

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, Автоматизації та Мехатроніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти Другий (магістерський)

Розроблення методу управління групою роботів гуманоїдного типу
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи КІТПВм-21-1

Шевченко Д. О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Євсєєв В. В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

_____ (підпис)

_____ (прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ АКТ _____
 Кафедра _____ КІТАМ _____
 Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
 Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 (код і повна назва)
 Тип програми _____ освітньо-професійна _____
 Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові _____ Шевченку Дмитру Олеговичу _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Розроблення методу управління групою роботів гуманоїдного типу _____

затверджена наказом університету від 07 11 2022 р. № 1464Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 12 12 2022р.

3. Вихідні дані до роботи _____

Робот гуманоїдного типу _____

Тип групового зв'язку: розподілений, мережа _____

Протокол зв'язку: Wi-Fi _____

Кількість двигунів, степеней свободи: 18 _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ _____

4.2 Аналіз сучасних систем групового управління мобільними роботами _____

4.3 Розробка математичного оснащення системи управління групою гуманоїдних роботів _____

4.4 Розробка макету гуманоїдного робота _____

4.5 Провести експериментальні дослідження _____

4.5 Висновки; _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____

Графічний демонстраційний матеріал в форматі PowerPoint (*.ppt) формату А4 – 21 сторінка.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Терміни виконання етапів роботи | Примітка |
|-----|--|---------------------------------|----------|
| 1. | Аналіз літератури по темі роботи | 20.09.22 – 05.10.22 | |
| 2. | Аналіз технічного завдання | 06.10.22 – 07.10.22 | |
| 3. | Аналіз сучасних систем групового управління мобільними роботами | 08.10.22 – 11.10.22 | |
| 4. | Розробка математичного оснащення системи управління групою гуманоїдних роботів | 12.10.22 – 15.10.22 | |
| 5. | Розробка макету робота гуманоїдного типу | 16.10.22 – 20.10.22 | |
| 6. | Експериментальне дослідження | 21.11.22 – 29.11.22 | |
| 7. | Оформлювання пояснювальної записки | 30.11.22 – 06.11.22 | |
| 8. | Подання роботи на рецензію | 03.12.22 | |
| 9. | Подання роботи на підпис зав. кафедри | 06.12.22 | |
| 10. | Представлення до захисту | 12.12.22 | |

Дата видачі завдання 11 05 2022 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Євсєєв В.В. _____
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 76 с., 2 табл., 42 рис., 1 дод., 26 джерел.

РОБОТОТЕХНІКА, КЕРУВАННЯ РОБОТОМ, ГРУПОВЕ УПРАВЛІННЯ РОБОТАМИ, РОБОТ ГУМАНОЇДНОГО ТИПУ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ.

Мета роботи – вдосконалення методу керування групою мобільних роботів для виконання завдань.

Об'єкт дослідження – процес керування роботами гуманоїдами.

Предмет дослідження – методи керування групою мобільних роботів.

Методи дослідження – теорія множин, теорія графів, теорія прийняття рішень.

У процесі виконання роботи було проведено аналіз сучасних систем групового управління мобільними роботами, проведено аналіз методів керування групами роботів, проаналізовано типи зв'язку для груп роботів. Розроблено модель робота гуманоїдного типу та розроблено математичне представлення групи роботів гуманоїдного типу. Розроблено алгоритми прийняття рішень. Проведено програмну розробку функцій керування мобільним роботом гуманоїдного типу. Створено макет мобільного робота та отримано експериментальні дані щодо дальності зв'язку робота з керуючою станцією.

ABSTRACT

Explanatory note: 76 pp., 2 tables, 42 fig., 1 appendices, 26 sources.

ROBOTICS, ROBOT CONTROLLING, CONTROLLING ROBOTS GROUP, HUMANOID ROBOT, INTERNET OF THINGS.

The purpose of the work – is to improve the method of managing a group of mobile work for the performance of tasks.

The object of development – is the process of humanoid robot management.

The subject of development – is methods of managing a group of mobile work.

Research methods – set theory, graph theory, decision theory.

In the course of the work, the analysis of modern systems of group management of mobile work was carried out, the methods of managing groups of work were analyzed, and the types of communication for group work were analyzed. A model of humane-type work was developed and a mathematical representation of a group of humane-type works was developed. Algorithms for decision-making have been developed. The software development of control functions of a humanoid mobile robot was carried out. A model of mobile work was created and experimental data was obtained regarding the possibility of communication between the work and the control station.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Перелік скорочень | 3 |
| Вступ..... | 4 |
| 1 Аналіз моделей та методів групового управління мобільними роботами... 10 | 10 |
| 1.1 Аналіз сучасних систем групового управління мобільними роботами . 10 | 10 |
| 1.2 Аналіз особливостей конструкції роботів гуманоїдного типу | 21 |
| 1.3 Аналіз математичних моделей групового керування | 25 |
| 1.4 Аналіз методів групового керування | 30 |
| 1.5 Постановка задач дослідження | 32 |
| 2 Розробка математичного оснащення системи управління групою гуманоїдних роботів | 34 |
| 2.1 Розробка моделі гуманоїдного робота..... | 34 |
| 2.2 Розробка математичного представлення групи роботів гуманоїдного типу..... | 35 |
| 2.3 Розробка алгоритму прийняття рішень | 38 |
| 2.3.1 Алгоритм оцінки можливості захвату об'єкту | 39 |
| 2.3.2 Алгоритм підняття та фіксації об'єкта | 40 |
| 2.4 Розробка інформаційної моделі взаємодії в групі | 41 |
| 2.5 Висновки до другого розділу | 44 |
| 3 Розробка макету робота гуманоїдного типу | 45 |
| 3.1 Розробка структури системи керування групою роботів | 44 |
| 3.2 Розробка структури робота гуманоїдного типу | 47 |
| 3.3 Розробка алгоритму керування роботом гуманоїдного типу | 51 |
| 3.4 Розробка функцій керування..... | 56 |
| 3.5 Висновки до третього розділу..... | 60 |
| 4 Експериментальне дослідження | 61 |
| 4.1 Постановка умов проведення експерименту..... | 61 |

| | |
|---|----|
| 4.2 Проведення експерименту та розрахунок отриманих результатів дослідження | 61 |
| 4.2.1 Розробка макету робота гуманоїдного типу | 61 |
| 4.2.2 Проведення експериментальних досліджень | 65 |
| 4.3 Забезпечення умов роботи при виконанні роботи | 67 |
| 4.4 Висновки до четвертого розділу | 67 |
| Висновки..... | 71 |
| Перелік джерел посилання | 73 |
| Додаток А Демонстраційний матеріал..... | 77 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

НДР – науково-дослідна робота;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПК – персональний комп'ютер;

ШИМ – широтна-імпульсна модуляція (англ. PWM – Pulse Width Modulation);

BLE – bluetooth з малим енергоспоживанням (англ. Bluetooth Low Energy);

IoT – інтернет речей (англ. Internet of Things);

Wi-Fi – бездротова правдивість відтворення (англ. Wireless Fidelity).

ВСТУП

Роботехніка має значний вплив на технологічні революції, а саме на четверту. Групові роботи стали частиною Індустрії 4.0, як розвиток від окремих роботів та частин роботизованих систем, до формування нових автономних систем які об'єднують роботів в одну мережу.

Ця робота є актуальною, тому що системи групового керування є одним із важливих і набираючих популярність напрямків в автоматизації виробництв. Відомі виробники і дослідники в сфері робототехніки активно розвивають даний напрям і вже доказали корисність такого підходу.

Групи роботів здатні виконувати велику частину задач та мають свої переваги, такі як ціна, універсальність. Завдяки величезній варіації задач, системи роботів з груповим управлінням можуть використовуватися в багатьох сферах. До тих сфер, де такі системи вже активно розглядають для використання або вже використовують, можна віднести: військову, авіа-будівництво, пошту, хімічні виробництва, медицину та інші.

У системах груп роботів, роботи можуть координувати роботу один з одним для досягнення деяких чітко визначених цілей. У таких системах, роботи набагато менш спроможні як одиниці, але справжня сила полягає у співпраці кількох роботів.

Мета роботи – вдосконалення методу керування групою мобільних роботів для виконання завдань.

Об'єкт дослідження – процес керування роботами гуманоїдами.

Предмет дослідження – методи керування групою мобільних роботів.

Методи дослідження – теорія множин, теорія графів, теорія прийняття рішень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних систем групового управління мобільними роботами;
- провести аналіз особливостей конструкції роботів гуманоїдів;
- провести аналіз математичних моделей групового керування;
- провести аналіз методів групового керування;
- розробити математичне забезпечення системи групового керування роботами;
- розробити математичне представлення групи мобільних роботів;
- розробити алгоритм прийняття рішень;
- розробити модель інформаційної взаємодії в системі групи роботів;
- розробити структуру управління групою;
- розробити структуру роботи гуманоїдного типу;
- розробити алгоритм керування роботом гуманоїдного типу;
- розробити функції керування роботом гуманоїдного типу;
- провести експеримент и розрахувати характеристики розробленого робота гуманоїдного типу.

Звіт з кваліфікаційної роботи виконано згідно з [1], [2].

1 АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ГРУПОВОГО УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ РОБОТАМИ

1.1 Аналіз сучасних систем групового управління мобільними роботами

Світ постійно розвивається і робототехніка прискорює цей процес. Наразі відбувається четверта промислова революція, усі революції зображено на рисунку 1.1. Зараз ми живемо в епоху завершення третьої цифрової революції, що почалася в другій половині минулого століття. Її характерні риси – розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизація та роботизація виробничих процесів.

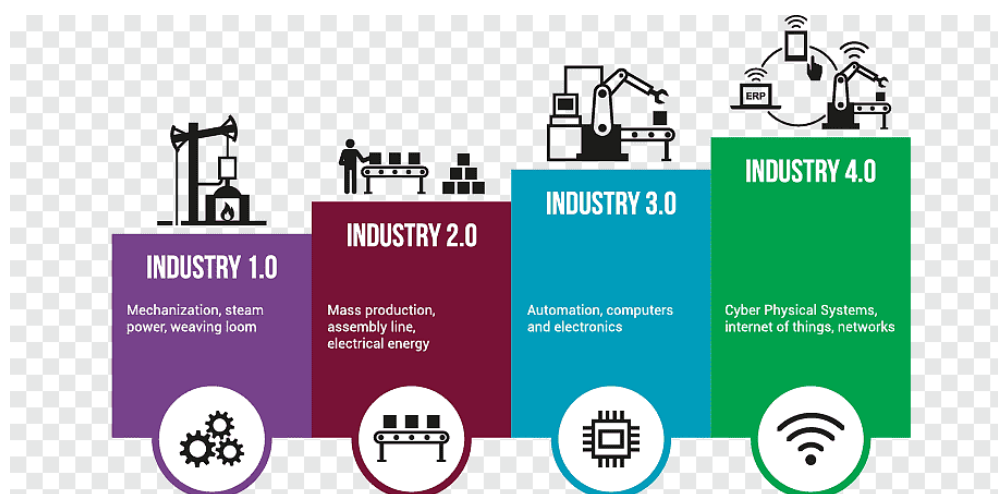


Рисунок 1.1 – Промислові революції [3]

Індустрія 4.0 це вдосконалення попередньої, та вже активно починає впроваджуватись в сучасні промисловості різних сфер. Основні варіанти використання зображені на рисунку 1.2. Сфери застосування даної революції є дуже різноманітними, до них відносяться абсолютно усі де можливо використання робототехнічних та кіберфізичних систем.

До головної риси характерної Індустрії 4.0 відноситься повна автоматизація виробництв, на яких керування всіма процесами здійснюється в режимі реального часу та враховую вплив зовнішніх факторів. Головне завдання полягає в досягненні такого рівня автоматизації підприємства, при якому всюди, де це можливо, машини можуть працювати без участі людей. В таких виробництвах, участь людей полягатиме лише в додатковому контролі, реагуванні на екстрені ситуації, та обслуговування системи як в цілому, так і окремих фізичних компонентів, яким це необхідно.



Рисунок 1.2 – Індустрія 4.0 [4]

Системи в рамках даної революції представляють кіберфізичні системи, які є відтворенням об'єктів фізичного світу, вони контролюють фізичні процеси та здатні приймати децентралізовані рішення. Такі системи можуть об'єднуватись у мережі, взаємодіяти між собою, самоналагоджуватись та самонавчатись. Важливу роль у кіберфізичних системах відіграють саме технології, вони забезпечують комунікації між персоналом та машинами, керування процесами та інше. Основною технологією індустрії 4.0 вважають

«Інтернет речей», що являє собою збірний термін, який включає дуже багато технологій. У цій технології Інтернет використовується для обміну інформацією не тільки між людьми, але і між різними машинами, пристроями, датчиками. Частини системи можуть обмінюватись даними та спілкуватись між собою будучи автономними, але людина також може втрутитись у цю систему, вносити правки, вносити певні дані або просто відстежувати протікання процесів [5].

Групові роботи стали частиною індустрії 4.0, як розвиток від окремих роботів та частин роботизованих систем, до формування нових автономних систем які об'єднують роботів в одну мережу.

Формально групу з двох або більше автономних мобільних роботів, які працюють разом, називають командами або товариствами мобільних роботів. У багато-роботних системах простим роботам дозволяється координувати роботу один з одним для досягнення деяких чітко визначених цілей. У таких системах роботи набагато менш спроможні як одиниці, але справжня сила полягає у співпраці кількох роботів. Простота мульти-роботів створила потенційно широкий набір застосувань, таких як військові місії (спостереження на полі бою), пошук тих, хто вижив у постраждалих від стихійних лих районах, паралельне та одночасне транспортування транспортних засобів і доставка корисних вантажів. Хоча дослідження багато-роботних систем привернули значну увагу в усьому світі в останнє десятиліття, дослідження в цій галузі все ще знаходяться в зародковому стані [6].

Основні властивості роботів для роботи в групових системах:

- навігація, роботи можуть орієнтуватись в просторі і рухатись відповідно до зовнішніх факторів;
- комунікація, це важлива частина в групових системах, роботи мають можливість спілкуватися один з одним для автономної сумісної роботи, також роботи можуть передавати певну інформацію на пристрої для людей, наприклад смартфон.

Завдяки таким властивостям роботи й мають можливість працювати у групі, такі новації значно розширюють функціонал та можливі сфери використання.

В системі, роботи можуть спілкуватися та взаємодіяти різним чином. На рисунку 1.3 представлено 3 основних види комунікації.

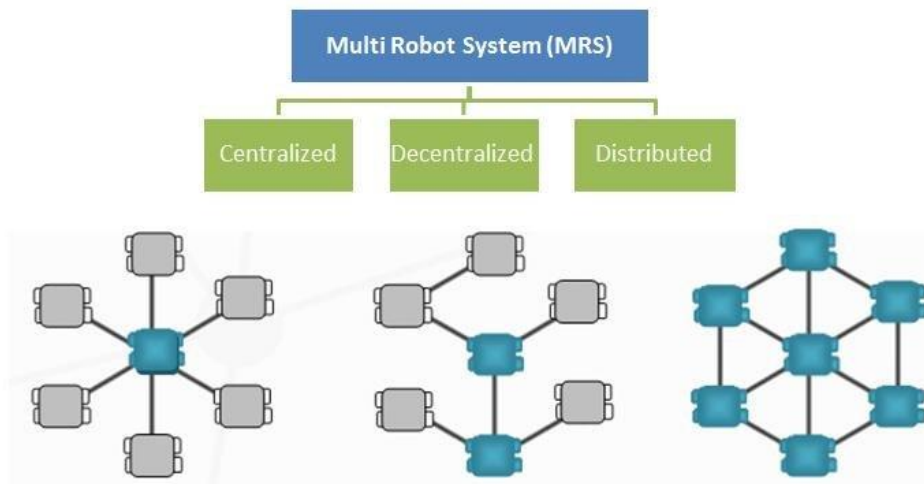


Рисунок 1.3 – Основні види зв'язку в системах роботів [7]

Виділяють 3 основних типи зв'язку між роботами. До них відноситься централізований тип, він полягає в спілкуванні не між різними роботами прямо, а в наявності центру. Ця особливість може бути корисною для роботи декількох простих роботів без складних функцій з обробки даних та одного чи декількох центральних роботів з набагато більшими можливостями. Спілкування в такій системі завжди відбувається не прямо, а через центрального члена системи. Даний робот з більшими можливостями приймає рішення й передає їх між роботами.

Другим типом зв'язку є децентралізований. Основна особливість, кожен елемент системи, тобто робот, може спілкуватись чи взаємодіяти лише з певним списком інших роботів в своїй групі. Такі системи мають як свої переваги, так і недоліки. До основного недоліку відноситься можлива відмова системи при помилці одного з роботів, що порушить ланцюг взаємодії. Уникнути цього

недоліку може допомогти можливість одного робота замінити іншого, тобто більша гнучкість.

Останнім основним типом зв'язку представлено розподілений. Даний вид зв'язку є найбільш гнучким та складним. Кожен робот, може взаємодіяти з іншими і це може відбуватись як явно, так і через інших роботів в якості посередників. Розподілений тип зв'язку є мережею і має дуже багато переваг притаманних мережевим системам.

Задачі для системи групи роботів можуть бути досить різноманітними, для прикладу, до них можна віднести:

- збирання;
- транспортування;
- певні маніпуляції з предметами;
- фарбування;
- виконання сумісних завдань з імітування певних процесів;
- печать тривимірних моделей;

На рисунку 1.4 зображені декілька прикладів задач для групи роботів.

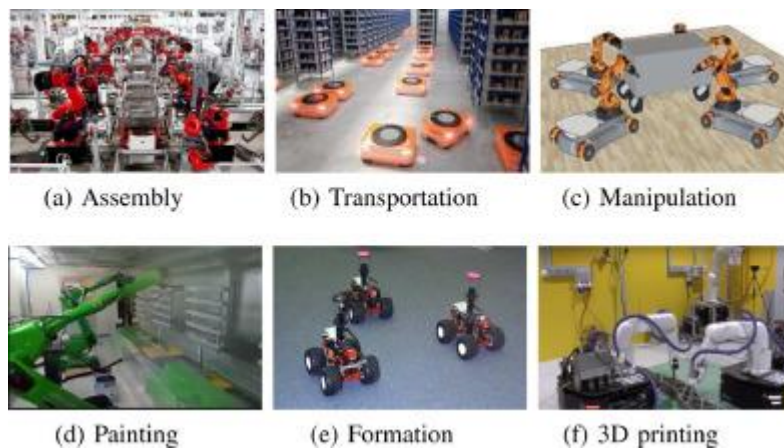


Рисунок 1.4 – Завдання для групи роботів [8]

Роботи для використання у групових системах можуть бути абсолютно різними, тому спектр можливих задач настільки широкий, що перерахувати усі

задачі не можливо. Даний напрям настільки новий, що багато можливих задач ще навіть не вигадані на даний момент.

Завдяки величезній варіації задач, системи роботів з груповим управлінням можуть використовуватися в багатьох сферах. До тих сфер, де такі системи вже активно розглядають для використання можна віднести:

- військова сфера. Роботи можуть виконувати різні завдання з розвідки, формування мап розвідки, коректування вогню та багато інших. Для таких і подібних задач використовуються роботи різних типів, від безпілотних літаків, до роботів транспортерів вибухівки;

- авіа-виробництво. Великі авіабудівні компанії, такі як, «Boeing» та «Airbus» вже використовують такі системи для збирання запчастин, транспортування сировини та для інших задач;

- пошта. «Amazon» доволі нещодавно представив роботів-поштарів для доставки пошти та невеликих вантажів;

- хімічне виробництво. Роботи використовуються для проведення певних процесів потребуючих великої точності чи небезпечних для людей;

- медицина. В медицині групи роботів допомагають в деяких складних операціях. Задачі різні, деякі роботи для переміщення важких вантажів, таких як рентген та подібні. Інші роботи з високим ступенем точності допомагають при виконанні операцій. Переваги використання роботів як частин медичних виробів очевидні. Пацієнти отримують переваги від підвищеної безпеки та точності лікування [9].

Одним з представників створених систем групових роботів є компанія «Festo» – велика міжнародна компанія з розробки та виробництва приладів, роботів для автоматизації. Дана компанія презентувала свою розробку під назвою «BionicAnt», що представляє інтегровану індивідуальну робототехнічну систему для вирішення спільного завдання. BionicANTS працюють разом за чіткими правилами. Вони спілкуються один з одним і координують як свої дії, так і рухи. Кожна мураха приймає рішення самостійно, але при цьому завжди

підкоряється загальній меті і тим самим відіграє свою роль у вирішенні поставленого завдання. Штучні мурахи, штовхаючи та тягнучи разом, пересувають об'єкт через певну ділянку. Завдяки такому розумному розподілу роботи вони здатні ефективно транспортувати вантажі, які не зміг би зрушити й один мураха [10].

Даний розробник представив дуже цікаву систему роботів, засновану на кооперативній роботі живих істот мурах. На рисунку 1.5 зображено роботів-мурах від компанії «Festo» під час виконання сумісного завдання з перенесення вантажу.

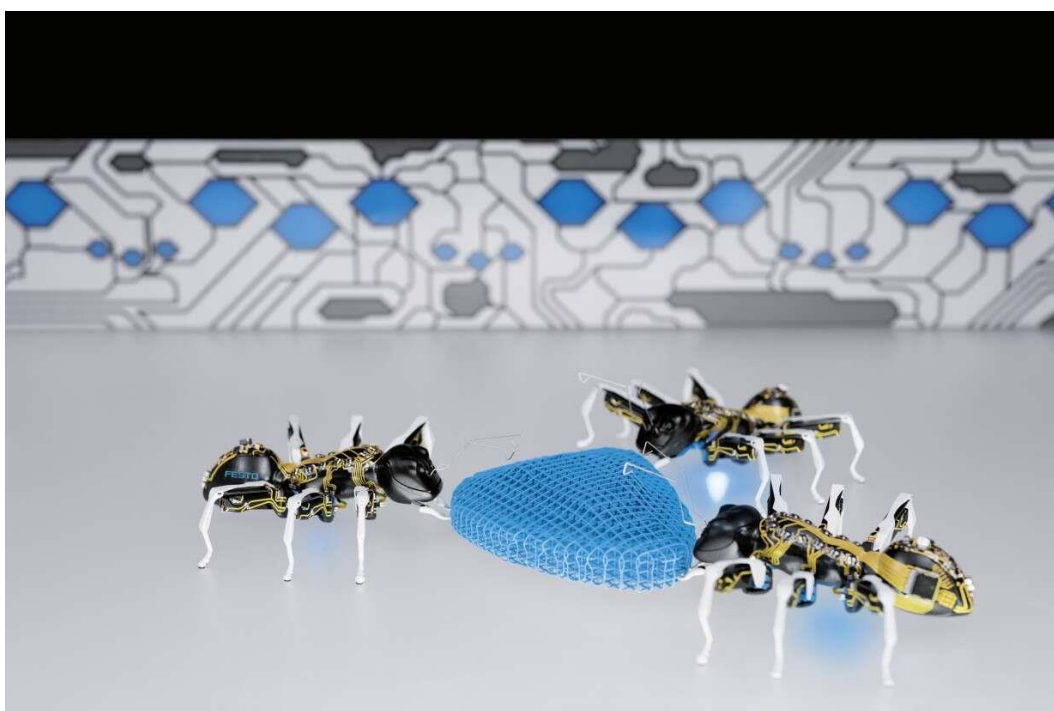


Рисунок 1.5 – Роботи-мурахи від компанії «Festo» [10]

Будова й моторні функції роботів-мурах подібні живим представникам. Будову можна побачити на рисунку 1.6. Кожний робот має стерео-камеру та оптичний сенсор для навігації, радіо-модуль для спілкування в групі, процесор, щелепи для утримання вантажу, шість кінцівок з п'єзокерамічними перетворювачами для згинання, антену для підключення до зарядного пристрою та акумулятор для автономної роботи.

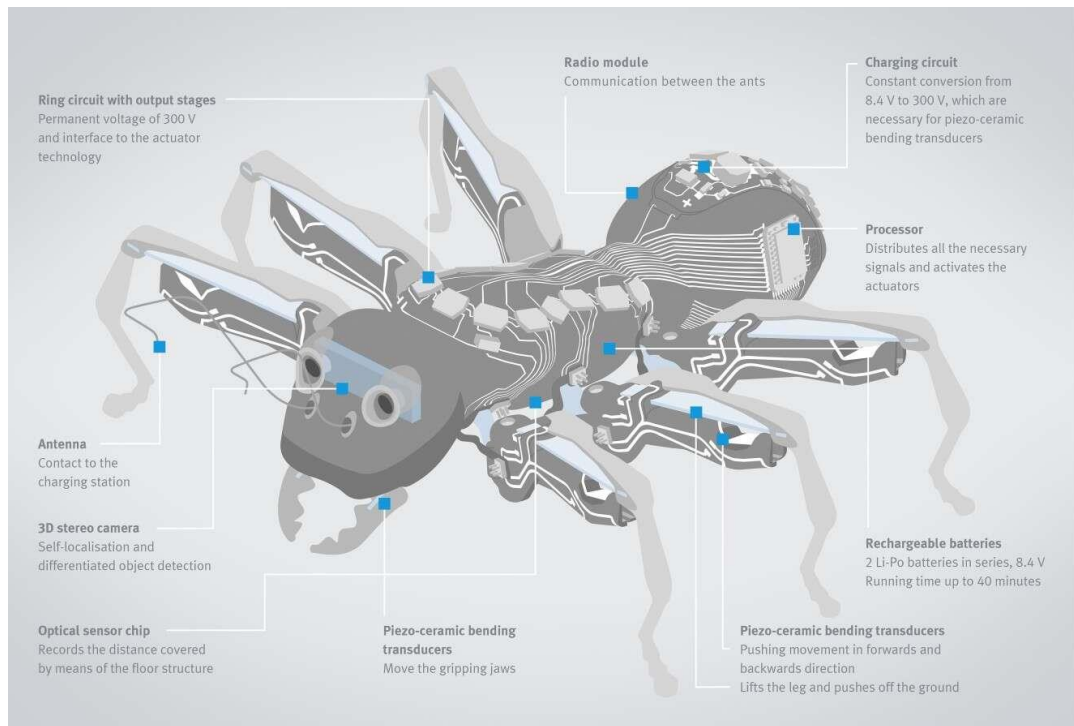


Рисунок 1.6 – Будова робота-мурахи [10]

У абстрактній манері ця кооперативна поведінка забезпечує цікаві підходи для фабрики майбутнього. Майбутнє виробництво системи будуть засновані на інтелектуальних компонентах, які налаштовуються гнучко адаптуватися до різних виробничих сценаріїв і таким чином приймати на завдання з вищого рівня контролю. BionicANT демонструють, як окремі підрозділи можуть незалежно реагувати на різні ситуації, координувати дії між собою і діяти як загальна мережева система. Штовхаючи і тягнучи разом штучні мурахи пересувають об'єкт через визначену область [10].

Іншим представником, котрий активно займається розробкою систем групових роботів, є проект «ProAct», який підтримує багато міжнародних компаній та лабораторій. Даний проект займається розробкою кооперативних систем роботів для використання на виробництвах та для освоєння космосу. На рисунку 1.7 зображено два роботи-руки під час кооперативного завдання з маніпуляції предметами.

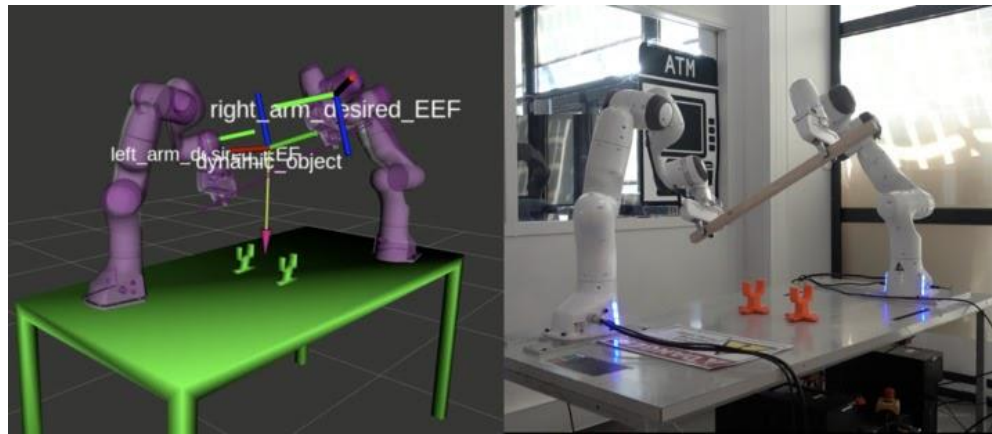


Рисунок 1.7 – Роботи-руки для групової маніпуляції з предметами [11]

Дана розробка значно зменшить роботу людини на виробництві. Зараз активно використовуються системи «робот-людина», коли з роботом-рукою взаємодіє людина, тому подібні рішення усунуть необхідність людям допомагати роботам маніпуляторам.

Іншим прикладом розробки цього проекту є система для вивчення поверхні планети. На рисунку 1.8 зображено роботи такої системи, де різні роботи кооперативно досліджують поверхню за допомогою стерео-камер, та на основі отриманих даних будується топографічна мапа.

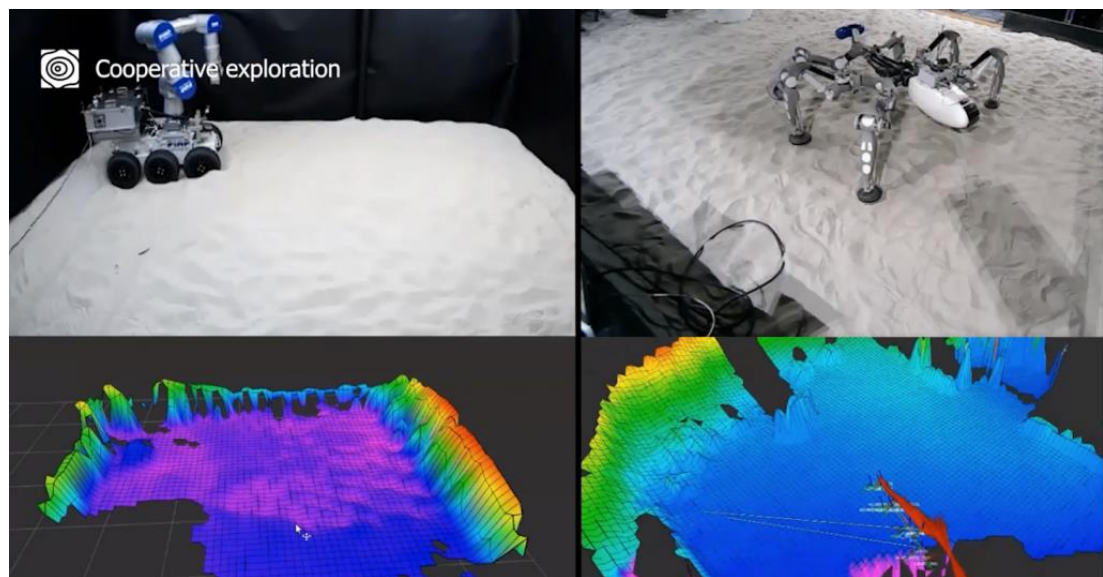


Рисунок 1.8 – Кооперативна система групи роботів для дослідження поверхні [11]

Дана розробка для вивчення поверхні вже продемонструвала свою корисність при тестовому показі. Роботи доволі швидко побудували мапу рельєфу поверхні у тестовій кімнаті з імітацією поверхні місяцю.

В цій розробленій системі, роботи спілкуються зі станцією керування, яка розподіляє команди для усіх представників.

В статті [12], розробники провели значну роботу з розробки системи групи роботів для переміщення вантажів та методу ефективної навігації команди роботів. Метод застосовується до наземних і літальних апаратів, які переміщуються в двовимірному і тривимірному середовищі серед статичних і динамічних перешкод, дозволяє змінювати конфігурацію, є ефективним і масштабованим за допомогою кількох роботів. Зокрема, ми розглядаємо два застосування: групу літальних апаратів, що здійснюють навігацію в строю, і невелику групу мобільних маніпуляторів, які спільно переміщують об'єкт. На рисунку 1.9 представлено експеримент авторів з переміщення за допомогою двох роботів маніпуляторів на динамічних платформах.

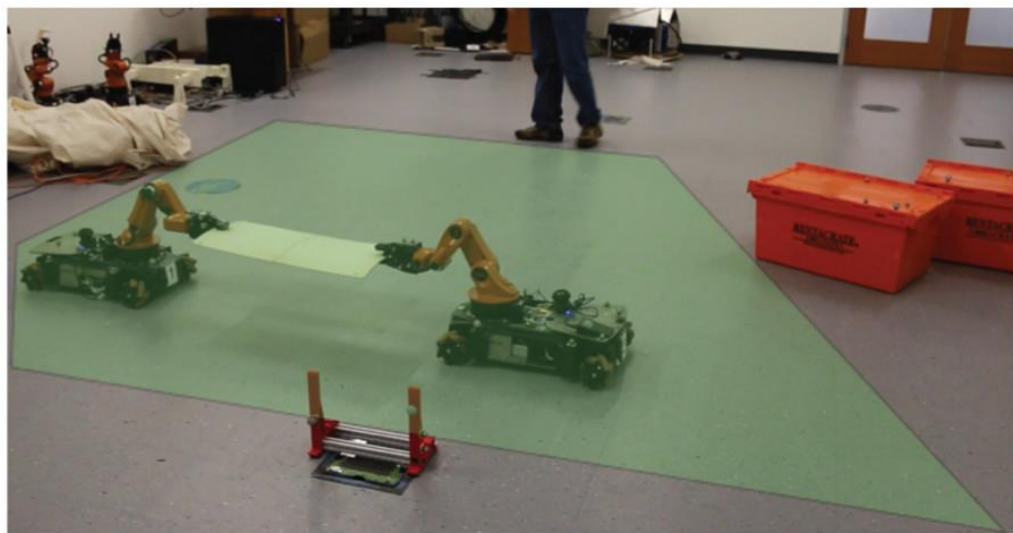


Рисунок 1.9 – Група з двох роботів переміщує предмет [12]

В роботі розроблено підхід з планування шляху роботів на основі локального планування для кожного окремого робота та формування глобального більш оптимального.

Унікальність роботи полягає не лише у ефективному плануванні, а й у динамічній зміні плану в залежності від динамічних перешкод, тобто аналіз і перебудова плану для уникнення зіткнення з об'єктом який рухається.

У роботі [13] розроблено систему групи роботів для розчищення поверхні. В даній роботі представлено централізовану систему взаємодії. Існує центральний, робот-лідер за яким слідкують усі інші і будують свій маршрут індивідуально на основі положення лідера та локальних перешкод. Як і було описано авторами, недолік цього підходу в відставанні слідкуючих роботів. Виникає це через те що лідер рухається, а інші роботи відстежують лідера та рухаються після обробки отриманих даних з певною затримкою. На рисунку 1.10 зображено експеримент авторів з використанням роботів для очистки поверхні.



Рисунок 1.10 – Роботи кооперативно виконую завдання з розчищення поверхні [13]

Як можна побачити на рисунку 1.10 робот лідер випереджає свого переслідувача. Комунікація між роботами реалізована за допомогою радіо зв'язку.

1.2 Аналіз особливостей конструкції роботів гуманоїдного типу

Робот гуманоїд, це робот, що за будовою, нагадує тіло людини. Дизайн робота може бути призначений для різних функціональних цілей, таких як взаємодія з людськими інструментами та середовищем, відтворення ходьби людини, або інших експериментів. Як і всі сервісні роботи, вони забезпечують цінність, автоматизуючи завдання таким чином, що призводить до економії коштів і продуктивності. Даний вид роботів є відносно новим, хоча вже зазнав значного розвитку й використовується.

Роботи гуманоїди можуть замінити більшість роботів, які активно використовуються нині, але є певні виключення та особливості. Такі роботи значно дорожчі за звичайних, створених для конкретних задач. Іншим недоліком є те, що деякі задачі виконуються спеціальними роботами, наприклад переміщення дуже важких вантажів, тому створення робота-гуманоїда для такої задачі є недоречним.

Основними перевагами гуманоїдної будови роботів є універсальність, завдяки такій універсальній людиноподібній будові, робота можна навчити дуже великої кількості задач, так можна замінити декількох простих роботів, одним гуманоїдним для виконання декількох задач. Іншою дуже важливою перевагою є подібність до людини та її моторики, але з значним збільшенням силових показників. Дана перевага полягає у можливості роботи з приладами, інструментами, створеними для людей. Також це означає виконання функції людей, але з більшою ефективністю завдяки збільшеній силі робота та відсутності негативних факторів притаманних людям, таким як втома, хворобливість, необачність та подібні.

Будова роботів гуманоїдів може бути різною, але обов'язково імітує людську кінематику чи частини людини. Загалом роботи-гуманоїди мають тулуб, голову, дві руки та дві ноги, на рисунку 1.11 зображено типового робота-гуманоїда.

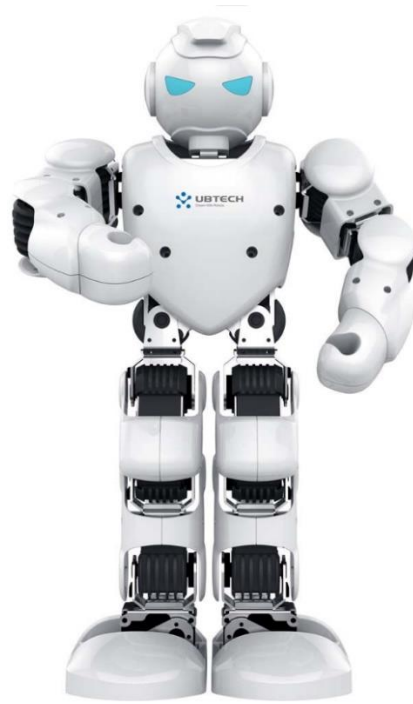


Рисунок 1.11 – Робот-гуманоїд [14]

Проте, до роботів-гуманоїдів також відносять тих, що складаються з лише частини тіла, наприклад, від талії догори. Деякі роботи-гуманоїди також мають голови, створені для копіювання людських рис обличчя, таких як очі та рот. Також роботи-гуманоїди можуть імітувати моторику рук людини, тобто мають кисті, пальці подібні людським по моториці руху. На рисунку 1.12 зображено роботів-гуманоїдів з обличчям та пальцями, подібними людським

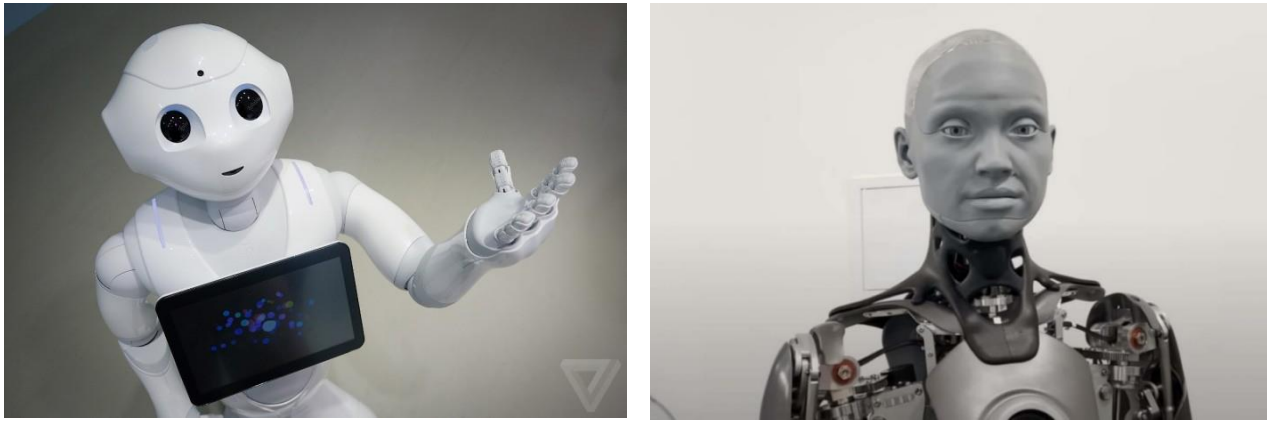


Рисунок 1.12 – Роботи гуманоїди з імітацією людського обличчя та рук
[15, 16]

Кінематика роботів-гуманоїдів завжди наближена до людської, але через велику різноманітність варіацій будови та певних обмежень, кінематичні моделі роботів-гуманоїдів відрізняються. На рисунку 1.13 зображено приклад кінематичної моделі робота-гуманоїда.

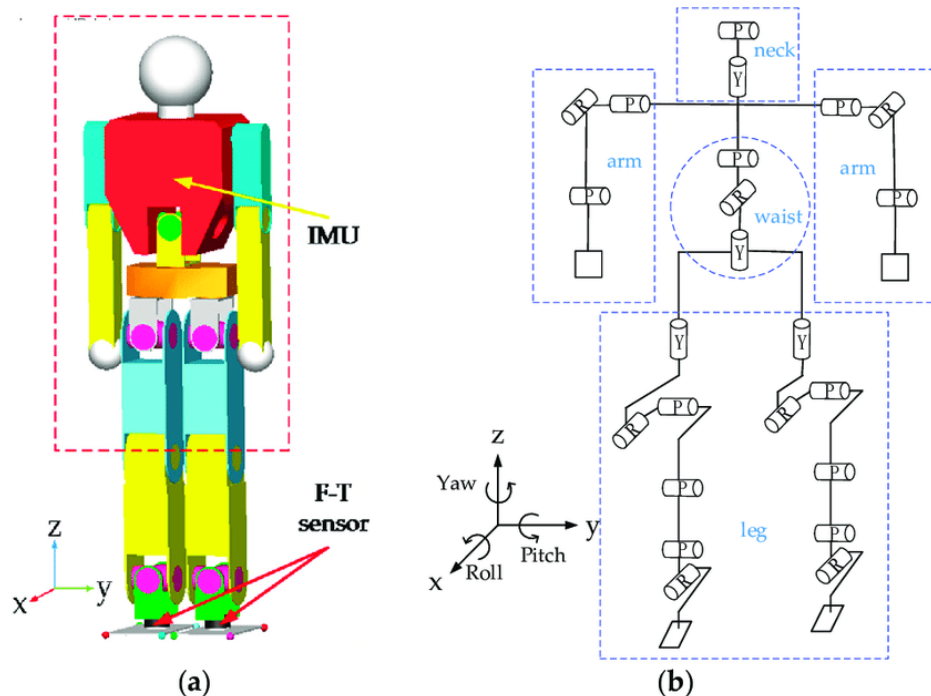


Рисунок 1.13 – Кінематична модель робота-гуманоїда [17]

На рисунку 1.13 зображено кінематичну модель базового робота, без особливих конструкційних рішень, таких як пальці, більш точна модель хребту, обличчя.

Всередині конструкції робота обов'язково використовують процесор та мотори. Як додаток можуть бути додані різноманітні оптичні сенсори, акселерометр, відеокамери, радіо-модулі та інші засоби для покращення характеристик робота та його можливостей. Також робот може бути автономним або з зовнішнім живленням.

Зазвичай у простих моделях роботів в якості двигунів використовують серводвигуни, але у більш складних і дорогих моделях використовують і гідравлічні приводи, що дозволяє робити різкі рухи, деякі розробники, а саме «Boston Dynamics» навчили робота-гуманоїда бігати та стрибати. На рисунку 1.14 зображено робота компанії «Boston Dynamics» з гідравлічними приводами в якості двигунів.



Рисунок 1.14 – Робот-гуманоїд з гідравлічними приводами від компанії «Boston Dynamics» [18]

1.3 Аналіз математичних моделей групового керування

В роботі [19] автори вирішують проблему розподілу завдань в інтелектуальному складі, тому що це має важливий вплив на ефективність усієї системи через велику кількість роботів і замовлень. У роботі пропонується метод вирішення проблеми розподілу завдань, у якому проблема розподілу завдань для кількох роботів перетворюється на транспортну проблему, щоб знайти схему розподілу завдань без зіткнень, а потім покращити можливості обробки завдань. Часове вікно виконання завдання та енергоспоживання системою роботів розглядаються як функція корисності, а функція максимізації корисності є цільовою функцією. Потім створюється цілочисельне програмне формулювання, враховуючи кількість призначень завдань для агента відповідно до обмеження споживання батареї. Проблема розподілу завдань вирішується табличним методом.

Для вирішення цього завдання автори створили математичну модель. Базові поняття для моделі:

- кожне завдання складається з серії підзадач з однаковою координатою позиції. Форма та обсяг усіх підзадач у завданні приблизно однакові;
- підзадачу слід розглядати як неподільну одиницю, яку може бути виконане роботом. На одному рядку можна зберігати кілька різних підзадач;
- здатність робота виконувати завдання залежить від споживання батареї робота. Роботи мають однакову швидкість, а рух відбувається з постійною рівномірною швидкістю;
- взаємодія між роботами не враховується, враховується лише вплив вартості часу виконання завдання на робота;
- розмір зусилля робота i до задачі j – це x_{ij} , де $i = 1, 2, \dots, n$, а $j = 1, 2, \dots, m$;
- загальний ресурс для зусилля від робота i це a_i , де $i = 1, 2, \dots, n$;

- загальний потреба зусилля до задачі j – це b_j , де $j = 1, 2, \dots, m$;
- вигода від надсилання однієї одиниці продукту роботом i до задачі j дорівнює s_{ij} , де $i = 1, 2, \dots, n$, а $j = 1, 2, \dots, m$.

Проблема розподілу завдань між кількома роботами полягає в тому, як розподілити кількох роботів для виконання завдання та як одночасно виконати завдання кількома роботами. Цей вид проблеми розподілу завдань із кількома роботами можна виразити у вигляді матриці:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{1\dots} & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & y_{2\dots} & y_{2m} \\ y_{\dots} & y_{\dots} & y_{\dots} & y_{\dots} \\ y_{n1} & y_{n2} & y_{\dots} & y_{nm} \end{bmatrix}. \quad (1.1)$$

Кожен робот має заданий рівень пропозиції, а кожне завдання має певний рівень потреби в зусиллі. Тоді цю проблему розподілу можна було б перетворити на проблему транспортування.

Ця математична модель включає цільову функцію та обмеження. Складська компанія має n багатозадачних роботів і m багатозадачних. В розрахунках, під літерою i вважається робот під номером, а під j номер певної задачі. Для кожного i та любого j , вартість транспортної витрати на одиницю складає s_{ij} , а розмір зусилля є x_{ij} . Сума всіх i та j дає загальну вартість транспортування для всіх комбінацій робот-завдання. Тоді цільова функція:

$$\max f = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij}. \quad (1.2)$$

Розглянули робота i та задачу j . Загальний розмір продукту не може перевищити b_j , і загальний попит не повинен бути меншим за a_i . Тоді заборони такі:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq b_j \quad (j = 1, 2, \dots, m), \quad (1.3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \geq a_i \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1.4)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m). \quad (1.5)$$

Авторами [19] проведено імітаційне моделювання методів на основі табличного методу роботи. Результати показують, що метод має хорошу продуктивність і може підвищити ефективність виконання завдання.

В роботі [20] представлено математичну модель групової кооперативної мисливської поведінки роботів. В приведеній роботі, кілька роботів намагаються знайти та оточити здобич. Коли робот виявляє здобич, він формує наступну команду. Коли інший «пошуковий» робот виявляє ту саму здобич, роботи формують нову команду охотників. Поки чотири роботи не виявлять ту саму здобич, здобич зникає з симуляції, і роботи повертаються до пошуку іншої здобичі. Якщо до наступної команди не вдається приєднатися іншому робот протягом певного часу, команда розпускається, а роботи повертаються до стану пошуку. Математична модель формується набором рівнянь швидкості. Еволюція колективної мисливської поведінки роботів являє собою перехід між різними станами роботів. Складна колективна мисливська поведінка виникає через локальну взаємодію. У статті [20] наведено чисельні рішення нормалізованих версій рівнянь моделі та надано як стаціонарний стан, так і аналіз коефіцієнта співпраці. За допомогою математичного моделювання авторами показано, що

значення часу затримки є сильним фактором продуктивності системи, а також відносної кількості пошукових роботів і здобичі.

Рівняння швидкості отримують із рівняння скінченної різниці, яке описує, як змінюється середня кількість роботів у кожному стані протягом деякого інтервалу часу. Для системи групи роботів в статті, рівняння швидкості є детермінованими. Диференціальну форму рівняння швидкості отримують прийнявши межу часового інтервалу рівною нулю. Рівняння швидкості описує середні величини динаміки багато-роботної системи. Точність моделі пов'язана з розміром стохастичних систем. Автори вказали, що у певному діапазоні, модель часто краще відображає еволюцію колективної поведінки зі збільшенням розміру системи.

В роботі [20] розроблено модель мережі Петрі для аналізу складної колективної поведінки багато-роботних систем. Діаграма мережі Петрі з'єднує всі стани з різними швидкостями переходу між станами. Математична модель багато-роботної системи складається з серії пов'язаних рівнянь швидкості, кожне з яких описує, як динамічні змінні змінюються в часі. Кожен стан відповідає динамічній змінній у моделі.

Модель мережі Петрі зображена на рисунку 1.15. Стрілки вказують напрямки переходу стану в моделі. Стрілки, позначені літерою U , вказують на перехід стану під час очікування. Час затримки τ є максимальним часом очікування. Стрілка, позначена літерою S , вказує на перехід стану, тоді як наступна команда з трьох хижаків отримує співпрацю від своїх супутників у час очікування. Інші стрілки вказують на перехід стану, коли пошуковий робот виявляє наступну команду та приєднується до команди.

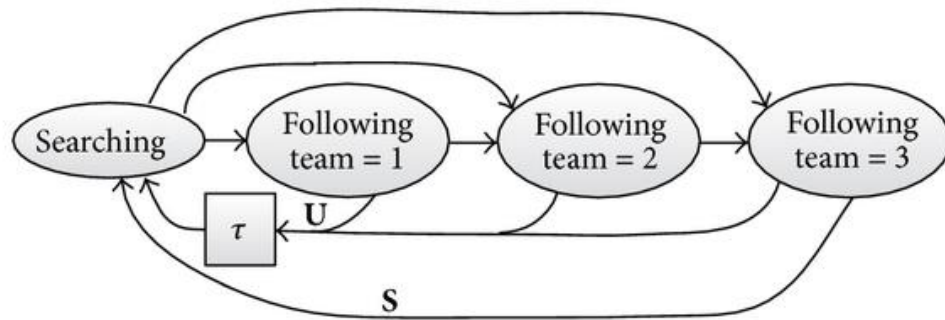


Рисунок 1.15 – Діаграма моделі мережі Петрі для групи роботів мисливців [20]

У математичній моделі кожен стан вказує на динамічну змінну. Динамічні змінні відповідають середній кількості роботів у певному стані, яка є наближенням дискретної кількості роботів. $N_s(t)$ означає кількість роботів у стані пошуку в момент часу t . $N_1(t)$ означає кількість роботів першої групи у стані переслідування, $N_2(t)$ означає кількість роботів другої групи у стані переслідування, $N_3(t)$ означає кількість роботів третьої групи у стані переслідування. В математичній моделі поведінки кооперативного полювання авторів [20], всі роботи рівномірно розподілені в робочому просторі в початковому стані. Математична модель, що описує еволюцію динамічних змінних системи, представлена наступними рівняннями:

$$\begin{aligned} \frac{dN_s(t)}{dt} = & -\alpha N_s(t)(M(t) - N_w(t)) - N_s(t)(a_1 N_1(t) + a_2 N_2(t)) + \\ & 3a_3 N_s(t) N_3(t) + \alpha N_s(t - \tau)(M(t - \tau) - N_w(t - \tau)) \Gamma_1(t; \tau) + N_s(t - \\ & - \tau)(a_1 N_1(t - \tau) \Gamma_1(t; \tau) + 2a_2 N_2(t - \tau) \Gamma_2(t; \tau)), \end{aligned} \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} \frac{dN_1(t)}{dt} = & \alpha N_s(t)(M(t) - N_w(t)) - a_1 N_s(t) N_1(t) - \alpha N_s(t - \\ & - \tau)(M(t - \tau) - N_w(t - \tau)) \Gamma_1(t; \tau), \end{aligned} \quad (1.7)$$

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = \alpha_1 N_s(t) N_1(t) - \alpha_2 N_s(t) N_2(t) - 2a_2 N_2(t - \tau) \Gamma_2(t; \tau), \quad (1.8)$$

$$\frac{dM}{dt} = -\alpha_3 N_s(t) N_3(t), \quad (1.9)$$

$$N_w(t) = N_1(t) + N_2(t) + N_3(t), \quad (1.10)$$

$$N_3(t) = \frac{N_0 - N_1(t) - 2N_2(t) - N_s(t)}{3}. \quad (1.11)$$

де параметр α – швидкість виявлення однієї жертви для хижаків;

α_n – швидкість виявлення наступної команди з n хижаками;

τ – час очікування;

$\Gamma_n(t; \tau)$ – швидкість відмови від завдання полювання наступної команди з n хижаками в заданий час τ .

1.4 Аналіз методів групового керування

Основні види зв'язку у груповому керуванні приведено в п. 1.1, та їх варіація розширила список методів керування. Тобто для кожного типу зв'язку розроблено декілька методів.

В централізованому типі зв'язку існує один головний робот та усі інші підлеглі. Завдяки такому типу зв'язку існує метод керування з назвою «Лідер-наслідник». Основний принцип роботи системи можна пояснити як керування, тобто формування завдання для лідера, а усі його наслідники самі зможуть побудувати собі маршрут, чи певні функції на основі зв'язку з лідером, тобто завдання наслідників відстежувати лідера, можливо отримувати від нього певні команди і будувати свій план роботи на основі цих даних. Такий підхід зарекомендував себе у системах де потрібно лише виконувати завдання з руху,

але можна його використовувати і з більш складними завданнями. Окрім будування індивідуального плану, маршруту для кожного наслідувача окремо, вони також його адаптують в залежності від перепон на шляху, в вигляді зовнішніх об'єктів так і інших роботів.

В іншому варіанті методу «лідер-наслідник», лідер може керувати наслідниками для виконання сумісного завдання.

Для децентралізованого зв'язку існує метод, що є більш розвиненим методом «лідер-наслідник», в даному випадку роботи розподіляються на групи з лідерами, в свою чергу лідери можуть обмінюватись даними між собою.

Існує метод з назвою «лідер-сусід» і він представляє децентралізований та розподілений тип зв'язку. Для даного методу характерна можливість обміну даними з лідером як в централізованій системі, та обмін з сусідами-наслідниками. Приклад групи роботів з описаним методом зображено на рисунку 1.16. Це окрема система, що складається з лідера та декількох наслідників, за допомогою зв'язку з сусідами, вони можуть сформувати певну сітку навколо лідера і підтримувати її при переміщенні лідера, або взаємодіяти з сусідами.

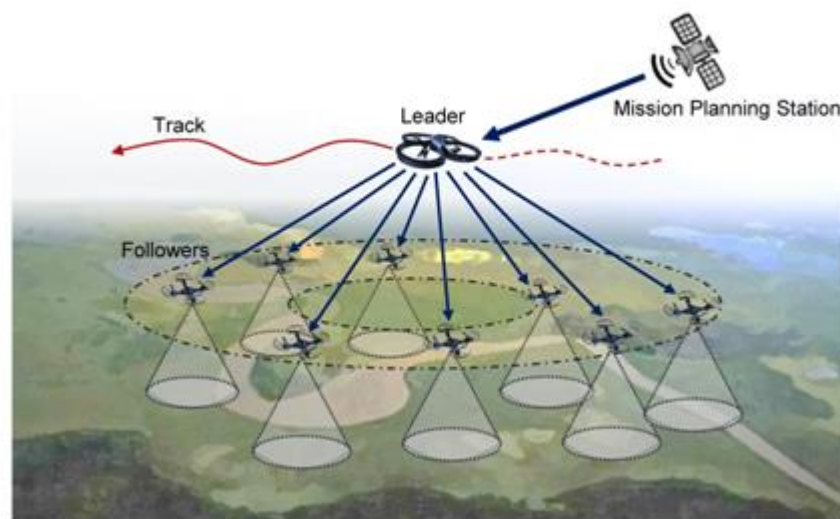


Рисунок 1.16 – Система групи роботів за методом «лідер-сусід» [21]

Для розподіленого типу зв'язку існує декілька методів, усі вони характеризуються відсутністю лідера і певних ролей в системі. Є колективний варіант розподіленого типу зв'язку, це означає що при виникненні певної задачі, роботи обмінюються даними і розподіляють завдання і ролі для рішення сумісної задачі на основі колективного рішення. Також існує ще варіант рою, такі системи схожі на природних представників, таких як мурахи та бджоли. В цьому варіанті роботи не обмінюються даними з усіма членами системи, а лише з найближчими і приймають рішення на основі власних отриманих даних з оточення, та даних від найближчих сусідів.

Розглянувши основні методи керування, можна проаналізувати їх використання в системі групового керування роботами гуманоїдного типу. Оскільки роботи гуманоїдного типу дуже універсальні, будь-який метод буде працювати, але головним фактором для обирання методу керування групою гуманоїдних роботів є певні особливості задачі.

1.5 Постановка задач дослідження

В ході аналізу сучасних систем групового керування мобільними роботами, було виявлено декілька цікавих прикладів реалізації таких систем, було виділено велику кількість можливих задач для таких систем. Також було виявлено що майже не представлено роботів гуманоїдного типу для групових систем.

Провівши аналіз особливостей конструкції роботів гуманоїдного типу, було розглянуто певні особливості, такі як:

- можливість неповної будови, тобто тільки нижні кінцівки, або навпаки тулуб та верхні кінцівки;
- можливість додання функціоналу пальців подібних до людських, та обличчя;

– різні варіанти двигунів, такі як гідравлічні та механічні, тобто серводвигуни.

Було проаналізовано декілька математичних моделей існуючих систем та виділено основні методи керування групою роботів, та їх варіанти.

На основі вище сказаного, дана робота є актуальною.

Мета роботи – вдосконалення методу керування групою мобільних роботів для виконання завдань.

Об'єкт дослідження – процес керування роботами гуманоїдного типу.

Предмет дослідження – методи керування групою мобільних роботів.

Методи дослідження – теорія множин, теорія графов, теорія прийняття рішень.

Для досягнення мети, необхідно:

- розробити математичну модель гуманоїдного робота;
- розробити математичне представлення групи гуманоїдних роботів;
- розробити алгоритм прийняття рішень;
- розробити інформаційну модель взаємодій всередині системи;
- розробити структуру керування групою роботів;
- розробити структуру гуманоїдного робота;
- розробити алгоритм керування гуманоїдним роботом;
- розробити функції керування роботом.

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОГО ОСНАЩЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГРУПОЮ ГУМАНОЇДНИХ РОБОТІВ

2.1 Розробка моделі гуманоїдного робота

На основі отриманого завдання та певних особливостей, виділених у першому розділі, розробимо модель гуманоїдного робота з набором необхідних параметрів. Для розробки моделі гуманоїдного робота введемо декілька понять:

R_i – математичний опис параметрів гуманоїдного робота R_i ;

M – вага робота;

H – висота робота;

ϵA – кути повороту кінцівок;

αF – кут нахилу корпусу вперед;

αB – кут нахилу корпусу назад;

S_{\min} – мінімальний розмір предмету для захвату;

S_{\max} – максимальний розмір предмету для захвату;

MO_{\min} – мінімальна вага предмету для захвату;

MO_{\max} – максимальна вага предмету для захвату;

C – колір робота;

β – кути нахилу поверхні для стійкості;

V_f – швидкість руху вперед;

V_b – швидкість руху назад;

V_t – швидкість повороту.

Визначивши основні параметри робота, можемо створити його модель, яка матиме вигляд формули (2.1):

$$R_i = \langle M, H, \epsilon A, \alpha F, \alpha B, S_{\min}, S_{\max}, MO_{\min}, MO_{\max}, C, \beta, V_f, V_b, V_t \rangle. \quad (2.1)$$

2.2 Розробка математичного представлення групи роботів гуманоїдного типу

На основі отриманого завдання та розробленої моделі гуманоїдного робота, розробимо математичне представлення групи таких роботів в системі. Представимо систему у вигляді графів та проведемо розробку алгоритму прийняття рішень у системі для виконання завдання.

Для розробки математичного представлення групи роботів гуманоїдного типу, введемо декілька базових понять:

D – дистанція до предмету (дистанція до об'єкту по прямій лінії від мобільного робота);

P – маршрут до предмету (довжина побудованої лінії до об'єкту від мобільного робота враховуючи перешкоди);

E_h – наявний заряд у робота (значення заряду акумулятора робота в міліамперах на момент отримання задачі);

E_t – витрати заряду для виконання задачі (розраховані витрати, які будуть витрачені на повне виконання задачі та повернення до місця зарядки);

G – ціль (головна ціль і задача, яку необхідно вирішити для досягання мети, яка поступила від керуючого пристрою на виконання до мобільного робота).

Побудуємо граф та визначмо вершини як мобільних роботів R_i з параметрами, які було визначено в розділі 2.1 та додамо новий набір параметрів за формулою (2.2):

$$Task_i = \langle D, P, E_h, E_t, G \rangle. \quad (2.2)$$

Беручи за основу поставлені цілі даного дослідження, в робочій зоні існує декілька, не менше двох, мобільних роботів з однаковими наборами параметрів, тому можна представити положення мобільних роботів у робочій зоні у вигляді замкнутого графу .

Побудований граф для трьох роботів гуманоїдного типу зображено на рисунку 2.1.

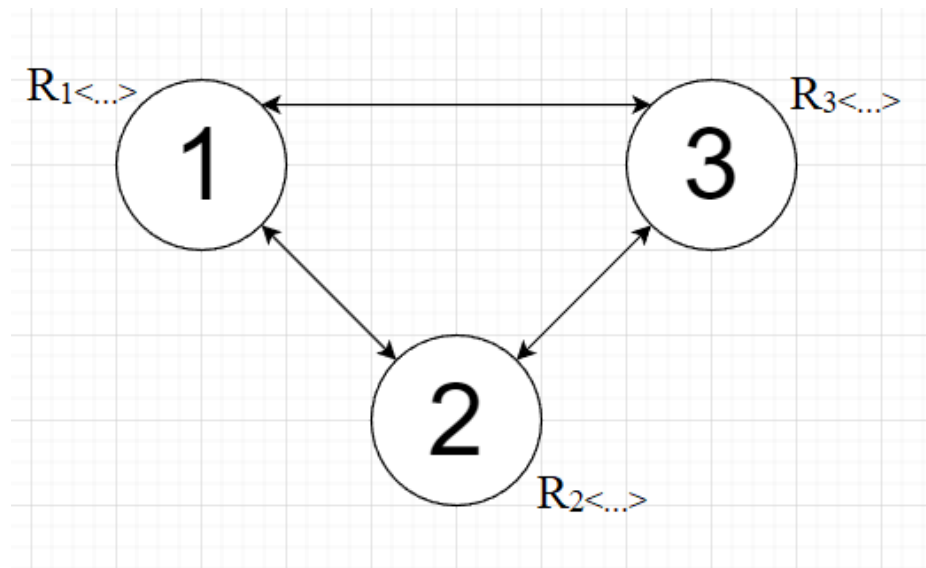


Рисунок 2.1 – Граф представлення трьох роботів

Мобільні роботи можуть мати інформаційний зв'язок з іншими, тому визначимо таку можливість символом – θ . Така можливість інформаційного зв'язку може бути представлена всередині певної групи роботів – Ω , в робочій зоні, яку визначмо символом – Δ .

На основі запропонованого визначення групи роботів, введемо ще одне поняття існування груп роботів – Ψ . Нехай існує група роботів, яка об'єднана певним спільним Task, для виконання якого, необхідно щоб кількість роботів у групі була не менше двох, інакше це буде самотній робот.

На рисунку 2.2 зображено розроблений граф з доданням інформаційного зв'язку для групи двох роботів, маючих спільне завдання, також додано об'єкт в робочій зоні. На рисунку 2.2 існує група двох роботів з інформаційним зв'язком та поєднаних спільною задачею – Task_1 .

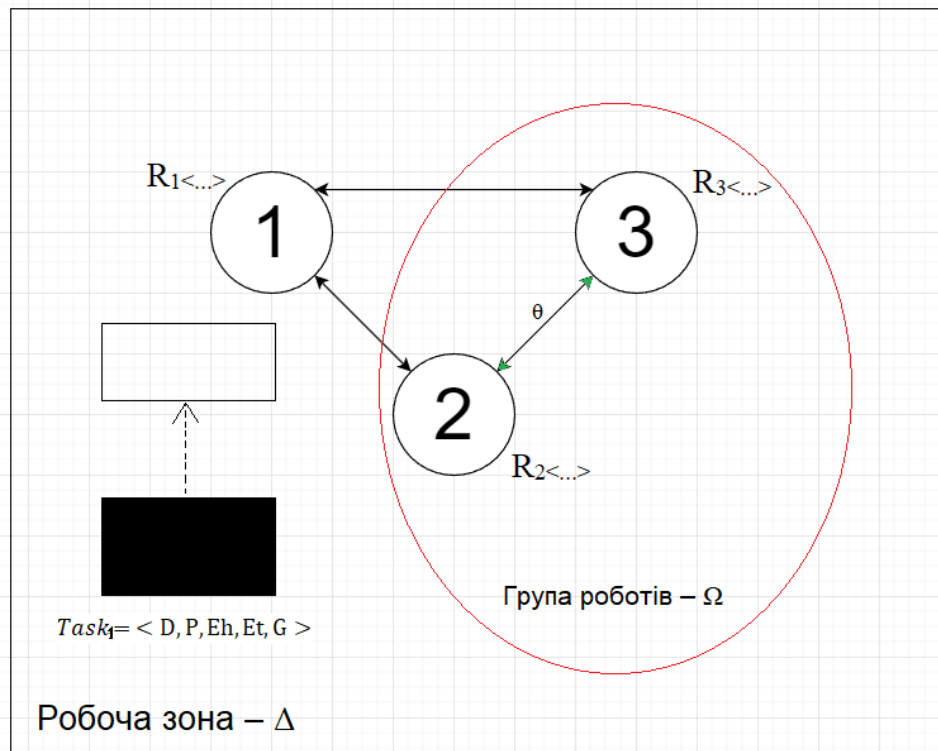


Рисунок 2.2 – Граф групи двох роботів зі спільною задачею

На основі зображених графів та введених понять, розглянемо алгоритм прийняття рішень з математичної точки зору для групи роботів з спільною задачею.

Алгоритм починається з отримання завдання для групи роботів. Далі у групі роботів приймаються рішення на основі даних кожного робота. Дані для прийняття рішення такі:

- заряд батареї та розраховані витрати на виконання завдання;
- довжина маршруту до цілі;
- вид завдання.

Розроблений алгоритм зображено на рисунку 2.3.

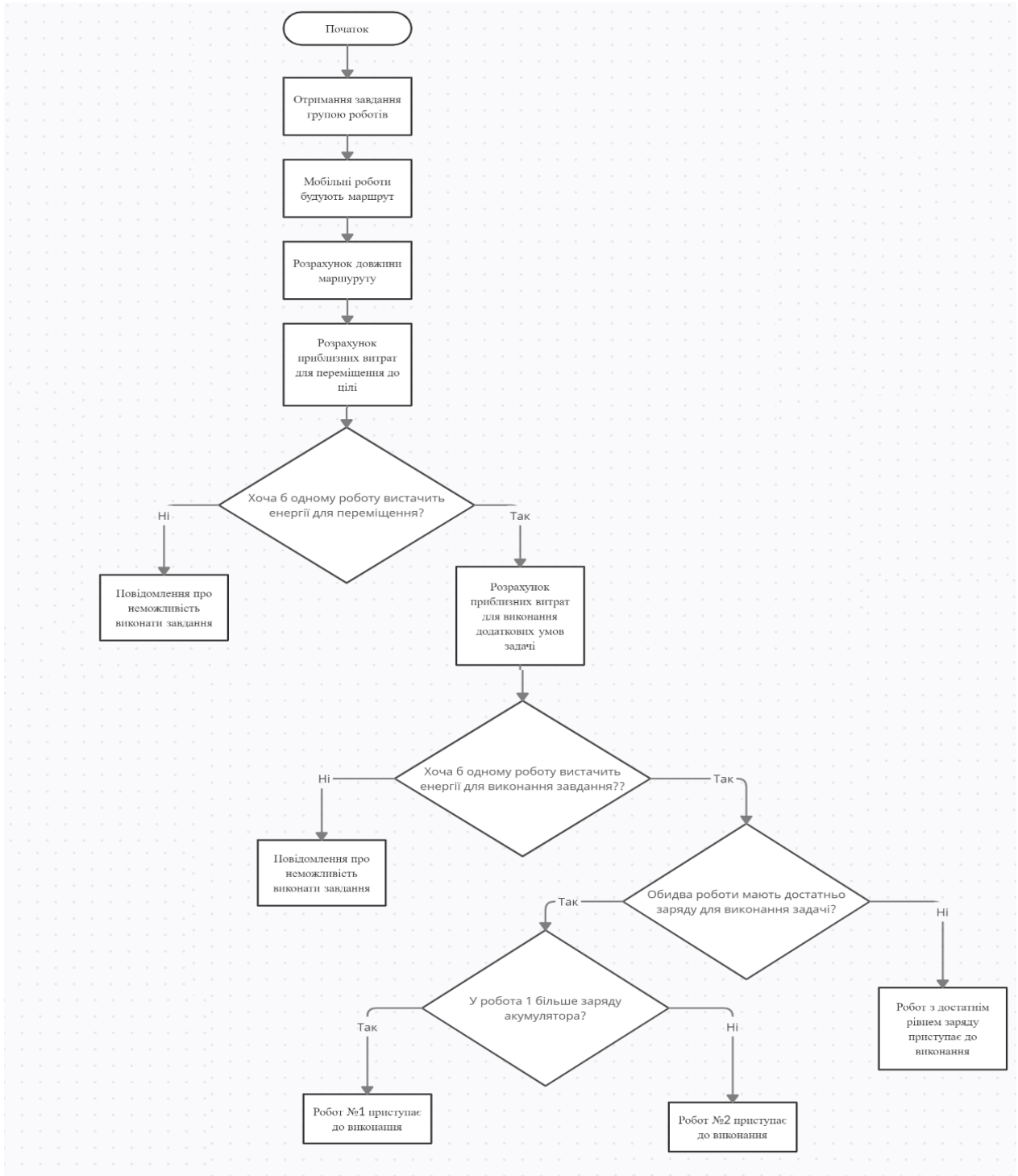


Рисунок 2.3 – Алгоритм математичного прийняття рішень в групі

2.3 Розробка алгоритму прийняття рішень

Кожен робот у системі групи роботів гуманоїдного типу повинен мати набір певних алгоритмів для прийняття рішень. Алгоритми прийняття рішень

необхідні для більшої автономності системи, тобто ціль таких алгоритмів перекласти певну відповідальність на систему роботів.

2.3.1 Алгоритм оцінки можливості захвату об'єкту

Цей алгоритм вирішує проблему неможливості фізичного захвату об'єкту та уникнення марних спроб це зробити.

На рисунку 2.4 зображено розроблений алгоритм в вигляді блок-схеми, результат алгоритму полягає в прийнятті рішення про можливість спроби підняти об'єкт. Алгоритм починається з приближення робота до об'єкту, після чого, отримуються та розраховуються параметри об'єкту завдяки даним з відео камери. Основний параметр об'єкту, який є важливим в даному алгоритмі, є ширина. У робота обмежені можливості по захвату широких об'єктів, тому проводиться перевірка ширини об'єкту на перевищення можливостей робота по захвату.

Якщо об'єкт є завеликим, робот оцінює можливість підійти до об'єкту з іншого боку та повторити перевірку на відповідність розмірів. Якщо ж немає можливості обійти об'єкт чи було перевірено усі можливі сторони, робот відправляє на головний керуючий пристрій повідомлення про помилку та неможливість виконання завдання.

Якщо ширина об'єкту є допустимою для спроби захвату, робот виконає спробу та перейде до алгоритму захоплення та переміщення об'єкту.

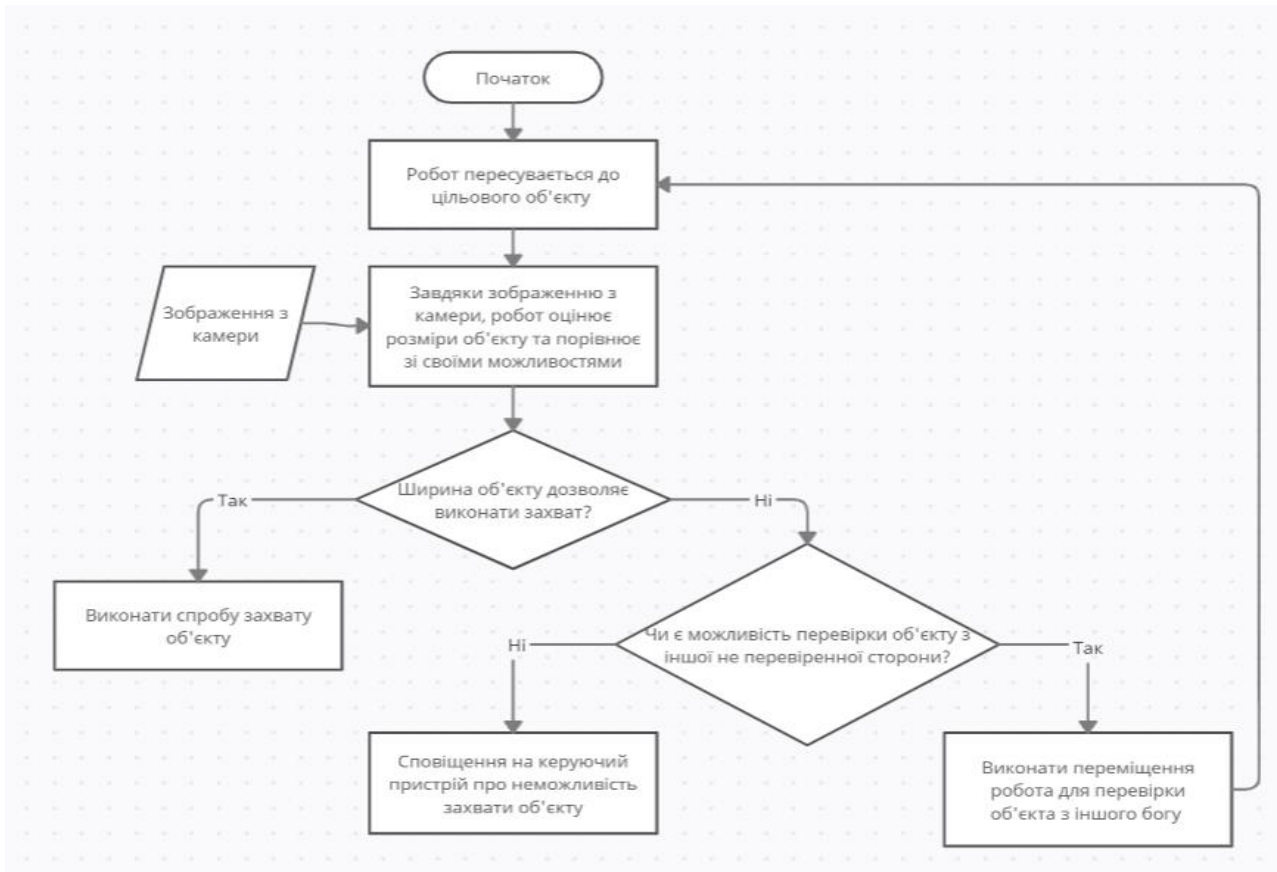


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму оцінки можливості захвату об'єкту

2.3.2 Алгоритм підняття та фіксації об'єкта

В даному алгоритмі мається на увазі, що робот повинен виконати фіксування об'єкта між руками та підйом від поверхні та повідомити про необхідність допомоги в разі невдачі. Цей алгоритм виконується лише в разі успішного виконання попереднього, тобто робот прийняв рішення про спробу захвату об'єкта, тоді він приступає до виконання цього алгоритму.

На рисунку 2.5 зображено даний алгоритм в вигляді блок-схеми. Даний алгоритм починається з спроби схопити об'єкт руками робота та виконати підняття на висоту для зручного переміщення. Після спроби підняти об'єкт, робот за допомогою камери перевіряє чи успішно вдалось захопити і підняти об'єкт, також після підняття робот ще один раз перевіряє чи не впав об'єкт. В разі успіху, робот починає виконувати задачі з переміщення чи очікує інших команд. В іншому випадку робот виконує ще дві спроби підняти об'єкт та в разі

невдачі сповіщає керуючому пристрою про невдачу та необхідність долучити інших роботів для виконання цього завдання.

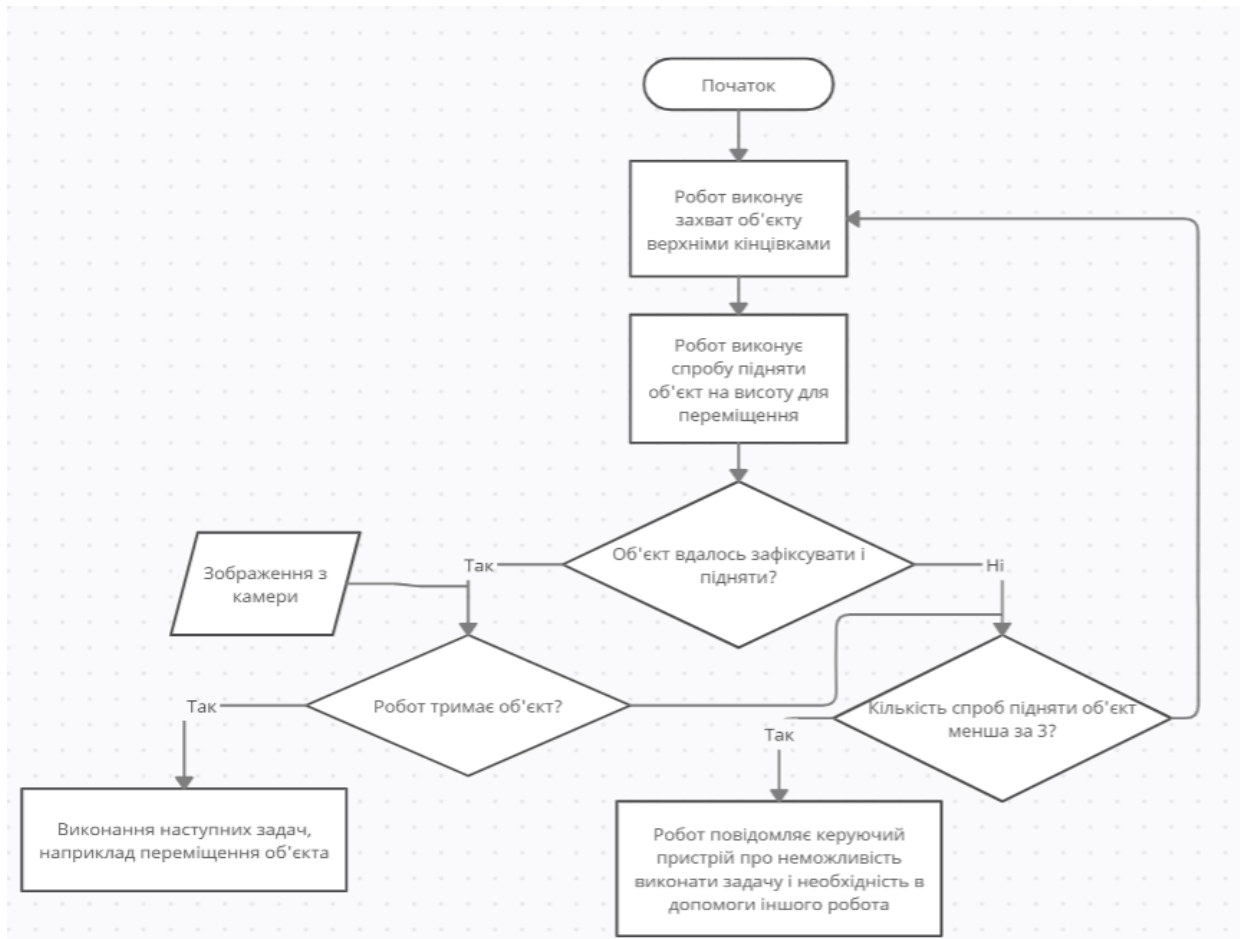


Рисунок 2.5 – Блок-схема алгоритму підняття та фіксації

2.4 Розробка інформаційної моделі взаємодії в групі

Враховуючи особливості будови роботів гуманоїдного типу та різноманіття можливих задач, які вони можуть виконувати, було обрано мережеву модель зв'язку у групі.

Мережева модель має багато переваг, таких як гнучкість, більша точність, відсутність необхідності повного контролю одним пристроєм та інші. Але є один головний недолік у вигляді складності такої моделі.

Інформаційна модель представлена на рисунку 2.6.

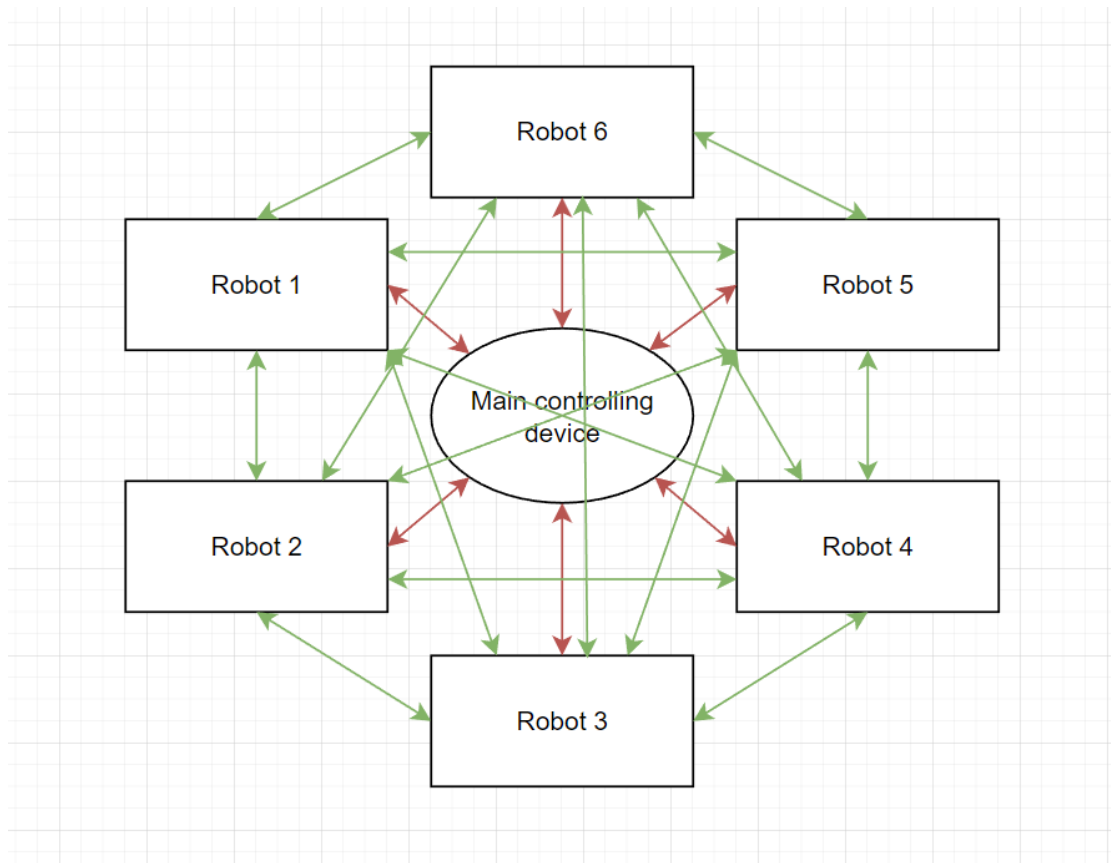


Рисунок 2.6 – Інформаційна модель взаємодії в групі з мережевим типом зв'язку

Як можна побачити на рисунку 2.6, в даній мережевій моделі, існує шість роботів та один головний контролюючий пристрій.

Головний контролюючий пристрій може обмінюватись інформацією у двосторонньому напрямку з кожним роботом, це також означає що він може лише відстежувати обмін інформації між роботами без втручання в їх обмін.

Основні інформаційні можливості головного контролюючого пристрою такі:

- формування задач для одного або більше роботів, наприклад з переміщення робота, або переміщення певного об'єкту в робочій зоні за допомогою робота;
- отримання інформації щодо статусу виконання задач;
- коректування або видалення створених задач;
- координування роботів в робочій зоні;

- реагування на невдале виконання задачі й прийняття рішень для відновлення задачі.

Шість роботів в представленій моделі мають зв'язок з головним пристроєм та з кожним іншим роботом у моделі. Основне обмеження, можлива втрата зв'язку. Роботи мають можливість взаємодіяти між собою та обмінюватись інформацією для спільного виконання завдання чи координування в робочій зоні без втручання головного пристрою. Основні інформаційні можливості кожного робота:

- обмін інформацією щодо статусу виконання, сповіщення про помилки з головним пристроєм;
- обмін інформацією та координування сумісних рухів з іншим роботом чи роботами;
- отримання задач від головного пристрою.

Приклад структури повідомлення в мережі на рисунку 2.7. В даному прикладі представлено повідомлення формування задачі від головного пристрою до одного робота. В цьому повідомленні є такі поля:

- ID_SENDER – унікальний номер пристрою що відправляє повідомлення, головний пристрій керування також матиме свій унікальний номер;
- ID_RECEIVER – унікальний номер пристрою, для кого відсилається повідомлення;
- TASK_ID – номер задачі, яку потрібно буде виконати;
- ADDITIONAL DATA FOR TASK – додаткова інформація для виконання поставленої задачі, дане поле є варіативним і може містити різну інформацію в залежності від типу задачі.

Є два обов'язкових поля, таких як ID_SENDER та ID_RECEIVER, ці поля будуть існувати в кожному повідомленні для функціонування системи. Інші поля є необов'язковими та можуть бути відсутні в деяких випадках, наприклад у

випадку перевірки зв'язку, тобто пристрої лише перевіряють успішне відправлення і отримання повідомлень між собою без виконання задач.

| | | | |
|-----------|-------------|---------|--------------------------|
| ID_SENDER | RECEIVER_ID | TASK_ID | ADDITIONAL DATA FOR TASK |
|-----------|-------------|---------|--------------------------|

Рисунок 2.7 – Приклад структури повідомлення в мережі роботів гуманоїдного типу

2.5 Висновки до другого розділу

В ході виконання другого розділу кваліфікаційної роботи було розроблено модель робота гуманоїдного типу в робочій зоні.

Сформовано математичну модель системи групи роботів в робочій зоні.

Ми спроектували два алгоритми прийняття рішень для роботів, для більш автономної роботи без участі головного керуючого пристрою. До розроблених алгоритмів відноситься алгоритм аналізу можливості захвату об'єкту роботом, та алгоритм захвату та підняття об'єкту з можливістю повідомлення головного керуючого пристрою про необхідність надіслати додатково іншого робота для допомоги у виконанні поставленої задачі.

Розроблено інформаційну модель взаємодії в групі на прикладі шести роботів та одного головного пристрою. Обрано мережевий тип зв'язку для системи, описано інформаційні можливості головного керуючого пристрою та роботів. Приведено приклад структури повідомлення в мережі.

3 РОЗРОБКА МАКЕТУ РОБОТА ГУМАНОЇДНОГО ТИПУ

3.1 Розробка структури системи керування групою роботів

Структура системи групи роботів складається з роботів та головного керуючого пристрою в обмеженій робочій зоні. Уся робоча зона поділена і представлена у вигляді координатної площі для навігації в межах робочої зони. Модель системи групи роботів представлена на рисунку 3.1, де зображено шість роботів гуманоїдного типу, головний керуючий пристрій та два об'єкти у робочій зоні.

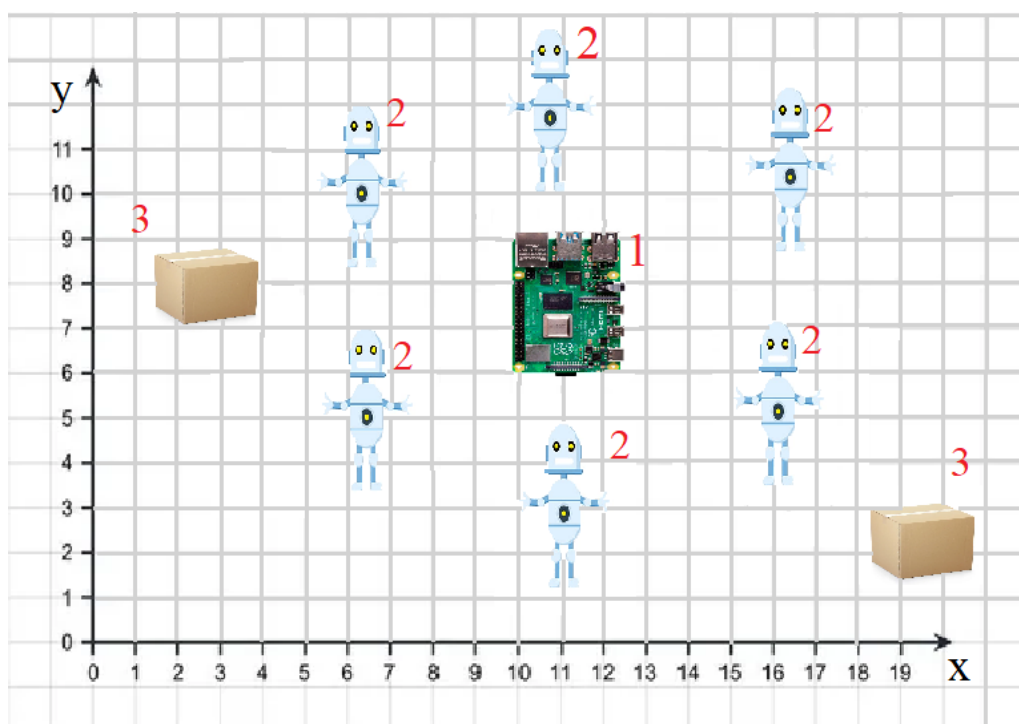


Рисунок 3.1 – Модель структури системи керування групою роботів гуманоїдного типу

Модель системи складається з площі поверхні робочої зони, що представлена у вигляді координатної площини. Над поверхнею розташовано головний керуючий пристрій – 1, він представлений у вигляді комп'ютеру з

камерою та модулем зв'язку, його структуру схему зображено на рисунку 3.2.

Ділення робочої зони на координати полегшує навігацію, основні задачі з навігації покладені на головний керуючий пристрій з камерою, цей пристрій зможе точно визначити координати розташування предметів та роботів в робочій зоні.

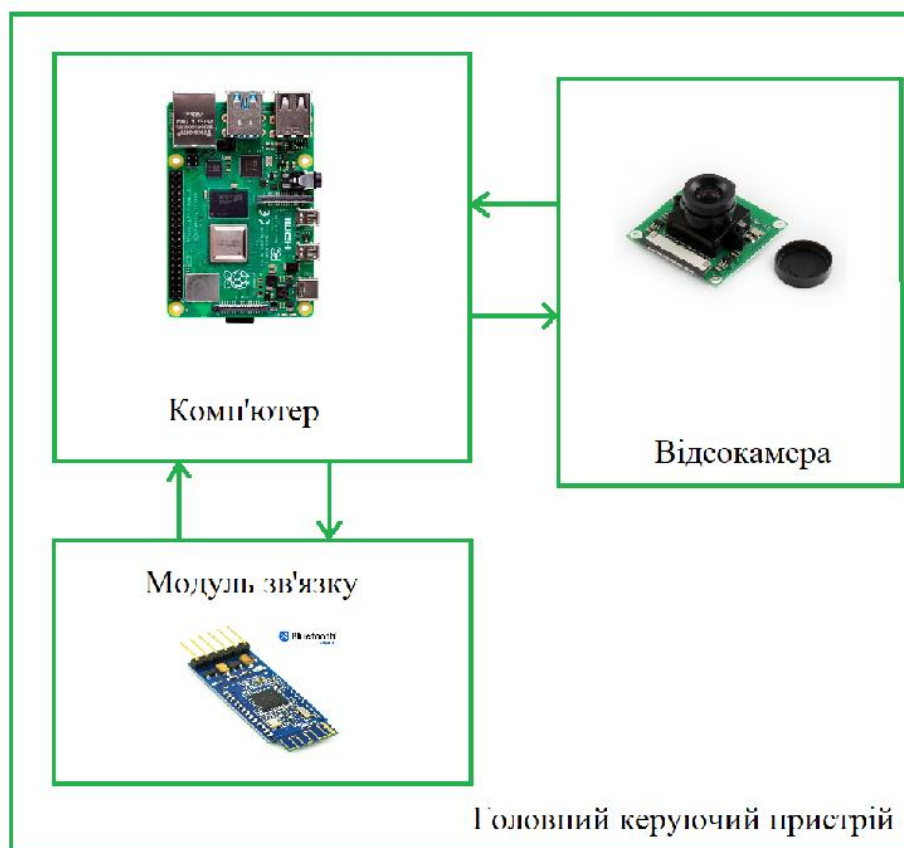


Рисунок 3.2 – Структура схема головного керуючого пристрою.

Роботи, відповідно до керуючого пристрою, також матимуть модуль зв'язку та камеру для більш точної навігації. Структурну схему робота гуманоїдного типу буде розроблено в наступному пункті даного розділу.

3.2 Розробка структури робота гуманоїдного типу

Робот гуманоїдного типу є досить складним пристроєм. Розроблюваний

робот гуманоїдного типу буде повним, тобто матиме нижні кінцівки, верхні кінцівки, тулуб та голову.

Основні компоненти робота гуманоїдного типу такі:

- каркас;
- система живлення;
- опорно-рухові модулі, двигуни;
- модуль зв'язку;
- обчислювальний модуль, тобто мікроконтролер або ком'ютер;
- система отримання інформації оточуючої середи.

На рисунку 3.3 зображено структурну схему гуманоїдного робота, яка включає вище названі компоненти.

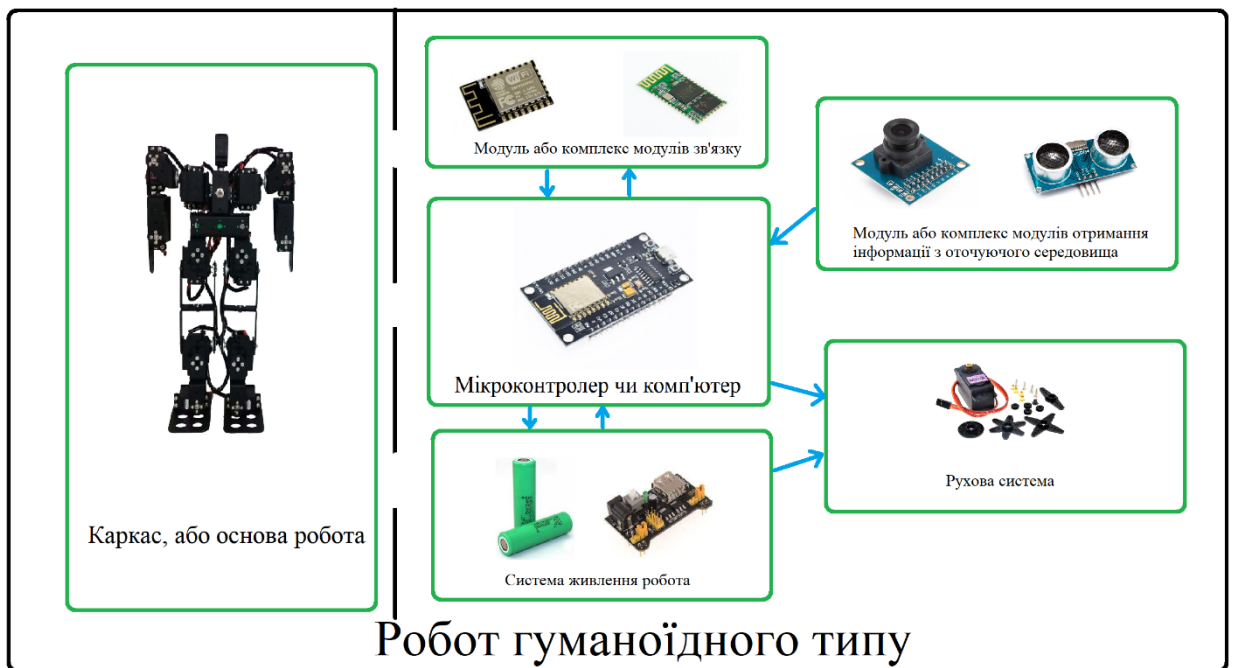


Рисунок 3.3 – Структурна схема робота гуманоїдного типу

Каркас робота є основою, на яку монтуються усі складові компоненти, також каркас є обмежуючою частиною, його будова визначає кінематику та кількість рухових частин. В розроблюваному роботі буде використано каркас на 18 серводвигунів. Каркас робота зображено на рисунку 3.4, де пронумеровано

кількість серводвигунів та зображено їх розташування.

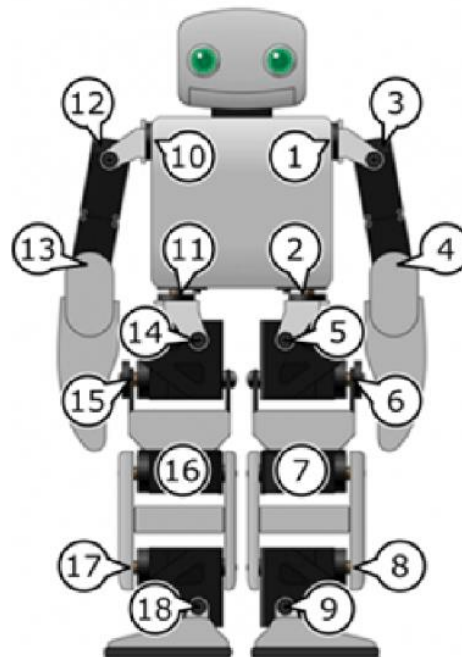


Рисунок 3.4 – Каркас робота гуманоїдного типу для 18 серводвигунів [22]

Мікроконтролер є головною керуючою частиною робота. Робота. Мікроконтролер обирається відповідно задачам. Просте переміщення робота не потребує великої потужності обчислювальних дій, але такі задачі як зв'язок в мережі, отримання та обробка інформації від сенсорів, потребує значно більших ресурсів.

Функції мікроконтролера такі:

- керування двигунами;
- взаємодія з модулем чи модулями зв'язку, робота з протоколом зв'язку, формування повідомлень, аналіз отриманих повідомлень;
- керування системою живлення, мікроконтролер може вмикати живлення і вимикати живлення окремих модулів або вимикати взагалі усю систему, тобто робота;
- отримання і аналіз інформації від сенсорів, камер або інших пристроїв для отримання даних з оточуючого середовища;

– основна логіка робота, керування функціями руху, різні алгоритми прийняття рішень та подібне.

До популярних мікроконтролерів та одноплатних комп'ютерів, використовуваних у подібних роботах гуманоїдного типу відносяться esp8266, esp32, stm32, raspberry pi 3 та raspberry pi 4. Дуже популярні плати з мікроконтролером esp8266 для невеликих роботів, зазвичай такі плати вбудований модуль Wi-Fi, плату розширення живлення для серводвигунів та інші додаткові компоненти такі як камера, далекомір, тощо. На рисунку 3.5 зображено приклад такої плати.



Рисунок 3.5 – Плата з мікроконтролером [23]

Система живлення відповідає за автономне живлення усього робота, зазвичай це акумуляторні батареї, іноді, для роботів з малою потужністю, можуть бути звичайні батарейки. Також до системи живлення входить ще декілька компонентів, таких як понижувач чи збільшувач напруги, модуль розширення контактів для підключення двигунів, плата керування для вмикання та вимикання живлення. В залежності від вимог щодо часу роботи, кількості та потужності двигунів, навантаження системи, ємність та кількість акумуляторів

може бути різною.

Модулі зв'язку можуть бути різними, в залежності від вимог це може бути модуль з підтримкою Bluetooth low energy, наприклад CC2541. Також ця частина може бути представлена у вигляді модулю з підтримкою Wi-Fi або інших видів радіо зв'язку. Ці модулі необхідні для бездротового зв'язку між роботами та зв'язку з головним керуючим пристроєм. Також особливістю, яка впливає на тип модуля зв'язку є підтримка мережевого типу зв'язку. Не усі модулі підтримують такий тип зв'язку, або потребують значної програмної розробки для реалізації.

Модулі отримання інформації ззовні можуть бути різноманітними в залежності від майбутніх задач робота, до таких модулів відносяться камери, далекоміри, температурні сенсори, гіроскопи, датчики тиску та інші.

Рухова частина простих роботів зазвичай представлена у вигляді серводвигунів. В складних і потужних варіантах гуманоїдних роботів можуть використовуватись інші двигуни, пневматичні, гідравлічні, електромагнітні.

3.3 Розробка алгоритму керування роботом гуманоїдного типу

Загальний алгоритм керування полягає в формуванні потрібної команди на головному керуючому пристрої, це може бути просто команда для зміни куту одного серводвигуна, а може бути команда для комплексної роботи, такими можуть бути команди:

- зігнути руку;
- підняти ногу;
- зробити шаг лівою ногою;
- зробити шаг правою ногою;
- зробити нахил вперед;
- взяти об'єкт за допомогою рук;
- виконати танець;
- виконати переміщення на певну відстань.

Такі і подібні команди є заздалегідь сформованими наборами послідовностей або алгоритмами простих команд по зміні положень серводвигунів.

Загальний алгоритм роботи гуманоїдного роботу зображено на рисунку 3.6.

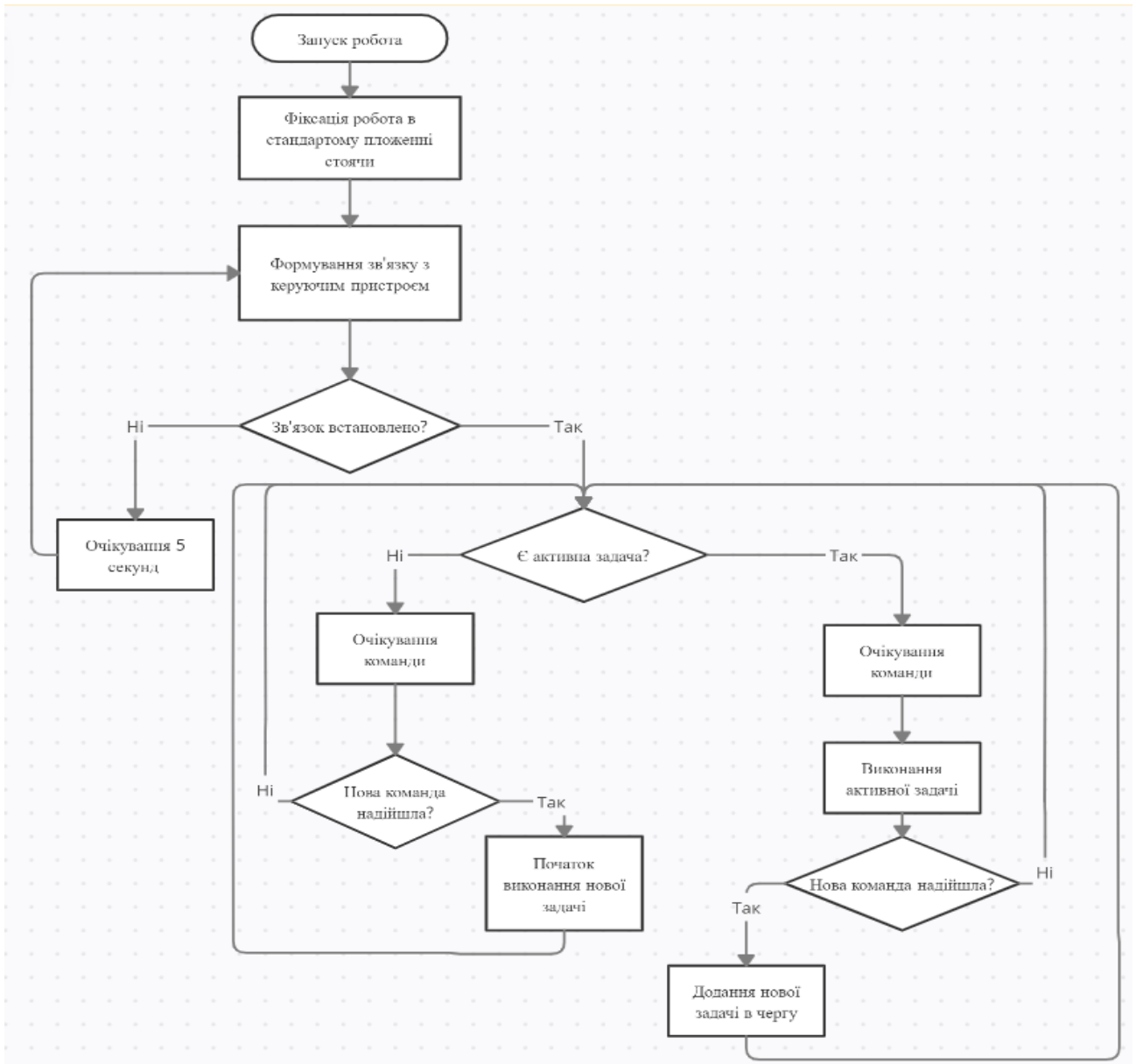


Рисунок 3.6 – Загальний алгоритм керування роботом гуманоїдного типу

Алгоритм починається з запуску робота, подачі живлення. Робот після запуску проходить ініціалізацію, де вмикає потрібні модулі та налаштовує їх.

Також при ініціалізації робота, він займає основне статичне положення стоячи.

Після успішної ініціалізації, робот очікує встановлення зв'язку з керуючим пристроєм, якщо воно не встановлено, то робот продовжує очікувати, якщо успішно встановлено зв'язок, то робот може починати отримувати задачі, команди.

Після успішного формування зв'язку починається основний цикл алгоритму. В цьому циклі робот перевіряє наявність активної задачі.

В частині алгоритму де перевіряється надходження нових задач, також перевіряється справність зв'язку, на випадок втрати зв'язку.

Якщо у робота є активна задача, то він перевіряє надходження нових команд і виконує активну задачу. Якщо активна задача надійшла, то робот додає нову задачу у чергу задач та починає нову ітерацію циклу, якщо не надійшла, то просто починає нову ітерацію циклу.

Якщо у робота немає активної задачі, то він очікує команду, якщо вона надходить, то одразу починає її виконувати, якщо ж ні, то просто починає нову ітерацію циклу.

Виконання задачі також має певний алгоритм, який зображено на рисунку 3.7. У цьому алгоритмі система починає з перевірки активної затримки, це означає, що система повинна очікувати певний час перед продовженням виконання задачі. Якщо час перерви ще не пройшов, то алгоритм завершено. Якщо затримка відсутня, то система перевіряє чи повністю завершено задачу. Якщо задачу завершено, то система видаляє її з черги задач і завершує алгоритм. Якщо задачу не завершено, то система починає виконання нової частини задачі і встановлює затримку, якщо вона необхідна.

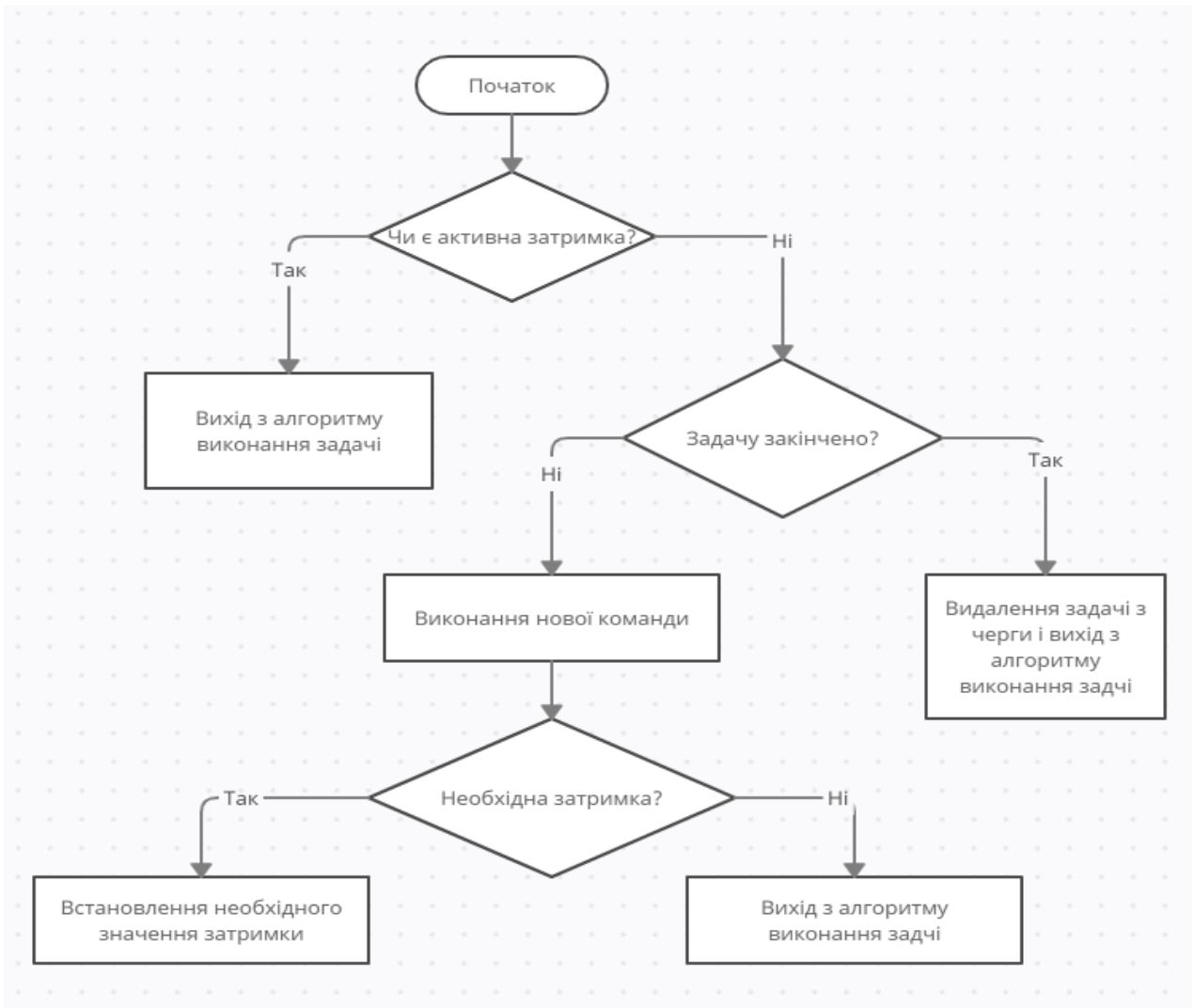


Рисунок 3.7 – Алгоритм виконання задачі

Задачі для виконання також є певними алгоритмами. Алгоритм шагу лівою ногою приведено на рисунку 3.8. Дії в цьому алгоритмі виконуються послідовно із затримками. Під нахилом розуміється нахил вперед чи назад. Нахили в кожному пункті алгоритму означають необхідність зміни значення нахилу вказаної частини у цьому пункті алгоритму.

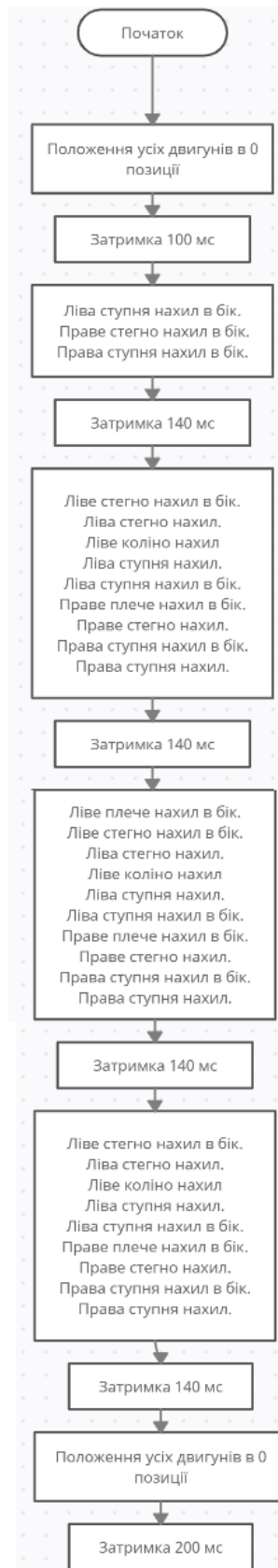


Рисунок 3.8 – Алгоритм шагу лівою ногою

Подібні алгоритми формуються для кожної задачі, в залежності від складності, збільшується і кількість частин алгоритму. Зі збільшенням кількості частин, може збільшитись і час виконання.

3.4 Розробка функцій керування

Першою функцією для розробки буде ініціалізація роботи з серводвигунами. Ця функція приведена на рисунку 3.9.

```
void JointController::Init()
{
    pwm = Adafruit_PWMServoDriver();

    pinMode(Pin::PCA9685_ENABLE(), OUTPUT);
    digitalWrite(Pin::PCA9685_ENABLE(), LOW);
    pinMode(Pin::LED(), OUTPUT);
    digitalWrite(Pin::LED(), HIGH);
    GPIO12SERVO.attach(Pin::PWM_OUT_12());
    GPIO14SERVO.attach(Pin::PWM_OUT_14());

    // Initialize I2C
    Wire.begin(4, 5);

    // PWMServoDriver
    pwm.begin();
    pwm.setPWMFreq(PWM_FREQ()); // servos run at 300Hz updates

    delay(500);

    for (char joint_id = 0; joint_id < SUM; joint_id++)
    {
        m_SETTINGS[joint_id].MIN = Shared::m_SETTINGS_INITIAL[joint_id * 3];
        m_SETTINGS[joint_id].MAX = Shared::m_SETTINGS_INITIAL[joint_id * 3 + 1];
        m_SETTINGS[joint_id].HOME = Shared::m_SETTINGS_INITIAL[joint_id * 3 + 2];
        setAngle(joint_id, m_SETTINGS[joint_id].HOME);
    }
}
```

Рисунок 3.9 – Ініціалізація роботи з серводвигунами

У даній функції ініціюється драйвер для плати розширення, до неї підключаються серводвигуни, для цього ініціюється інтерфейс передачі даних I2C, саме завдяки йому відбувається керування серводвигунами. Далі

встановлюється частота оновлення серводвигунів. Після затримки формується масив максимальних, мінімальних та базових значень для кожного двигуна. Цей масив є глобальним та саме з нього будуть братися актуальні значення для двигунів. Останнім в функції ініціалізації встановлюється базове значення для кожного двигуна. Це значення при якому робот буде зафіксовано у положенні стоячи.

На рисунку 3.10 зображено функції встановлення нового значення куту для серводвигунів.

```
bool JointController::setAngle(unsigned char joint_id, int angle)
{
    if (joint_id >= SUM)
    {
        return false;
    }
    angle = constrain(angle, m_SETTINGS[joint_id].MIN, m_SETTINGS[joint_id].MAX);
    if(joint_id == 0 || joint_id == 12)
    {
        m_pwm[s[joint_id]] = 90 - angle / 10;
    }
    else
    {
        m_pwm[s[joint_id]] = map(
            angle,
            JointController::ANGLE_MIN, JointController::ANGLE_MAX
        );
    }
    return true;
}
```

Рисунок 3.10 – Функція встановлення нового значення серводвигуна

В даній функції встановлюється нове значення для серводвигуна в залежності від вказаного номера двигуна на значення. Функція перевіряє вказаний новий кут на перевищення допустимих кутів, якщо новий кут недопустимий, то це значення замінюється на максимальне чи мінімальне відповідно. Далі функція встановлює нове значення в глобальний масив даних для серводвигунів. Ця функція змінює лише дані в глобальному масиві не змінюючи положення двигунів. Керуванням двигунами займається інша функція, яка працює з драйвером та бере актуальні дані з масиву.

Для керування двигунів розроблена функція приведена на рисунку 3.11.

```
void JointController::updateAngle()
{
    for (int joint_id = 0; joint_id < SUM; joint_id++)
    {
        if (servo_map[joint_id] < 16)
        {
            pwm.setPWM(servo_map[joint_id], 0, m_pwms[joint_id]);
        }
        else if (servo_map[joint_id] == 16)
        {
            GPIO12SERVO.write(m_pwms[joint_id]);
        }
        else if (servo_map[joint_id] == 17)
        {
            GPIO14SERVO.write(m_pwms[joint_id]);
        }
    }
    JointController::m_1cycle_finished = true;
}
```

Рисунок 3.11 – Функція керування двигунами

В даній функції береться актуальне значення для кожного серводвигуна із масиву і встановлюється.

На рисунку 3.12 зображено функції початку нової задачі. У функції передається позиція задачі, якщо вже є активна задача, то функція нічого не виконує, але якщо активної задачі немає, а передана задача існує в списку запрограмованих задач, то ця функція встановлюється як активна и починає виконання зі свого початку.

```

void MotionController::play(unsigned char slot)
    if (playing())
    {
        //isplaying
        return;
    }

    if (slot >= Motion::SLOT_END)
    {
        //NoAction
        return;
    }

    m_header.slot = slot;
    m_header.get();
    m_setupFrame(0);
    m_playing = true;
}

```

Рисунок 3.12 – Функція початку нової задачі

На рисунку 3.13 зображено частину функції основного циклу програми, відповідальну за виконання задач пов'язаних з рухом робота. В ній перевіряється чи є активна задача. Якщо активної задачі немає, то ця частина функції нічого не робить.

Якщо активна задача існує, то відбувається наступна послідовність дій. Перевіряється чи потрібно оновити дані. Якщо дані оновлені, перевіряється чи є наступна частина задачі. Якщо задача завершена, то зупиняється її виконання та видаляється активна задача з черги. Якщо задача ще не виконана повністю, то оновлюються дані з наступного кроку задачі.

```

void loop()
{
    if (motion_ctrl.playing())
    {
        if (motion_ctrl.frameUpdatable())
        {
            motion_ctrl.updateFrame();
        }

        if (motion_ctrl.updatingFinished())
        {
            if (motion_ctrl.nextFrameLoadable())
            {
                motion_ctrl.loadNextFrame();
            }
            else
            {
                motion_ctrl.stop();

                if (interpreter.ready())
                {
                    interpreter.popCode();
                }
            }
        }
    }
}

```

Рисунок 3.13 – Частина функції основного циклу програми

3.5 Висновки до третього розділу

В третьому розділі було розроблено структуру системи керування групою роботів, яка складається з площі поверхні робочої зони, що представлена у вигляді координатної площини, головного керуючого пристрою у вигляді комп'ютеру з камерою та модулем зв'язку, шести роботів гуманоїдного типу та об'єктів у робочій зоні.

Розроблено структуру гуманоїдного робота. Описано усі компоненти робота.

Розроблено загальний алгоритм керування роботом та алгоритм виконання задач.

Розроблено і приведено функцію ініціалізації, оновлення даних для двигунів, початку нової задачі. Розроблено і приведено частину функції основного циклу програми.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Постановка умов проведення експерименту

Для проведення експериментальної роботи необхідно розробити та зібрати макет робота гуманоїдного типу з наступними вимогами:

- тип двигунів – серводвигуни;
- кількість двигунів – 18;
- протокол зв'язку – Wi-Fi;
- модуль зв'язку на мобільному роботі esp12F з режимом точки доступу;
- тип живлення – акумуляторна батарея на 5 вольт з ємністю 10 тисяч міліампер;
- особливості конструкції – повна конструкція гуманоїдного робота з руками, ногами, тулубом та головою;
- керуючий пристрій – мобільний телефон.

Провести експериментальне дослідження дальності зв'язку з керуючим пристроєм без перешкод та з перешкодами у вигляді стіни з цегли та стіни з бетону. Ширина стін для експерименту від 10 до 30 сантиметрів.

Провести експериментальне дослідження часу реакції робота на надходження нової команди, тобто час від відправки команди з керуючого пристрою, до першого руху робота. Провести експериментальне дослідження часу реакції в залежності від відстані та наявності перешкод.

4.2 Проведення експерименту та розрахунок отриманих результатів дослідження

4.2.1 Розробка макету робота гуманоїдного типу

Розробку макета робота гуманоїдного типу почнемо з конструкції, згідно вимог до експерименту, конструкція повинна бути розрахована на встановлення 18 серводвигунів.

На рисунку 4.1 зображено компоненти обраної конструкції, яка відповідає поставленим вимогам. А на рисунку 4.2 зображено конструкції в зібраному вигляді.



Рисунок 4.1 – Компоненти обраної конструкції [22]



Рисунок 4.2 – Зібрана конструкція робота [22]

Також на рисунку 4.1 зображено розміри розроблюваного робота.

Далі виберемо серводвигуни, підходящі для обраної конструкції в кількості 18 штук. В якості двигунів підходять серводвигуни EMAX ES08MA II.

Обраний серводвигун зображено на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 – Серводвигун EMAX ES08MA II [24]

Характеристики обраного серводвигуна такі:

- робоча напруга: від 4,8 В до 6 В;
- вага: 12 г;
- швидкість при напрузі 4,8 В: 0,12 с / 60°;
- крутний момент: 1,6 кг / см;
- розміри: 2,3 см x 2,4 см x 1,15 см.

В якості керуючої плати було обрано плату з розширювачем для підключення 18 серводвигунів, мікроконтролером та модулем зв'язку Wi-Fi. Обрана плата зображена на рисунку 4.4.

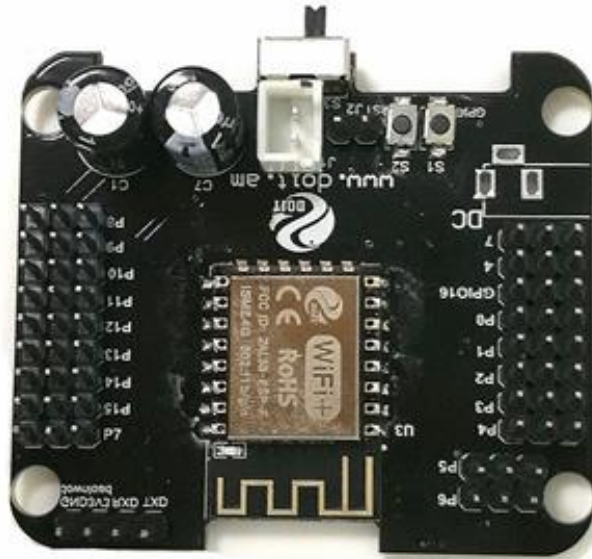


Рисунок 4.4 – Обрана плата [25]

Характеристики обраної плати:

- кількість виводів для підключення серводвигунів: 18;
- мікроконтролер: ESP8266EX;
- живлення: від 4,5 В до 6,5 В;
- робоча температура: від -40 °С до 125 °С;
- середній споживаний струм: 80 мА;
- частотний діапазон: 2,4 ГГц – 2,5 ГГц;
- протокол Wi-Fi: 802.11 b/g/n/d/e/i/k/r;
- режими Wi-Fi: станція, точка доступу, Sniffer, Wi-Fi Direct;
- мережеві протоколи: IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT.

Для завантаження програми на плату необхідно підключити USB-UART конвертер.

В якості джерела живлення буде виступати акумулятор з ємністю 10000 міліампер.

Зібраного робот зображено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Зібраний макет робота гуманоїдного типу

4.2.2 Проведення експериментальних досліджень

Для проведення експерименту було зібрано мобільного робота з модулем ESP12 без додаткової вивідної антени. Підключено до керуючого пристрою у вигляді мобільного телефону бездротовим зв'язком по протоколу Wi-Fi.

Проведемо експеримент для визначення рівня сигналу зв'язку. Для цього виконаємо перевірки на відкритому просторі без перешкод та з перешкодами у вигляді стін, гіпсокартонової, цеглової та бетонної. Відстань буде від 5 метрів до 25 метрів з кроком у 5 метрів, буде перевірятись чи є зв'язок та рівень сигналу у разі наявності зв'язку. Отримані результати занесемо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Отримані дані з експерименту по визначенню рівня сигналу без та з перешкодами

| Номер експерименту | Відстань | Перешкода | Рівень сигналу |
|--------------------|----------|------------------|-------------------|
| 1 | 5 м | Відсутня | -63 дБм |
| 2 | 15 м | Відсутня | -68 дБм |
| 3 | 25 м | Відсутня | -84 дБм |
| 4 | 5 м | Гіпсокартон 5 см | -75дБм |
| 5 | 15 м | Гіпсокартон 5 см | -89 дБм |
| 6 | 25 м | Гіпсокартон 5 см | Відсутній зв'язок |
| 7 | 5 м | Цегла 12 см | -83 дБм |
| 8 | 15 м | Цегла 12 см | Відсутній зв'язок |
| 9 | 25 м | Цегла 12 см | Відсутній зв'язок |
| 10 | 5 м | Бетон 20 см | -88 дБм |
| 11 | 15 м | Бетон 20 см | Відсутній зв'язок |
| 12 | 25 м | Бетон 20 см | Відсутній зв'язок |

З отриманих даних можна зробити висновок про непогану дальність зв'язку на відкритому просторі та при зміні перешкоди, як і передбачалось, дальність зв'язку знижується. Рекомендовано використовувати додаткову антену для покращення рівня сигналу.

На рисунку 4.6 побудуємо графіки з отриманих даних в таблиці 4.1.

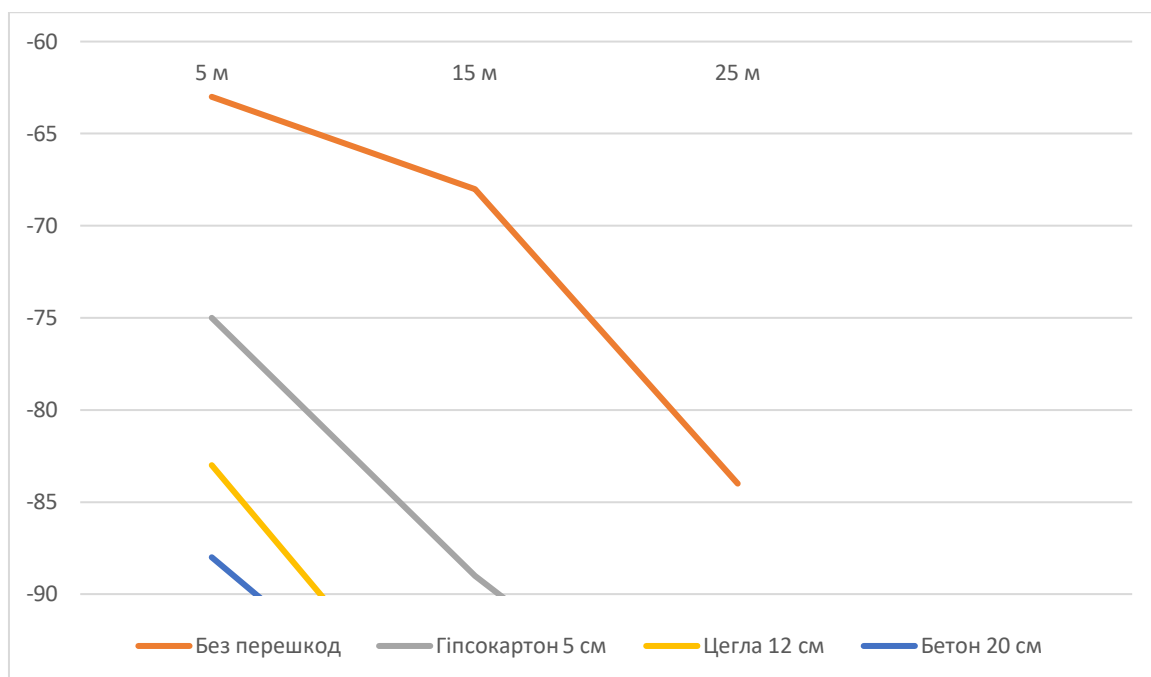


Рисунок 4.6 – Графіки результатів експерименту з визначення рівня сигналу

4.3 Забезпечення умов роботи при виконанні роботи

Забезпечення умов роботи при виконанні роботи є важливою частиною процесу. Важливою умовою є розміри приміщення та робочого місця. Характеристики розмірів приміщення та робочого місця наведені у таблиці 4.2. Кількість робочих місць також повинна відповідати розмірами приміщення. Недотримання норм, які вказано в НПАОП 0.00-1.28-10 може призвести до помилок, травм та інших недоліків, що вплинуть на результат розробки, виконання задач, та безпеки.

Таблиця 4.2 – Характеристики робочого приміщення та місця роботи

| Параметр | Скорочене позначення | Значення |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Довжина | L | 4,5 м |
| Ширина | G | 5 м |
| Висота | H | 2,7 м |
| Кількість робочих місць | N | 1 |
| Площа | S | 20 м ² |
| Об'єм | V | 60,75 м ³ |

Згідно НПАОП 0.00-1.28-10, площа одного робочого місця повинна складати не менше 6 квадратних метрів, а об'єм не менше 20 кубічних метрів. Проведено розрахунки параметрів для приміщення в якому проводиться робота, для цього поділимо дані про площу та об'єм приміщення на кількість осіб. Розрахунки проведемо за формулою (4.1) та формулою (4.2).

$$s = \frac{S}{N} = \frac{22,5 \text{ м}^2}{1 \text{ осіб}} \quad (4.1)$$

$$V = \frac{V}{N} = \frac{60,75 \text{ м}^3}{1 \text{ осіб}} \quad (4.2)$$

Згідно розрахунків характеристик приміщення в якому проводиться розробка, можна зробити вивід що воно повністю відповідає НПАОП 0.00-1.28-10.

Освітлення на робочому місці не менш важливе за розміри. Недостатнє освітлення приміщення та робочого місця може бути шкідливим для здоров'я. Недостатнє освітлення спричиняє погіршення зору та погіршує безпеку, може призводити до помилок та впливає на продуктивність людей.

Проведено розрахунок природнього освітлення приміщення згідно [26]. У робочому приміщенні встановлено одне вікно розміром 5 м². Освітлення є боковим.

Еквівалентну площу світлового отвору розраховано за формулою (4.3):

$$S_{\text{екв}} = N \cdot S_{\text{вікна}} = 1 \cdot 5 = 5 \text{ м}^2. \quad (4.3)$$

Коефіцієнт природнього освітлення розраховано за формулою (4.4).

$$k = \frac{S_{\text{екв}} \cdot t_0 \cdot R_1 \cdot 100}{S \cdot n_0 \cdot k_3}, \quad (4.4)$$

де t_0 – загальний коефіцієнт світло-пропускання;

R_1 – коефіцієнт, що враховує підвищення при бічному освітленні завдяки світлу, відбитому від внутрішніх поверхонь;

S – площа приміщення;

n_0 – світлова характеристика вікна;

k_3 – коефіцієнт, що враховує затемнення від будівлі навпроти.

Коефіцієнти для розрахунку:

– $n_0 = 9$;

– $t_0 = 0,27$;

– $R_1 = 3$;

– $k_3 = 1,2$.

Розрахунок за формулою (4.4):

$$k = \frac{5 \cdot 0,27 \cdot 3 \cdot 100}{22,5 \cdot 9 \cdot 1,2} = \frac{405}{243} = 1,666.$$

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 фактичний коефіцієнт природнього освітлення відповідає нормам.

4.4 Висновки до четвертого розділу

В четвертому розділі було розроблено макет мобільного робота гуманоїдного типу з модулем зв'язку ESP12 та протоколом Wi-Fi. Проведено експериментальне дослідження рівня сигналу зв'язку мобільного робота та керуючого пристрою у вигляді мобільного телефону. Експеримент проведено для майбутнього використання даних під час розроблення макету системи групи мобільних роботів гуманоїдного типу. З результатів експерименту можна зробити висновок про непоганий рівень сигналу на відкритому просторі та значне погіршення при наявності перешкод. В результаті експерименту визначено необхідність використання додаткової вивідної антени для покращення рівня сигналу у випадку наявності перешкод у робочій зоні.

ВИСНОВКИ

В ході аналізу сучасних систем групового керування мобільними роботами, було виявлено декілька цікавих прикладів реалізації таких систем, було виділено велику кількість можливих задач для таких систем. Також було виявлено що майже не представлено роботів гуманоїдного типу для групових систем. Проведено аналіз методів групового керування. Виділено основні види зв'язку, такі як централізований, розподілений та децентралізований. Розглянуто декілька методів для різних видів зв'язку. Розглянуто метод «лідер-наслідник», та «лідер-сусід». Розглянуто особливості будови роботів гуманоїдного типу, виділено основні частини робота, такі як голова, верхні кінцівки, нижні кінцівки та тулуб. Розглянуто математичні моделі існуючих систем групового керування мобільними роботами.

В ході виконання другого розділу кваліфікаційної роботи було розроблено модель робота гуманоїдного типу в робочій зоні та математичну модель системи групи роботів в робочій зоні. Вирішено питання з розробки двох алгоритмів прийняття рішень для роботів, що необхідні для більш незалежної роботи мобільного робота без участі головного керуючого пристрою. До розроблених алгоритмів відноситься алгоритм аналізу можливості захвату об'єкту роботом, та алгоритм захвату та підняття об'єкту з можливістю повідомлення головного керуючого пристрою про необхідність надіслати додатково іншого робота для допомоги у виконанні поставленої задачі. Спроектовано інформаційну модель взаємодії в групі на прикладі шести роботів та одного головного пристрою. Обрано мережевий тип зв'язку для системи, описано інформаційні можливості головного керуючого пристрою та роботів. Приведено приклад структури повідомлення в мережі.

В третьому розділі було розроблено структуру системи керування групою роботів, яка складається з площі поверхні робочої зони, що представлена у

вигляді координатної площини, головного керуючого пристрою у вигляді комп'ютеру з камерою та модулем зв'язку, шести роботів гуманоїдного типу та об'єктів у робочій зоні. Спроектовано структуру гуманоїдного робота. Описано усі компоненти робота. Розроблено загальний алгоритм керування роботом та алгоритм виконання задач. Сформовано та написано функцію ініціалізації, оновлення даних для двигунів, початку нової задачі. Приведено частину функції основного циклу розробленої програми.

В четвертому розділі було зібрано макет мобільного робота гуманоїдного типу з модулем зв'язку ESP12 та протоколом Wi-Fi. Проведено експериментальне дослідження рівня сигналу зв'язку мобільного робота та керуючого пристрою у вигляді мобільного телефону. Експеримент проведено для майбутнього використання даних під час розроблення макету системи групи мобільних роботів гуманоїдного типу. З результатів експерименту можна зробити висновок про непоганий рівень сигналу на відкритому просторі та значне погіршення при наявності перешкод. В результаті експерименту визначено необхідність використання додаткової вивідної антени для покращення рівня сигналу у випадку наявності перешкод у робочій зоні.

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 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. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.
3. Pngwing [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.pngwing.com/ru/free-png-ylcgi> / (Дата звернення 18.10.2022).
4. Agripak [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://agripak.com/ru/services/industry40> / (Дата звернення 18.10.2022).
5. D. Shevchenko "Robotic Systems for Cooperative Work", Manufacturing & Mechatronic Systems 2022: Program of VI st International Conference, Kharkiv, October 21-22, 2022: Program of Conference / [Ed. I.Sh. Nevlyudov (Chief Editor).] Kharkiv: [Electronic version], 2022. – 23 p.
6. A. Gautam and S. Mohan, "A review of research in multi-robot systems," 2012 IEEE 7th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), 2012, pp. 1-5, DOI:10.1109/ICIInfS.2012.6304778.
7. Sarvepalli, Sarat Kumar. (2015). Multi Robot System: The future of Scientific Learning. DOI:10.13140/RG.2.2.17479.55206.

8. Zhi Feng, Guoqiang Hu, Yajuan Sun, Jeffrey Soon. (2020). An overview of collaborative robotic manipulation in multi-robot systems. *Annual reviews in control*, volume 49, 2020, pages 113-127, ISSN 1367-5788, DOI:10.1016/j.arcontrol.2020.02.002.

9. Sido-lyon [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.sido-lyon.com/en/blog/2019/03/18/collaborative-robots-will-shape-the-future-of-medicine/> / (Дата звернення 18.10.2022).

10. Festo [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу: https://www.festo.com/tw/en/e/about-festo/research-and-development/bionic-learning-network/highlights-from-2015-to-2017/bionicians-id_33396/ / (Дата звернення 18.10.2022).

11. Pro-act [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.h2020-pro-act.eu/pro-act-final-demonstration-march-2021/> / (Дата звернення 18.10.2022).

12. Alonso-Mora J, Baker S, Rus D. Multi-robot formation control and object transport in dynamic environments via constrained optimization. *The International Journal of Robotics Research*. 2017;36(9):1000-1021. DOI:10.1177/0278364917719333.

13. Saska, Martin & Mejia, Juan & Stipanovic, Dusan & Vonasek, Vojtech & Schilling, Klaus & Preucil, Libor. (2013). Control and navigation in manoeuvres of formations of unmanned mobile vehicles. *European Journal of Control*. 19. 157–171. DOI:10.1016/j.ejcon.2012.10.003.

14. Cool-mania [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.cool-mania.com.ua/gadzeti/klevi-gadzeti/alpha-1pro-interaktivnij-programovanij-robot-gumanoid/> / (Дата звернення 18.10.2022).

15. Scitech [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://scitech.com.ua/robot-humanoid-pepper-rozumije-lyudski-rochuttya/> / (Дата звернення 18.10.2022).

16. Focus.ua [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://focus.ua/digital/499753-kak-chelovek-britancy-sozdali-robota-gumanojda-s-superrealistichnoy-vneshnostyu-video> / (Дата звернення 18.10.2022).
17. Zhao, Fangzhou & Gao, Junyao. (2019). Anti-Slip Gait Planning for a Humanoid Robot in Fast Walking. Applied Sciences. DOI:9. 2657. 10.3390/app9132657.
18. Bostondynamics [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.bostondynamics.com/atlas> / (Дата звернення 20.10.2022).
19. Task Allocation of Intelligent Warehouse Picking System based on Multi-robot Coalition (2019) KSII Transactions on Internet and Information Systems. Korean Society for Internet Information (KSII). doi: 10.3837/tiis.2019.07.01
20. Song, Yong & Li, Yibin & Li, Caihong & Ma, Xin. (2015). Mathematical Modeling and Analysis of Multirobot Cooperative Hunting Behaviors. Journal of Robotics. 2015. DOI:1-8. 10.1155/2015/184256.
21. Ausmt [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу <https://www.ausmt.org/index.php/AUSMT/article/view/839/380> / (Дата звернення 20.10.2022).
22. Alitools [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу <https://alitools.io/en/showcase/a-complete-set-of-doi-18-dof-vivi-humanoid-robot-compatible-with-plen2-for-arduino-plen-2-robotic-model-kit-32863733986> / (Дата звернення 22.11.2022).
23. Arduino.ua [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу <https://arduino.ua/prod1492-wi-fi-modul-nodemcu-esp8266> / (Дата звернення 22.11.2022).
24. Emaxmodel.com [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу <https://emaxmodel.com/products/emax-es08ma-ii->

12g-mini-metal-gear-analog-servo-for-rc-model-robot-pwm-servo / (Дата звернення 22.11.2022).

25. Aliexpress.com [Електронний ресурс] //SearchGoogle. Електрон. текстові дані. – Режим доступу <https://www.aliexpress.com/item/32820640581.html> / (Дата звернення 22.11.2022).

26. ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.