для розрахунку потужності навантаження на систему використовується формула (3.2):

$$P = U \cdot I, \quad (3.2)$$

де  $U$  – номінальна напруга;

$I$  – сила струму.

Сумарна потужність навантаження розраховується за формулою (3.3):

$$P_{\text{сум}} = \sum P_i. \quad (3.3)$$

У таблиці 3.1 приведено необхідні характеристики модулів для розрахунку необхідної ємкості акумулятору.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики модулів МР

| Назва модуля           | Сила струму $I$ , А | Номинальна напруга $U$ , В | Потужність навантаження $P$ , кВт |
|------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Raspberry Pi 3 Model B | 0,15                | 5                          | $7,5 \cdot 10^{-4}$               |
| L293D (двигуни)        | 2                   | 16                         | $2,4 \cdot 10^{-2}$               |
| L293D (логіка)         | 0,36                | 5                          | $11,8 \cdot 10^{-4}$              |

Отже, виходячи з формули (3.3),  $P_{\text{сум}}$  дорівнює  $336,6 \cdot 10^{-4}$  кВт. Підставивши усі необхідні змінні у формулу (3.2) отримаємо:

$$E = 336,3 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 100 = 10,089 \text{ А} \cdot \text{г}.$$

Розроблений мобільний робот має 4 акумулятори стандарту 18650 із ємністю  $3,6 \text{ А} \cdot \text{г}$ , виходячи з чого, сумарна ємність становить  $13,6 \text{ А} \cdot \text{г}$ . Це має забезпечити стабільну роботу мобільного робота упродовж більш ніж 3 годин.

Розрахуємо максимальний час роботи системи із ємністю  $13,6 \text{ А} \cdot \text{г}$ . Виходячи з формули (3.2) отримаємо формулу (3.4):

$$t = \frac{E}{P \cdot 100}, \quad (3.4)$$

де  $t$  – максимальний час роботи МР.

Підставивши змінні у формулу (3.4) отримаємо:

$$t = \frac{13,6}{336,3 \cdot 10^{-4}} = 4,044 \text{ год.}$$

Отже, провівши розрахунок часу роботи від 4 акумуляторів фактичної ємності, можна зробити висновок, що при ємності акумуляторного блоку, що дорівнює 13,6 А·г, розроблений мобільний робот може стабільно працювати близько 4 годин.

### 3.2 Тестування дальності зв'язку з мобільним роботом

Наступним важливим експериментом, який необхідно провести, це визначення дальності зв'язку з мобільним роботом. Даний параметр допоможе визначити, чи можна безпечно використовувати дану систему для виконання робіт, які можуть нести загрозу життю людини, наприклад, вибухотехнічних робіт. Умовою проведення даного експерименту є відкритий простір у гористій місцевості, але з прямою видимістю мобільного робота. У таблиці 3.2 наведено отримані результати експерименту з визначенням максимальної дальності зв'язку.

Таблиця 3.2 – Результати експерименту з визначення часу автономної роботи системи

| № експерименту | Дальність зв'язку, м. |
|----------------|-----------------------|
| 1              | 80                    |
| 2              | 87                    |
| 3              | 85                    |
| 4              | 93                    |
| 5              | 102                   |
| 6              | 115                   |
| 7              | 88                    |
| 8              | 85                    |
| 9              | 97                    |
| 10             | 101                   |

Таким чином бачимо, що середня дальність зв'язку з мобільним роботом через бездротову мережу Wi-Fi складає близько 100 м. Такі результати могли бути отримані через те, що експерименти проводилися у гористій місцевості,

де існують перебої бездротової мережі. Проте, дана відстань є цілком безпечною для людини-оператора, у разі використання мобільного робота для проведення небезпечних робіт.

### 3.3 Тестування програмного забезпечення

Також дуже важливим критерієм є зручність керування та зрозумілий інтерфейс програми. На рисунку 3.1 приведена панель з'єднання з мобільним роботом для подальшого керування.

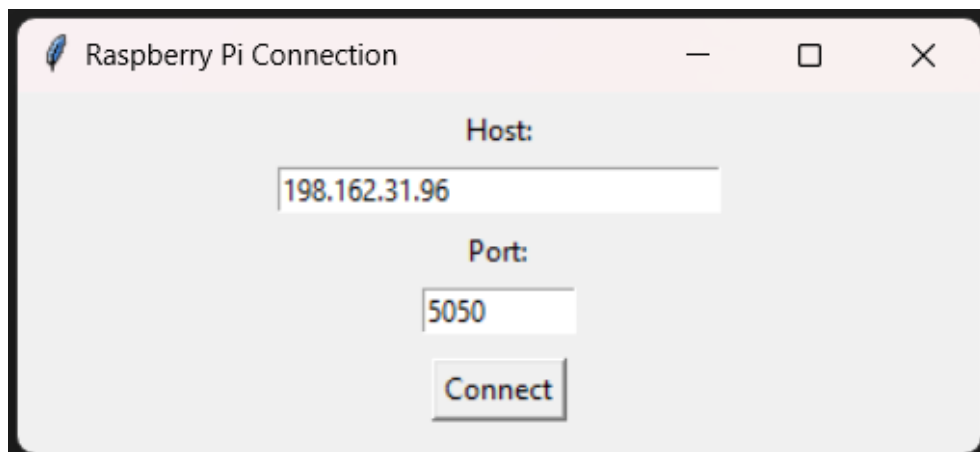


Рисунок 3.1 – Інтерфейс програми підключення до МР

На рисунку 3.1 бачимо, що у відповідні вікна потрібно вводити деяку інформацію, а саме адресу Raspberry Pi. Вона складається з адреси Host та Port. Після введення необхідно натиснути на кнопку Connect, яка запустить процес підключення до міні-комп'ютера.

Після успішного з'єднання з мобільним роботом, відкривається вікно, яке містить у собі такі елементи: 5 кнопок управління рухом робота (Forward, Backward, Left, Right, Stop), вікно, у якому виводиться відео зображення навколишнього середовища з модуля камери Raspberry Pi Camera 1.3 та інформаційне вікно, яке виводить поточні координати мобільного робота. Це необхідно для того, щоб у разі виявлення небезпечних предметів, оператор зміг

отримати точне місцезнаходження даних об'єктів та вже надалі використовувати ці данні для подальшої роботи.

На рисунку 3.2 зображено інтерфейс програми керування роботом який надає можливість управляти рухом у чотирьох напрямках, виконувати повороти та примусово зупиняти двигуни мобільного робота. Також, у окреме вікно виводиться постійний відео-потік із зображенням навколишнього середовища.

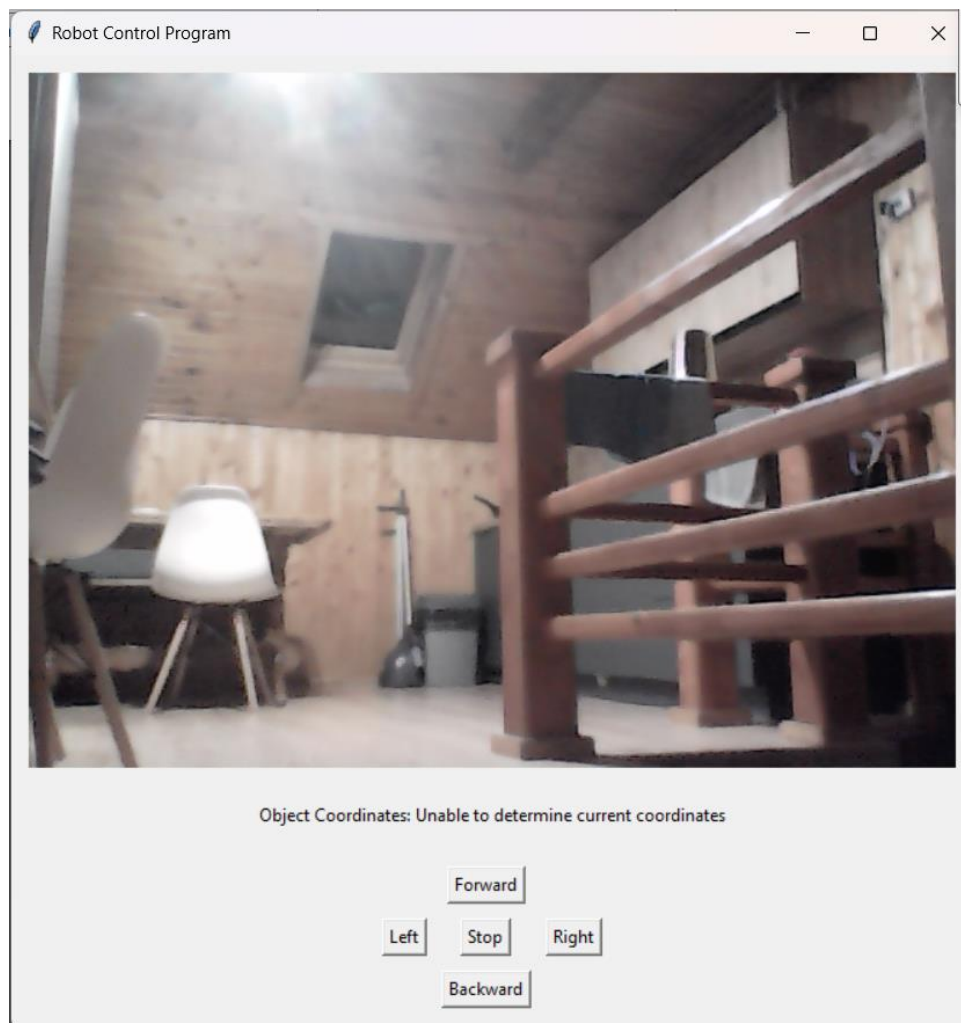


Рисунок 3.2 – Інтерфейс програми керування МР

У даній програмі реалізовано розпізнавання та ідентифікації об'єктів за допомогою системи комп'ютерного зору. Для цього було використано бібліотеку OpenCV разом із модулем для розпізнавання обличчя.

В програмному кодї використовується класифікатор Haar для виявлення обличчя у кадрах з камери. Він може бути використаний для виявлення обличчя на відеопотоці. Проте, точність виявлення обличчя може варіюватися залежно від умов освітлення та розподільної здатності камери.

На рисунку 3.3 зображено інтерфейс програми керування мобільним роботом з реалізацією розпізнавання обличчя

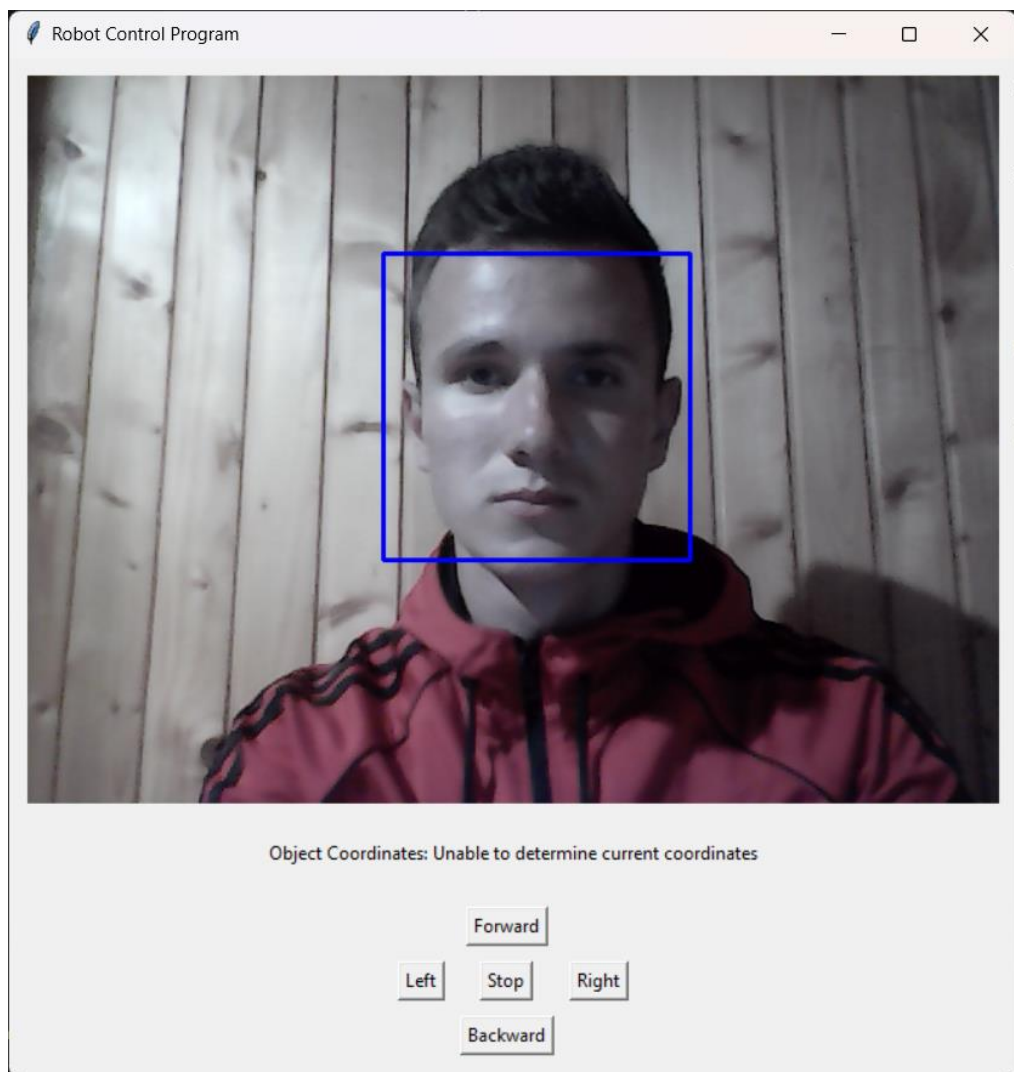


Рисунок 3.3 – Інтерфейс програми керування МР з системою розпізнавання обличчя

Для додавання можливості ідентифікації об'єктів та визначення їх потенційної небезпечності на відеопотоці, використано модуль OpenCV для розпізнавання об'єктів з використанням попередньо навченої моделі YOLO

(You Only Look Once). Це сучасна модель для обробки зображень, яка використовується для розпізнавання об'єктів в режимі реального часу. Вона відома завдяки своїй швидкодії та точності, дозволяючи ефективно виявляти і класифікувати об'єкти на зображеннях чи відео. YOLO здатна розпізнавати різні об'єкти одночасно, і може визначати рівень небезпечності об'єкта завдяки своїм алгоритмам. На рисунку 3.4 зображено інтерфейс керуючої програми з реалізацією ідентифікації об'єкта та визначенням рівня його безпеки.

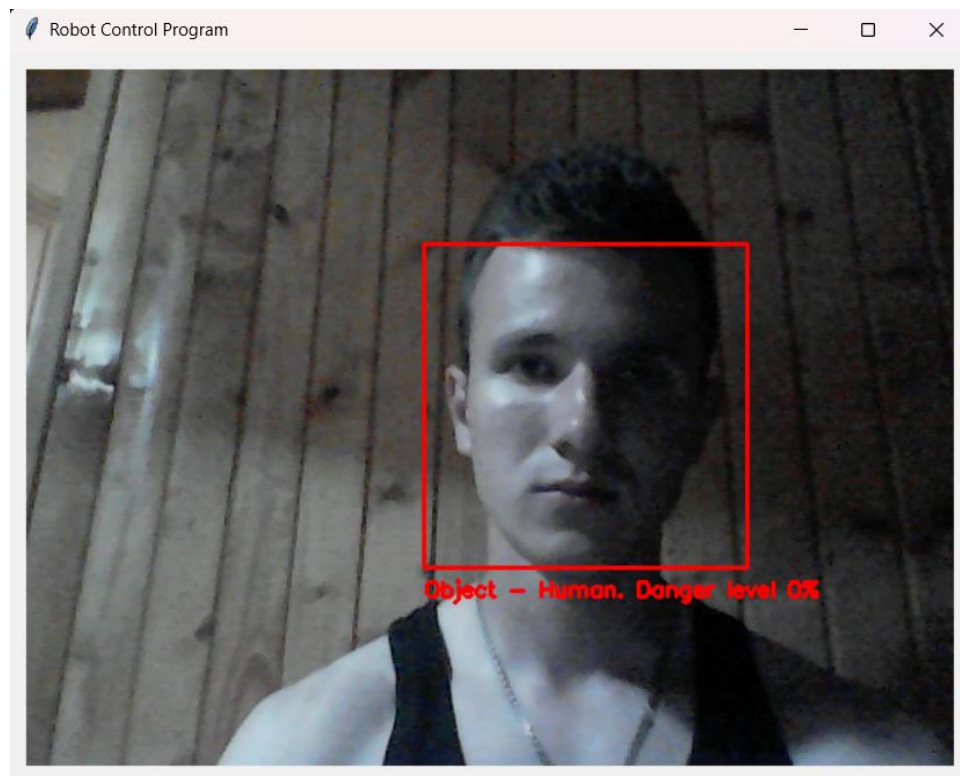


Рисунок 3.4 – Ідентифікація об'єкта та визначення рівня його безпеки

### 3.4 Визначення вартості елементів мобільного робота

Останній важливий критерій оцінки системи параметр – це її коштовність. Це дуже важливо враховувати при розробці системи керування мобільного робота, тому що будь-який елемент може пошкодитися та потребувати подальшої заміни. Підрахуємо приблизну вартість електронних елементів розробленої системи дистанційного керування мобільного робота.

У таблиці 3.3 наведена коштовність кожного елементу та сумарна вартість елементів системи.

Таблиця 3.3 – Коштовність елементів системи

| Назва елементу           | Вартість, грн |
|--------------------------|---------------|
| Драйвер L298N            | 74            |
| Комп'ютер Raspberry Pi 3 | 2240          |
| Модуль камери            | 234           |
| Сума, грн                | 2627          |

### 3.5 Аналіз розробленої системи

Розроблена система автоматизації віддаленого керування мобільним роботом на базі плати Raspberry Pi 3 дозволяє виконувати наступні завдання:

- керування рухом робота: робот може рухатися вперед, назад, повертати наліво, направо та зупинятися за допомогою відповідних кнопок;
- відеопотік у реальному часі: робот передає відеопотік з камери, який відображається у вікні програми;
- орієнтація у просторі: для цього використовується ультразвуковий датчик HC-SR04 для виявлення перешкод та автоматичного об'їзду;
- розпізнавання об'єктів: система використовує модель YOLO для розпізнавання об'єктів і визначення, чи є вони небезпечними.

Перевагами розробленої системи керування є:

- автономність: робот здатний самостійно орієнтуватися у просторі та уникати перешкод завдяки ультразвуковому датчику;
- керування у реальному часі: система забезпечує відеопотік та розпізнавання об'єктів у реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміну ситуації;
- можливість віддаленого керування: оператор може керувати роботом на відстані, використовуючи інтерфейс програми та підключення до Raspberry Pi;

- інтеграція з YOLO: використання сучасної моделі для розпізнавання об'єктів підвищує точність і швидкість обробки даних;

- гнучкість налаштувань: система дозволяє легко змінювати параметри та налаштування, такі як IP-адреса та порт для підключення до робота.

Проте, дана система керування має і певні недоліки:

- залежність від мережі: для керування роботом необхідне стабільне мережеве з'єднання, що може бути проблемою у деяких умовах;

- чутливість до навколишніх умов: ультразвуковий датчик може некоректно працювати в умовах високої вологості, пилу або при наявності інших ультразвукових джерел;

- енергозалежність: мобільний робот може пропрацювати без підзаряду близько 4 годин, що може бути проблематичним для тривалої роботи у віддалених місцях без доступу до електромережі.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом згідно з ПУЕ – 2011 приміщення належить до класу приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом. Умови, які створюють підвищену і особливу небезпеку (підвищена вологість, струмопровідний пил, струмопровідні підлоги, можливість одночасного дотику до заземлених металоконструкцій будівлі і металевих поверхонь електроприладів), відсутні[9].

З метою зниження небезпеки ураження людини електричним струмом проектом передбачається використання таких технічних засобів захисту:

- необхідно проводити контроль ізоляції відповідно до вимог ПУЕ – 2011. Контроль проводити між нульовим і фазним провідниками і між фазами. Опір ізоляції не менше 500 кОм на фазу. Контроль проводити не рідше 1 разу на рік при відключеному електроживленні;

- в приміщенні використовується система живлючих провідників, трифазна, чотирипровідна з глухо заземленою нейтраллю напругою до 1000 В, тому, згідно з НПАОП 40.1-1.32-01, використовується система заземлення TN-C-S типу.

Всі корпуси ПЕОМ з'єднані з глухо заземленою нейтраллю джерела живлення за допомогою нульового захисного провідника. Автомат захисту вибирається за струмом короткого замикання, час відключення 0,2 с.

Роботи в лабораторії відносяться до робіт категорії 1а – легка фізична робота, яка виконується сидячи.

Оптимальні норми мікроклімату для холодного та теплого періоду року згідно і ДСН 3.3.6.042-99:

- температура від 22 °С до 25 °С;
- відносна вологість від 40 % до 60 %;

– швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Забезпечуються припливно-витяжна загальнообмінна вентиляція.

В приміщенні використовується сумісне освітлення: природне та штучне. Згідно з ДБН В.2.5-28-2006 категорія зорових робіт, що проводяться у приміщенні – III В. Штучне освітлення виконано як загальне, за допомогою світильників з люмінесцентними лампами.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено систему автоматизації дистанційного управління мобільним роботом.

Виконано аналіз технічного завдання та аналіз систем віддаленого керування мобільними роботами. Проведено огляд існуючих систем віддаленого керування мобільними роботами та аналіз аналогічних рішень. Проведений аналіз показав, що системи дистанційного керування складаються з різноманітних компонентів та підсистем, які спільно працюють для ефективного та точного керування мобільними роботами. Виконано вибір електронних компонентів для побудови моделі мобільного робота.

Основою подальшої розробки став мобільний робот на гусеничній платформі, який керується дистанційно, передаючи оператору трансляцію відеопотоку навколишнього середовища з можливістю ідентифікації об'єктів та визначення рівня їх безпеки. Розроблена конструкція мобільного робота на гусеничній платформі. Виконано ескізне проектування конструкції мобільного робота. Розроблена архітектура системи дистанційного керування на основі аналізу існуючих методів обраного типу. Наведено структурну схему системи керування, алгоритми та формат команд, що передаються в системі.

Проведено експериментальні дослідження створеної системи дистанційного керування мобільним роботом.

Виконана розробка алгоритму роботи системи управління та розроблена програма роботи мобільного робота для мікроконтролера RaspberryPI 3 model B.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. М. Цимбал, О. В. Токарева, А. І. Бронніков. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 66 с.
3. Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0: монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова; Oktan Print – Prague. 2023. 321 с.
4. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. Х.:, 2022. 427 с.
5. Невлюдов І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами: підручник/ І.Ш. Невлюдов, О.В.Токарева. Харків: ХНУРЕ, 2018. 190 с.
6. Підтримка життєвого циклу у виробничій інженерії: монографія / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, А. О. Андрусевич, М.Г. Стародубцев. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. 252 с.
7. Євсєєв В. В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi і мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків: 2020. 257 с.
8. Rubio, F., Valero, F., & Llopis-Albert, C. (2019). A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 16(2), 1729881419839596.

9. Udovenko, S., & Sorokin, A. (2019). Localization and navigation of mobile robots in an environment with variable properties. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, (2 (9)), 29-36.
10. Sharma, U., Medasetti, U. S., Deemyad, T., Mashal, M., & Yadav, V. (2024). Mobile Robot for Security Applications in Remotely Operated Advanced Reactors. *Applied Sciences*, 14(6), 2552.
11. Schuster, M. J., Brunner, S. G., Bussmann, K., Büttner, S., Dömel, A., Hellerer, M., ... & Wedler, A. (2019). Towards autonomous planetary exploration: The Lightweight Rover Unit (LRU), its success in the SpaceBotCamp challenge, and beyond. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 93, 461-494.
12. Alonso, R., Bonini, A., Reforgiato Recupero, D., & Spano, L. D. (2022). Exploiting virtual reality and the robot operating system to remote-control a humanoid robot. *Multimedia Tools and Applications*, 81(11), 15565-15592.
13. Togias, T., Gkournelos, C., Angelakis, P., Michalos, G., & Makris, S. (2021). Virtual reality environment for industrial robot control and path design. *Procedia CIRP*, 100, 133-138.
14. Walker, M., Phung, T., Chakraborti, T., Williams, T., & Szafir, D. (2023). Virtual, augmented, and mixed reality for human-robot interaction: A survey and virtual design element taxonomy. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 12(4), 1-39.
15. Land, N., Syberfeldt, A., Almgren, T., & Vallhagen, J. (2020). A framework for realizing industrial human-robot collaboration through virtual simulation. *Procedia CIRP*, 93, 1194-1199.
16. Alonso, R., Bonini, A., Reforgiato Recupero, D., & Spano, L. D. (2022). Exploiting virtual reality and the robot operating system to remote-control a humanoid robot. *Multimedia Tools and Applications*, 81(11), 15565-15592.
17. Coloma, S., Frantz, A., van der Meer, D., Skrzypczyk, E., Orsula, A., & Olivares-Mendez, M. (2024). Immersive Rover Control and Obstacle Detection based on Extended Reality and Artificial Intelligence. *arXiv preprint arXiv:2404.14095*.