

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський)

Система паркування колісного роботу
на підставі даних від датчиків відстані й відображення
(тема)

Виконав:
студент _____ II курсу, групи _____ КСМм-22-2
Кабанець О.М.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність _____
123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми _____ освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____
Комп'ютерні системи та мережі
(повна назва освітньої програми)

Керівник: _____ проф. Каргін А.О.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ _____ Коваленко А.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерні системи та мережі _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Кабанцю Олексію Миколайовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система паркування колісного роботу на підставі даних від датчиків відстані й відображення _____

затверджена наказом по університету від “ 06 ” листопада 2023 р. № 1298 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 15 січня 2024 р. _____

3. Вхідні дані до роботи структура колісного робота; система керування колісного робота _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

1) аналіз теми роботи, опрацювання основних розділів; _____

2) проектування системи паркування колісного робота; _____

3) розробка концептуальної моделі системи паркування; _____

4) дослідження впливу параметрів системи на якість паркування шляхом моделювання системи в Mental Modeler та MatLab; _____

5) розробка нечіткого проекту системи паркування, що включає вхідні та вихідні змінні, лінгвістичні змінні та вербальні правила; _____

6) висновки. _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Слайд презентація – 18 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється 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	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка задачі	07.11.2023-08.11.2023	
2	Аналіз галузі застосування та існуючих рішень	09.11.2023-14.11.2023	
3	Огляд методів і моделей керування колісними	15.11.2023-20.11.2023	
4	Розробка концептуальної моделі системи	21.11.2023-25.11.2023	
5	Моделювання системи в Mental Modeler	26.11.2023-30.11.2023	
6	Моделювання системи паркування в MatLab	01.12.2023-08.12.2023	
7	Моделювання фізичної моделі системи	09.12.2023-11.12.2023	
8	Виконання апаратного прототипу системи	12.12.2023-21.12.2023	
9	Оформлення роботи	22.12.2023-27.12.2023	
10	Підготовка презентації	28.12.2023-03.01.2024	

Дата видачі завдання 06 листопада 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. Каргін А.О.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 74 с., 35 рис., 4 дод., 19 джерел.

КОЛІСНИЙ РОБОТ, РОБОТОТЕХНІКА, ЛОГІЧНА МОДЕЛЬ, ТЕРМ, ЛІНГВІСТИЧНІ ЗМІННІ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДАТЧИК, MATLAB, MENTAL MODELER.

Метою кваліфікаційної роботи є проектування системи паркування колісного роботу на підставі даних від датчиків відстані й відображення.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз галузі застосування робототехніки. Розглянуто класифікацію мобільних роботів та особливості їх керування. Розроблено концептуальну модель системи паркування. Виявлено параметри системи паркування та досліджено їх вплив на якість паркування шляхом моделювання системи в Mental Modeler та MatLab. Розроблено нечіткий проект системи паркуванням, що включає вхідні та вихідні змінні, лінгвістичні змінні та вербальні правила. Розроблено апаратний прототип системи.

ABSTRACT

Master's thesis: 74 pages, 35 figures, 4 appendices, 19 sources.

WHEELED ROBOT, ROBOTICS, LOGIC MODEL, TERM, LINGUISTIC VARIABLES, CONTROL SYSTEM, ULTRASONIC SENSOR, MATLAB, MENTAL MODELER.

The goal of the qualification work is to design a parking system for a wheeled robot based on data from distance and reflection sensors.

In order to the qualification work, an analysis of the field of application of robotics was carried out. The classification of mobile robots and features of their control are considered. A conceptual model of the parking system was developed. The parameters of the parking system were identified and their impact on the quality of parking was investigated by modeling the system in Mental Modeler and MatLab. A fuzzy design of the parking system was developed, including input and output variables, linguistic variables, and verbal rules. A hardware prototype of the system was developed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
2 ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ОГЛЯД ПІДХОДІВ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ.....	12
2.1 Огляд галузі застосування робототехніки.....	12
2.2 Огляд існуючих аналогів застосування мобільних роботів	15
2.3 Методи і моделі керування колісними роботами	20
3 ПАРКУВАННЯ КОЛІСНОГО РОБОТУ НА ПІДСТАВІ ДАНИХ ВІД ДАТЧИКІВ ВІДСТАНІ Й ВІДОБРАЖЕННЯ	24
3.1 Концептуальна модель системи	24
3.2 Логічна модель системи. Моделювання в Mental Modeler	27
3.3 Логічна модель системи. Моделювання в MATLAB	30
3.4 Фізична модель системи.....	40
4 АПАТНИЙ ПРОТОТИП СИСТЕМИ.....	43
4.1 Архітектура та компоненти апаратної частини прототипу системи	43
4.2 Опис даних та бібліотек підтримки компонентів системи	49
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	55
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	57
ДОДАТОК Б Діаграми UML.....	67
Б.1 Концептуальна модель системи паркування	67
Б.2 Концептуальна модель системи колісного робота під час визначення маршруту	67
ДОДАТОК В Моделювання в MENTAL MODELER.....	68
В.1 Когнітивне картографування на основі нечіткої логіки.....	68

В.2 Фактор якості паркування колісного робота (негативний).....	68
В.3 Фактор якості паркування колісного робота (позитивний)	69
В.4 Фактор якості паркування колісного робота (середній)	69
ДОДАТОК Г Моделювання в MATLAB	70
Г.1 Моделювання в середовищі MATLAB.....	70
Г.2 Датчик відстані RightSen.....	70
Г.3 Датчик відстані ForwardSen.....	71
Г.4 Датчики відображення ReflectionSen.....	71
Г.5 Лінгвістична змінна State	72
Г.6 Лінгвістична змінна LineError	72
Г.7 Вихідна лінгвістична змінна State.....	73
Г.8 Вихідна лінгвістична змінна Speed.....	73
Г.9 Вихідна лінгвістична змінна Angle.....	74
Г.10 Правила заїзду робота на паркувальне місце.....	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

КР – колісний робот

МР – мобільний робот

ПЗ – програмне забезпечення

СТ – стаціонарний робот

УД – ультразвуковий датчик

ШІ – штучний інтелект

ШИМ – ширина імпульсу модуляції

ICSP – внутрішньосхематичне послідовне програмування (англ.,
InCircuit Serial Programming)

ВСТУП

У сучасному світі колісні апарати є важливою складовою в техніці. За всіх часів їхнього існування відбувалися безперервні вдосконалення. З появою машин, здатних пересуватися самостійно, виникли завдання керування ними, досліджувалися питання автоматичного керування. Ця тематика перейшла в наші дні в новий етап – роботизація керування. Тепер автономні системи повинні виконувати складні розрахунки, орієнтуючись на зовнішні чинники, і брати на себе безліч функцій з обробки інформації. Така система, здатна самостійно отримувати й обробляти інформацію, ухвалювати рішення про необхідні (адекватні) дії та виконувати їх, контролюючи помилки.

Зараз мобільні роботи поширені по всьому світу. Їх використовують у лабораторіях наукових інститутів та університетів, включають в освітні програми та беруть участь у змаганнях, розробляють і модернізують у промисловості для розв'язання спеціальних завдань (перенесення вантажу, роботи в складних умовах, тощо), вони входять у повсякденне життя людини як побутові та ігрові пристрої. Перевагою промислових колісних роботів є можливість переналагодження лише шляхом зміни виконавчих механізмів шляхом перепрограмування алгоритму виконання функцій та траєкторії руху робочих органів). Це дає можливість використовувати їх для вирішення широкого спектру завдань у складі виробничих і логістичних систем). Але, незважаючи на фундаментальні та прикладні дослідження, завдання з керування ними до кінця не вирішені.

Автономний колісний робот є складною керованою електромеханічною системою, яка складається з вхідної частини та багаторівневої системи керування рухом. У ньому одночасно протікають механічні процеси – рух робота – та інформаційні процеси – опрацювання сигналів вимірювальних пристроїв і формування керуючих сигналів. В даній кваліфікаційній роботі основну увагу приділяється паркуванню колісних роботів на підставі даних від

датчиків відстані й зору. Проблема паркування роботів становить значний виклик для робототехніки та автономних транспортних засобів, оскільки вимагає точного навігаційного обладнання для безпечного та ефективного виконання маневрів паркування. Основні проблеми паркування роботів включають наступне: виявлення перешкод, навігація в обмеженому просторі, позиціонування, маневрування, уникнення зіткнень, врахування різних умов, аварійне втручання, інтеграція з іншими системами. Розробка та впровадження систем паркування для роботів потребує розв'язання цих проблем та забезпечення високої точності та безпеки під час процесу паркування. Автономні роботи, такі як автономні автомобілі та колісні роботи, продовжують розвивати рішення для цих викликів з використанням різних технологій, включаючи датчики, машинне навчання та комп'ютерний зір.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Мета кваліфікаційної роботи: проектування системи паркування колісного робота на підставі даних від датчиків відстані й відображення.

Опис задачі:

- проектування системи паркування колісного робота;
- розробити концептуальну модель системи паркування;
- виявити параметри системи паркування та дослідити їх вплив на якість паркування шляхом моделювання системи в Mental Modeler та MatLab;
- розробити нечіткий проект системи паркуванням що включає вхідні та вихідні змінні, лінгвістичні змінні та вербальні правила.

На рисунку 1.1 зображено макет колісного робота та паркувальних місць. Задача роботи зробити самостійне паркування при умовах:

- рухання по траєкторії лінії;
- паркувальне місце повинно бути вільним.

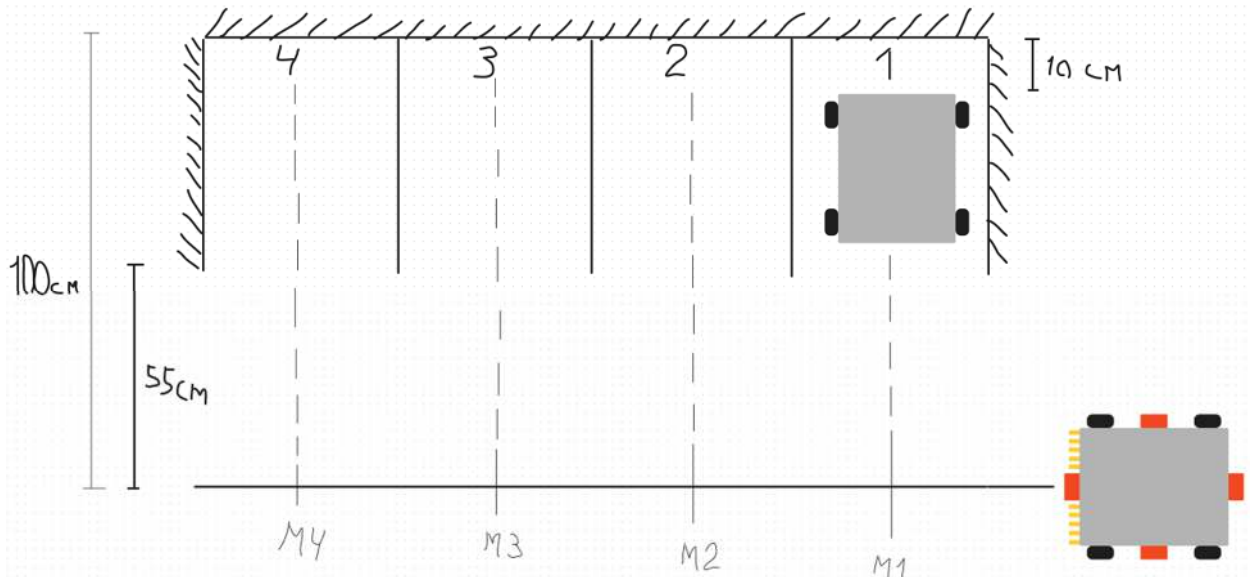


Рисунок 1.1 – Макет паркувального місця

2 ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ОГЛЯД ПІДХОДІВ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ

2.1 Огляд галузі застосування робототехніки

Робототехніка – це галузь інженерії, що вивчає, розробляє та застосовує роботів та автоматичні системи. Вона поєднує в собі елементи механіки, електроніки, програмування та сенсорних технологій для створення фізично працездатних систем, які можуть виконувати різноманітні завдання. Робототехніка також включає в себе розробку алгоритмів та програмного забезпечення для керування роботами, а також вивчення взаємодії роботів з навколишнім середовищем [1].

Роботи і системи автоматизації мають широке застосування для вирішення широкого спектра завдань і є одними з найважливіших компонентів промислових і наукових систем. Роботи дають змогу полегшити виконання складних або небезпечних для життя людини завдань. При цьому роботи здатні виконувати завдання набагато точніше і швидше, підвищуючи тим самим продуктивність. Робототехніка продовжує стрімко розвиватися і є одним із найважливіших напрямів науково-технічного прогресу, у якому проблеми механіки та нових технологій стикаються з проблемами штучного інтелекту. У зв'язку з цим вивчення робототехніки та роботи в галузі комп'ютерного зору, розпізнавання образів і планування траєкторії переміщення є актуальними на даний момент.

Застосування роботів спочатку обмежувалося лише виробничими галузями. Але зараз вони широко застосовуються у сферах розваг, медицини, гірничодобувної промисловості, рятувальних робіт, освіти, військовій сфері, космосі, сільському господарстві та багатьох інших галузях [2]. Для вирішування виробничих та логістичних задач використовують промислові роботи – автоматичні машини, стаціонарні чи пересувні, з виконавчим

пристроєм у вигляді маніпулятора, який має декілька ступенів рухомості, і перепрограмовуваним пристроєм програмного керування для виконання у виробничому процесі рухових і керувальних функцій. Таким чином промислові роботи можна поділити на стаціонарні, пересувні та мобільні роботи.

Стаціонарні роботи – це перепрограмовані маніпулятори промислового застосування, здатні автоматично виконувати комплекс дій, передбачених закладеною в них програмою (рисунок 2.1). Незалежно від призначення будь-який робот містить систему керування, живлення і виконавчий пристрій.



Рисунок 2.1 – Стаціонарні роботи

Мобільні роботи – це роботизовані системи, що складається з датчиків, операторів дистанційного керування та автоматично керованих мобільних носіїв з мобільними функціями, яка має більшу мобільність і гнучкість, ніж звичайні роботи, під час заміни людей під час роботи в небезпечних і суворих середовищах, а також у середовищах, недоступних для людини (рисунок 2.2).

Дослідження мобільних роботів почалися наприкінці 1960-х років. Нільс Нільссен і Чарльз Розен зі Стенфордського дослідницького інституту (SRI) з 1966 до середини 1972 року розробили автономного мобільного робота на ім'я Shakey – перший універсальний мобільний робот, здатний міркувати над своїми діями. Тоді як іншим роботам були потрібні інструкції для кожного конкретного кроку, Shakey міг аналізувати команди і розбивати їх на прості

частини [3]. Проєкт об'єднав дослідження в галузі робототехніки, комп'ютерного зору та обробки природної мови. Метою було вивчення застосування методів штучного інтелекту для автономного мислення, планування та керування роботизованими системами в складних середовищах.



Рисунок 2.2 – Мобільний робот

Наразі, окрім виробничої галузі, існує велика кількість типів роботів, спроектованих для різних сфер діяльності людини [2]. Серед яких:

- сфери медицини, дослідження, освіти, розваг, військового призначення, тощо;
- тип експлуатації: повітряні, наземні, підземні, надводні, підводні, та космічні;
- тип систем керування: інтелектуальна, програмна та адаптивна;
- спосіб керування: дистанційний, автоматичний та ручний;
- тип переміщення: гуманоїдний, колісний, гусеничний, колісно-гусеничний, роторний, тощо;
- тип приводів робота, які використовуються в маніпуляторах і системах пересування роботів, поділяються на електричні, гідравлічні та пневматичні;

- вантажопідйомність робота (маніпуляторів, шасі): визначається масою об'єктів, які він переміщує, і залежно від призначення робота може становити від одиниць грам (надлегкі роботи, наприклад, ті, які застосовують у мікроелектроніці) до кількох тисяч кілограмів (надважкі, наприклад, транспортні та космічні роботи).

На рисунку 2.3 зображена узагальнена схема робота. Вона включає виконавчі системи – маніпуляційну (один або кілька маніпуляторів), пересувну та сенсорну системи, що постачає роботу інформацію про зовнішнє середовище, і пристрій керування.

Виконавчі системи зі свого боку складаються з механічної системи і системи приводів. Механічна система маніпулятора – це зазвичай кінематичний ланцюг, що складається з рухомих ланок із кутовим або поступальним переміщенням, який закінчується робочим органом у вигляді захватного пристрою або якого-небудь інструменту [4].

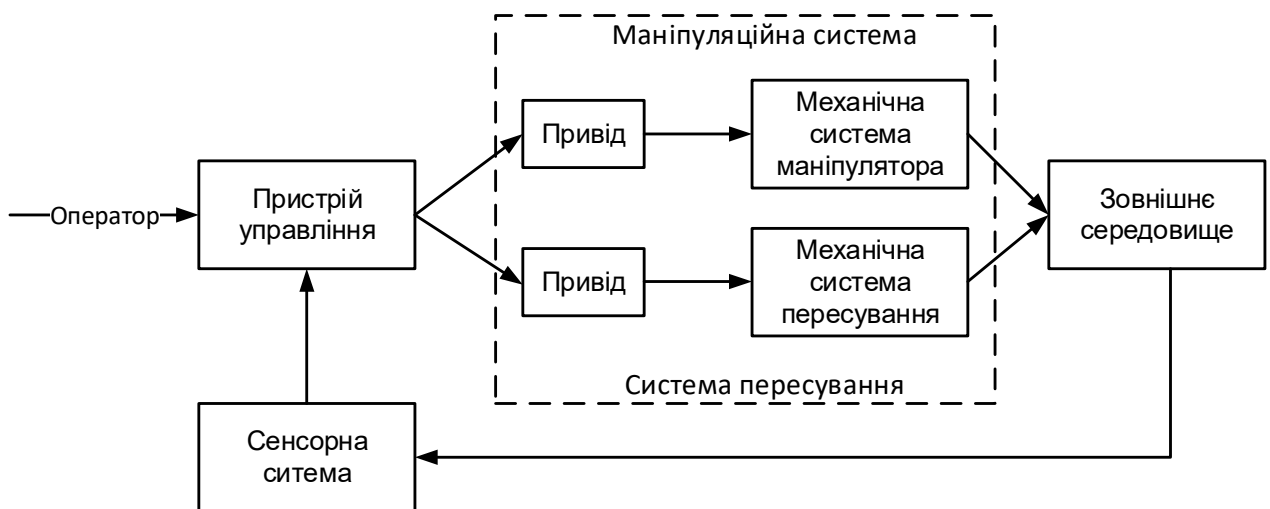


Рисунок 2.3 – Узагальнена схема робота

2.2 Огляд існуючих аналогів застосування мобільних роботів

Мобільні роботи – автоматичні машини, в яких є засоби пересування з автоматично керованими приводами. Структура мобільних роботів залежить від тих задач, що вирішує робот, але незалежно від задач, що вирішуються,

можна виділити такі основні компоненти структури мобільного робота (рисунок 2.4):

- засоби переміщення робота включають приводи органів пересування та засоби навігації для забезпечення руху робота по визначеній траєкторії;
- засоби переміщення виконавчих органів включають приводи переміщення цих органів та засоби позиціонування;
- засоби, що забезпечують виконання технологічних функцій, охоплюють захоплюючі пристрої, зварювальні пристрої, пристрої для різання, фарбування та інші;
- засоби керування мобільним роботом надають можливість керування як самим мобільним роботом, так і його окремими компонентами. Залежно від складності вирішуваних завдань можуть використовуватися централізовані або розподілені системи керування;
- засоби бездротового зв'язку важливі для забезпечення зв'язку між мобільними роботами та системами керування вищого рівня або оператором для отримання нових завдань;
- засоби автономного живлення, які часто використовуються у мобільних роботах, включають електроприводи, що потребують автономних джерел електропостачання, таких як акумулятори, іоністори або сонячні батареї.

Структура мобільного робота, що була описана, може розглядатися як умовна, оскільки сучасні системи керування можуть бути розподіленими, і окремі компоненти можуть мати власні системи керування, які об'єднуються у загальну систему.

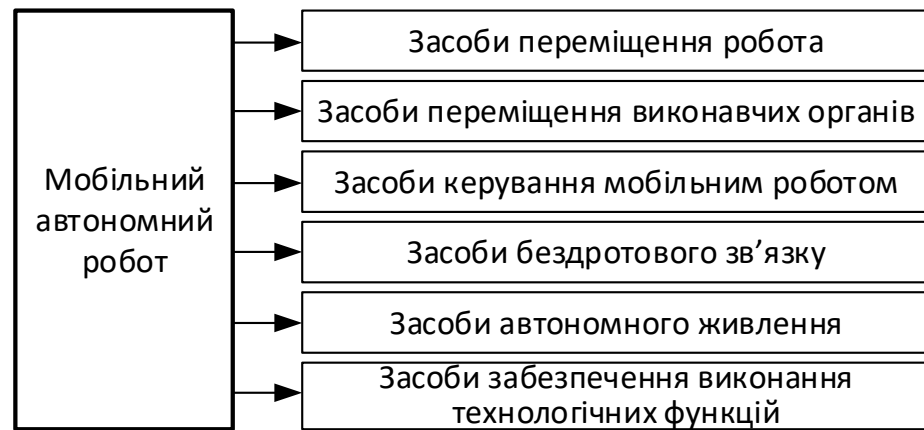


Рисунок 2.4 – Структура мобільного автономного робота

Як зазначалося в підрозділі 2.1, мобільні роботи можуть мати різні засоби пересування, такі як колісні, гусеничні, гуманоїдні, тощо. Відповідно до теми кваліфікаційної роботи, основну увагу приділимо саме колісним роботам. Мобільні колісні роботи застосовують різні поєднання ведучих, рульових, опорних, та ведучих рульових коліс, що дає можливість створити як голономні (можуть переміщуватися у будь якому напрямку без розвороту), так і неголономні (для зміни напрямку руху потребують здійснити поворот) мобільні роботи [5]. На рисунку 2.5 наведені основні типи коліс, які застосовуються у промислових мобільних роботах:

- стандартне колесо: два ступені свободи, яке обертається навколо колісної осі (моторизованої) і точкою зіткнення з поверхнею (рисунок 2.5 (а));
- поворотне колесо: два ступені свободи, яке обертається навколо зміщеного колісного шарніра (рисунок 2.5 (б));
- шведське колесо: три ступені свободи, яке обертається навколо (моторизованої) колісної осі, навколо осей роликів і навколо точки дотику; ролики можуть бути розміщені двома різними способами – 90 градусів (рисунок 2.5 (в)) і 45 градусів (рисунок 2.5 (г)).
- кульове або сферичне колесо: технічно складно реалізувати (рисунок 2.5 (д)).

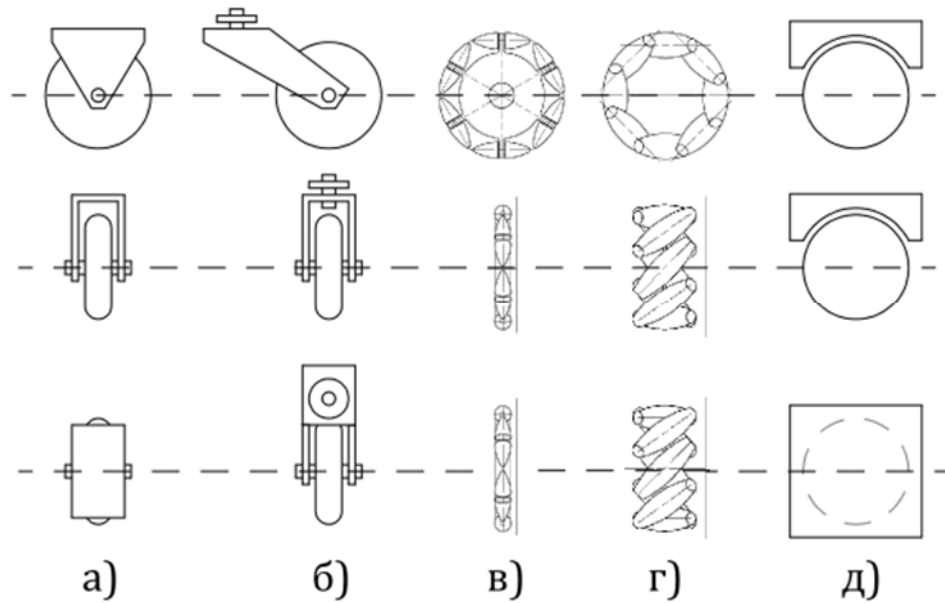


Рисунок 2.5 – Основні типи коліс мобільного колісного робота:

- а) стандартне; б) поворотне; в) шведське з розміщенням роликів 90 градусів;
г) шведське з розміщенням роликів 45 градусів; д) кульове або сферичне

Усі ці типи коліс сильно відрізняються своєю кінематикою і тому той чи інший тип має значний вплив на всю кінематику мобільного робота.

Звичайне колесо і поворотне колесо мають основну вісь обертання і, таким чином, є строго спрямованими. Для руху в іншому напрямку, колесо має бути спочатку розгорнуте вздовж вертикальної осі [6]. Основна відмінність між цими двома типами коліс полягає в тому, що звичайне колесо може виконати цей поворот без побічного ефекту, тому що центр обертання перебуває в точці контакту з поверхнею, в той час як поворотне колесо обертається навколо зміщеної осі, внаслідок чого, вихідне зусилля рухатиме шасі під час керування.

Шведське колесо (Swedish wheel) або, як його ще називають, колесо Ілона, винайшов інженер зі шведської компанії Mecanum AB Бенгт Ілон 1973 року – звідси і варіанти назв, відповідно. Конструкція таких коліс дає змогу обертатися на місці за мінімальної сили тертя і низького обертального моменту (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Шведські колеса з роликами, повернені на 90 та 45 градусів

Шведське колесо та сферичне колесо спроектовані таким чином, що меншою мірою обмежуються спрямованістю порівняно зі звичайним стандартним колесом. Функції шведського колеса такі самі як і у звичайного колеса, але також забезпечує низький опір в іншому напрямі, іноді перпендикулярному до звичайного напрямку, як у 90 градусів шведському колесі, а іноді й на проміжному куті, як у 45 градусів колесі Ілона. Маленькі ролики, прикріплені по колу, є пасивними, а основна вісь слугує для передавання енергії в з'єднання. Головна перевага цієї конструкції в тому, що, хоча обертання колеса працює тільки вздовж однієї головної осі (через вісь), колесо може рухатися кінематично з дуже невеликим тертям уздовж безлічі можливих траєкторій, а не тільки вперед і назад. Найчастіше колесо Ілона називають всенаправленим колесом (omni wheel).

Але все ж, по-справжньому всенаправленим колесом, є сферичне колесо, часто сконструйоване таким чином, що воно може активно обертатися в будь-якому напрямку. Одним із механізмів реалізації такої сферичної конструкції імітує комп'ютерну мишу (її застарілий варіант – з кулькою), з активними приводними роликами, що спираються на верхню поверхню сфери та передають зусилля для обертання (рисунок 2.7).

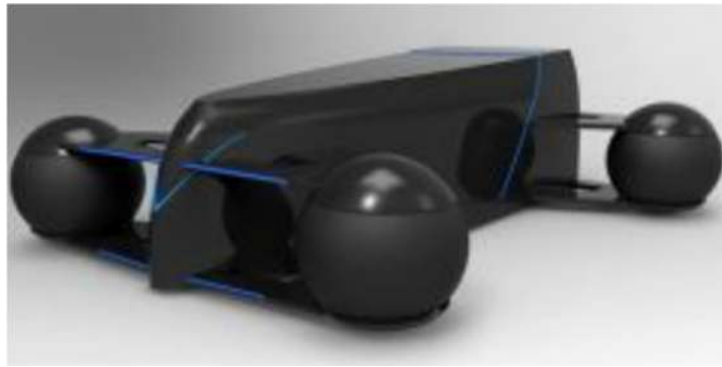


Рисунок 2.7 – Сферичні колеса

Двоколісні роботи, як правило, використовують гіроскоп для визначення кута нахилу корпусу робота і вироблення керуючої напруги для приводів робота з метою утримати рівновагу і здійснювати необхідні переміщення. Завдання утримання рівноваги двоколісного робота пов'язане з динамікою зворотного маятника. Для мобільних роботів з більш ніж трьома колесами, як правило, потрібна система підвіски для підтримки постійного контакту колеса з поверхнею. Один із найпростіших підходів у реалізації підвіски є створення гнучкості (еластичності) самого колеса [7]. Наприклад, у випадку деяких чотирьохколісних роботів для приміщень, що використовують поворотні колеса, виробники використовують у колесі деформовані шини з м'якої гуми, щоб створити примітивну підвіску. Звичайно, це обмежене рішення не може конкурувати зі складною системою підвіски в тих випадках, коли робот потребує більш динамічної підвіски для сильно рельєфної місцевості.

2.3 Методи і моделі керування колісними роботами

Сучасні модифікації колісних роботів відрізняються вдосконаленою конструкцією ходової системи, вбудованим обчислювальним пристроєм, продуманою навігаційною системою для слідування за маршрутом та сенсорними системами. Розробка системи керування рухом такого

автономного колісного робота передбачає створення ефективних алгоритмів для моделювання оточення, планування маршруту, контурного керування, стабілізації, виявлення та уникнення як статичних, так і рухливих перешкод і т.д. Виконуючи завдання навігації, робот оснащений багатьма інтелектуальними пристроями, які необхідні для моделювання навколишнього середовища і локалізації свого положення, керування рухом, виявлення перешкод і уникнення перешкод за допомогою навігаційних методів. Безпечне планування шляху (шляхом виявлення та уникнення перешкод) від початкової позиції до кінцевої є найважливішою функцією будь-якої навігаційної техніки [8]. В цілому, навігаційна задача поділяється на чотири основні підзадачі:

- побудова треку переміщення робота;
- слідування по заданій траєкторії;
- стабілізація робота до точки переміщення;
- паркування колісного робота.

Колісний робот, як об'єкт керування, представляє собою багатоканальну нелінійну динамічну систему. Для математичного опису його руху можна використовувати рівняння Лагранжа або Ньютона-Ейлера, в яких силові моментні дії F та M взаємодіють з колісною системою (рисунок 2.8). Остання і визначає основні особливості моделей руху твердого тіла. Кути поворотів коліс β^j та вектори їх лінійних швидкостей V^j є взаємозв'язаними, тобто підкоряються голономним або неголономним обмеженням, що і викликає основні складнощі аналізу і синтезу колісних робототехнічних систем [9].

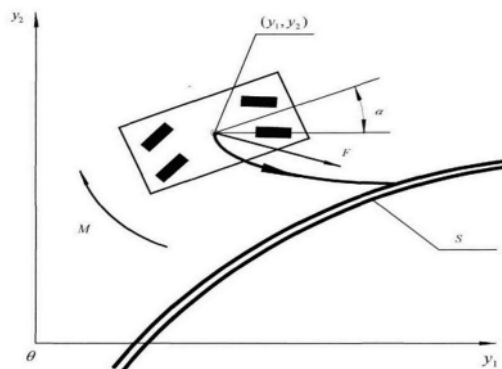


Рисунок 2.8 – Траєкторія руху колісного робота

Моделі роботів встановлюють зв'язки вихідних змінних системи, до яких відносяться декартові координати платформи $(y_1, y_2) \in R^2$ і кут її орієнтації α , вхідних (керуючих) змінних. Залежно від вибору вхідних змінних і деталізації аналітичного опису прийнято розрізняти два основні типи моделей колісних роботів – динамічні і кінематичні моделі [10]. У динамічних моделях (рисунок 2.9 (а)) вхідними змінними служать рушійні сили коліс u^j і вхідні сигнали приводів поворотних механізмів u'_β . Дана модель робота зумовлена прив'язкою до специфікації платформи, його маневреністю та особливістю будови. При побудові кінематичних моделей інерційними властивостями платформи і кінематикою поворотних механізмів нехтують і в якості керуючих дій, розглядають швидкості коліс V^j і кути їх повороту β^j (рисунок 2.9 (б)). Така модель є більш спрощеним представленням моделі керування роботом. Про кінематична модель звичайного двохколісного робота достатньо добре представлено у літературі [11].

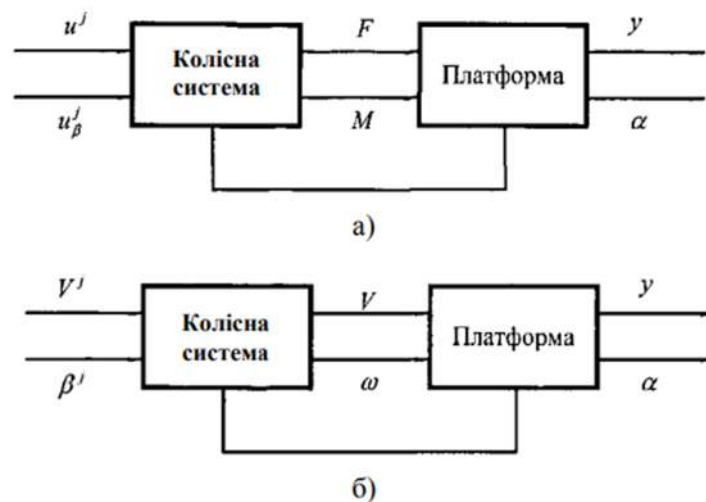


Рисунок 2.9 – Моделі колісних роботів: а) динамічна; б) кінематична

Вибір типу моделі визначається масо-інерційними параметрами і швидкостями руху конкретного робота, а також необхідною точністю результатів аналізу руху або бажаною якістю функціонування системи керування, що розробляється. Капауата [12] одним із перших запропонував

метод стабільного трекового керування колісним роботом, проте він обмежувався лінійними треками на основі аналізу кінематичних моделей. Крім того Besides, Yamamoto and Yun також запропонували алгоритм слідування мобільних платформ по заданій траєкторії [13]. Як представлено у [12], Fierro та Lewis розробили схему керування колісним роботом для переходу від задач зворотної кінематики до динаміки робота із припущенням, що усі відомості про систему робота повністю відомі. Інші автори також представили рішення глобального асимптотичного керування із множиною параметрів регулювання даного процесу неголономних систем. Later і Dixon [14] запропонували метод експоненціального трекового керування для неголономних колісних роботів. Попри множину методів ефективного керування мобільними роботами, вони є недосконалими по відношенню до робастності (стійкості до перешкод) та накопичуючих неполадок чи неточностей. Середовище для колісних роботів не завжди є ідеальним і часто наділене різними формами нестабільностей, включаючи специфіку зчеплення коліс робота із поверхнею, неоднорідністю ґрунту, неріномірністю треку, параметричними змінами і неточністю зовнішніх систем, що унеможливило застосування всіх цих методів. Складність і прикладне значення моделей колісних роботів визначається системою модельних припущень (гіпотез), вибір якої залежить від конкретних умов функціонування робототехнічної системи і передбачуваного використання моделей [15]. Тому, з метою підвищення робастної стійкості, а також точністю рухів мобільними роботами, задачею є створення моделі керування ними як результат комбінування наведених факторів.

3 ПАРКУВАННЯ КОЛІСНОГО РОБОТУ НА ПІДСТАВІ ДАНИХ ВІД ДАТЧИКІВ ВІДСТАНІ Й ВІДОБРАЖЕННЯ

3.1 Концептуальна модель системи

Концептуальна модель є теоретичним підґрунтям під час розроблення моделі паркування складського колісного роботу, яка служить основою для подальшого проектування і розробки конкретних рішень. Ця модель системи – це абстракція або узагальнене представлення зв'язків, властивостей і правил в системі, що допомагає розуміти її структуру та функції, визначає ключові концепції та взаємозв'язки, але не вдається в деталі реалізації.

У концептуальній моделі системи паркування складського колісного роботу на підставі даних від датчиків відстані та відображення важливим є опис поведінки та взаємодії компонентів системи (рисунок 3.1). Також важливим є розуміння способу роботи функції робота та їх взаємодії з іншими компонентами системи.

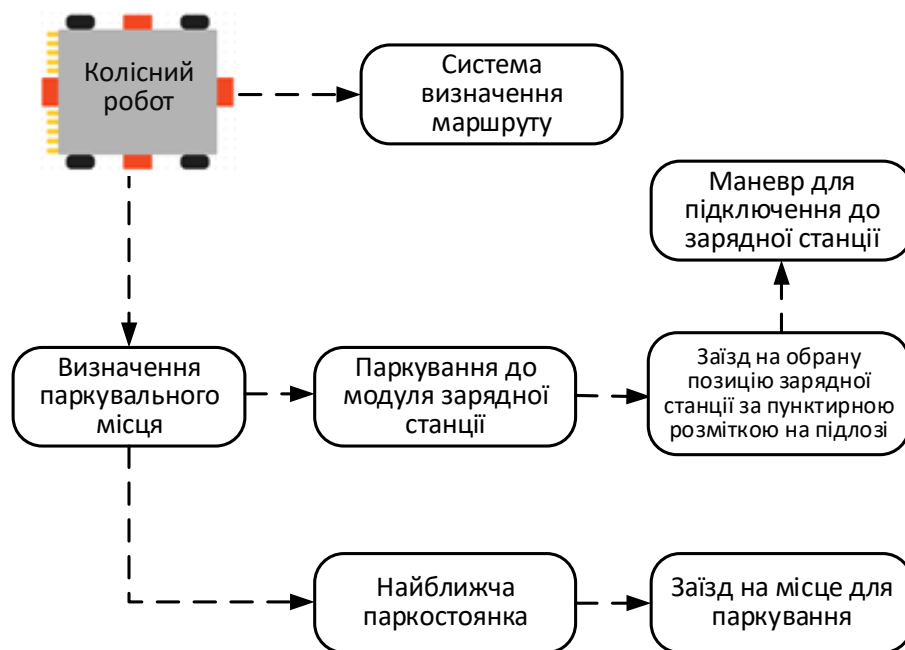


Рисунок 3.1 – Концептуальна модель системи паркування

До основних функцій, які виконує складський колісний робот є:

- визначення маршруту – переміщення вантажів у контейнерах на складі по заданому маршруту, врахування зон обслуговування, обмежень та коригування маршруту в режимі реального часу для уникнення перешкод;
- паркування в найближчій паркостоянці, коли немає запитів на обслуговування вантажів – аналіз запитів на обслуговування вантажів та автоматичне паркування в найближчій паркостоянці при відсутності активних завдань;
- паркування до зарядної станції, коли рівень заряду акумуляторної батареї знизився нижче заданого рівня – моніторинг рівня заряду акумуляторної батареї та при необхідності автоматичне направлення до зарядної станції.

Концептуальна модель системи колісного робота під час визначення маршруту показана на рисунку 3.2.

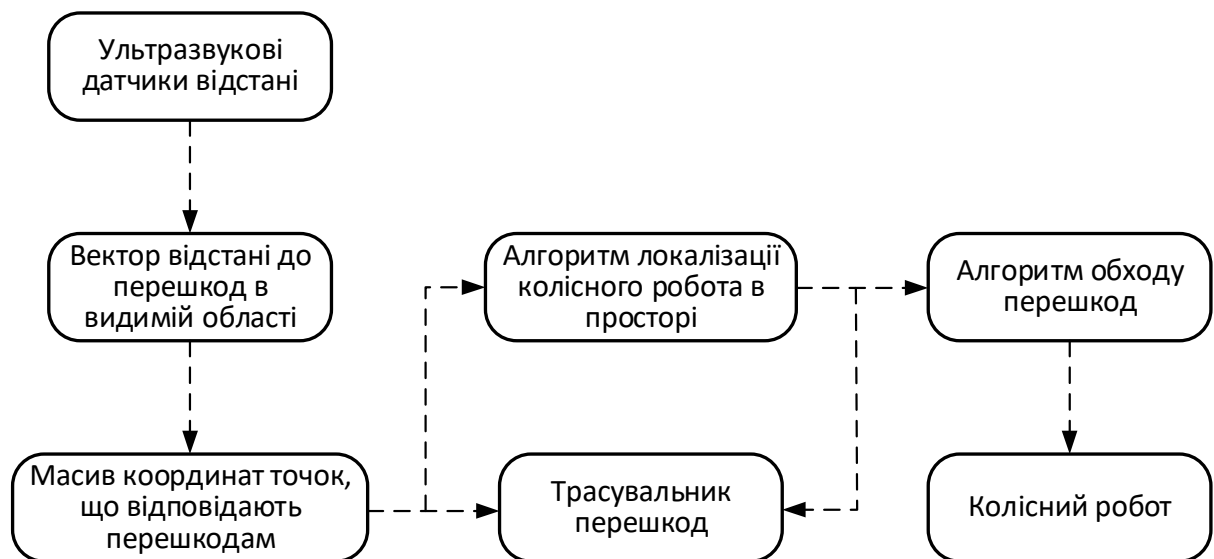


Рисунок 3.2 – Концептуальна модель системи колісного робота під час визначення маршруту

Розглянемо окремо деякі елементи цієї системи:

- ультразвукові датчики відстані – відправлення ультразвукового

сигналу в напрямку об'єкта і вимірювання часу, який потрібен для того, щоб сигнал повернувся після відбиття від об'єкта;

- алгоритм локалізації колісного робота в просторі – отримання інформації про знаходження робота в поточний момент часу;

- трасувальник перешкод на основі наявних даних про поточне місцезнаходження робота будує список рухомих перешкод і прогнозує їхнє місцезнаходження в наступні моменти часу;

- алгоритм обходу перешкод – алгоритм, що дає змогу побудувати траєкторію обходу перешкод мобільним роботом за наявних даних про місцеположення робота на цей момент часу.

Функції паркування колісного роботу в свою чергу включають:

- визначення паркувального місця – використовуючи датчики визначає вільне місце для паркування, де доступне джерело живлення для підключення робота до зарядного пристрою;

- заїзд на обрану позицію зарядної станції за пунктирною розміткою на підлозі – аналіз розмітки на підлозі для точного визначення положення зарядної станції та управління рухом робота на основі даних від датчиків відображення;

- маневр для підключення до зарядної станції – передбачає правильне розміщення робота в межах розмітки паркувального місця та маневр щоб він зміг з'єднатися з підзарядною станцією.

Функція маневру для підключення до зарядної станції реалізується за допомогою ультразвукових датчиків відстані, які орієнтуються по відстані від стін й інфрачервоних датчиків відображення, а також орієнтуються на спеціальну мітку на підлозі.

Ці функції й їх зв'язки відображені на діаграмі варіантів використання що наведені у додатку Б.

3.2 Логічна модель системи. Моделювання в Mental Modeler

Система паркування колісного робота призначена для автоматизованого паркування робота визначеною територією. Основною метою є забезпечення ефективності та безпеки процесу паркування, враховуючи оточення та використовуючи дані від різноманітних датчиків. Тому функція паркування колісного робота залежить від певного ряду факторів.

1. Локалізація стану паркувального місця: вільне або зайняте місце. Колісний робот за допомогою датчиків відстані перевіряє чи зайняте паркувальне місце. Якість локалізації залежить від стану ультразвукового датчику, місця знаходження робота при скануванні (наскільки він точно став на спеціальну мітку на підлозі).

2. Точність траєкторії заїзду робота. Наскільки точно робот заїжджає на паркувальне місце. Залежить від стану датчиків відображення, пошкоджень лінії розмітки.

3. Точність позиціонування на паркувальному місці. Робот повинен припаркуватися в те місце, в яке він заїжджав. Залежить від стану ультразвукових датчиків й відображення та маневреності робота.

4. Точність зупинки по відношенню до фронтальної стіни. Залежить від стану ультразвукових датчиків й відображення, пошкоджень мітки та маневреності робота.

За останні кілька років було запропоновано багато методів програмного обчислення для вирішення проблеми навігації роботів і уникнення перешкод у різних статичних і динамічних середовищах, серед них – метод нечіткої логіки (Fuzzy logic) для мобільної навігації роботом. Концепція нечіткої логіки була розроблена Заде (Zadeh) і є широко вживана у багатьох інженерних додатках, з поміж яких – мобільна робототехніка. Техніка нечіткої логіки була успішно застосована багатьма дослідниками для контролю положення та орієнтації мобільного робота в навколишньому середовищі. Існуючі праці описують інтелектуальний контролер нечіткої логіки для вирішення проблеми

навігації колісного мобільного робота в невідомому та мінливому середовищі; демонструють оптимальний нечіткий контролер Такагі-Сугено на основі градієнтного методу для налаштування параметрів функції приналежності та застосовують його для навігації мобільних роботів та уникнення перешкод; подають нечітку архітектуру на основі поведінки для навігації мобільних роботів у невідомих середовищах, спираючись на базові моделі поведінки: прагнення до мети, поведінку уникнення перешкод, поведінку відстеження, для навігації мобільних роботів, випробувавши їх у різних симуляційних середовищах.

В концепції нечіткої когнітивної карти колісного робота, за допомогою графічного середовища Mental Modeler, ми відобразили зв'язки між цими факторами та їх вплив на якість паркування (рисунок 3.3). Mental Modeler – це графічне середовище проектування та моделювання систем на основі нечіткої логіки і штучного інтелекту. Воно надає зручний інтерфейс для створення логічних моделей, встановлення зв'язків між блоками та аналізу їх роботи [16].

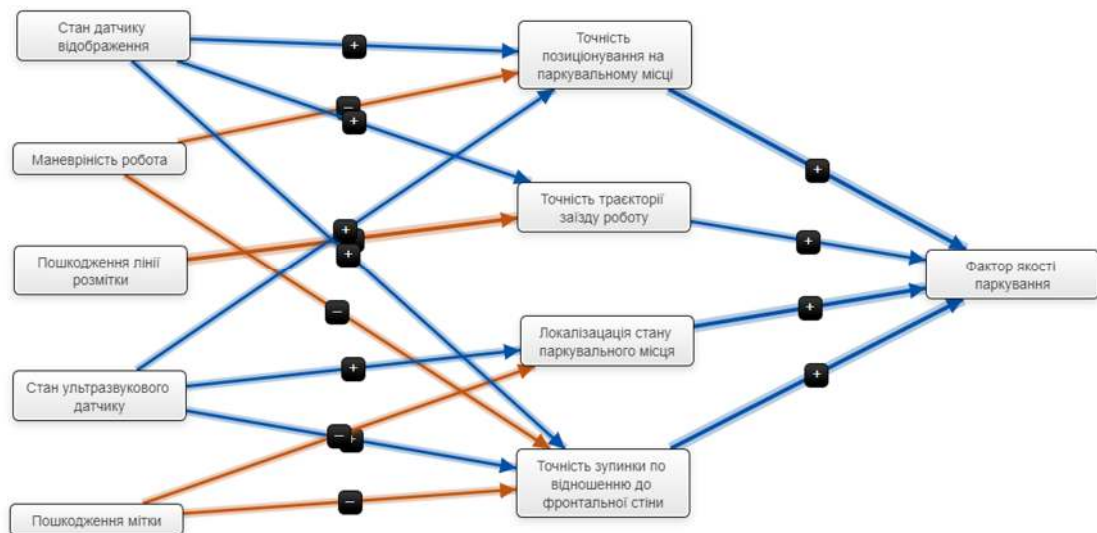


Рисунок 3.3 – Когнітивне картографування на основі нечіткої логіки

На точність траєкторії заїзду робота впливає його маневрність. Через гусеничний принцип управління робот не є дуже керованим. Під час моделювання в графічному середовищі Mental Modeler [17] було розглянуто

три сценарії якості виконання маневрувань (кофіцієнти параметрів градуються від -1 до 1): негативні, високі та середні. На рисунках 3.4, 3.5, 3.6. виведені результати якості виконаних маневрувань та кофіцієнти параметрів робота.

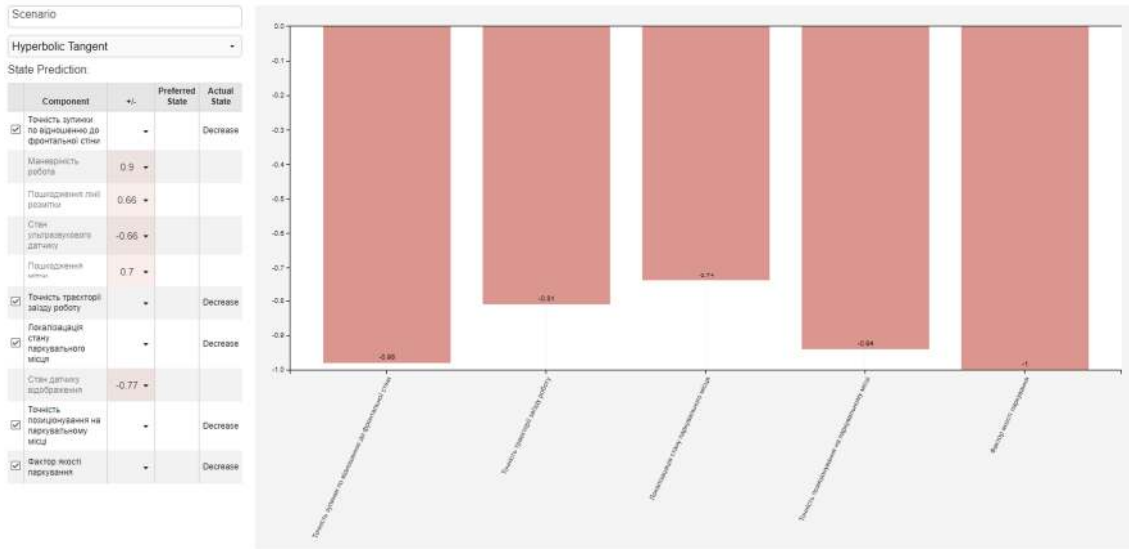


Рисунок 3.4 – Фактор якості паркування колісного робота

При введенні негативних оцінювальних підпараметрів результати були виведені не задовільні (рисунок 3.4). При введенні високих (гарних) оцінювальних підпараметрів результати виведені дуже задовільні (рисунок 3.5).

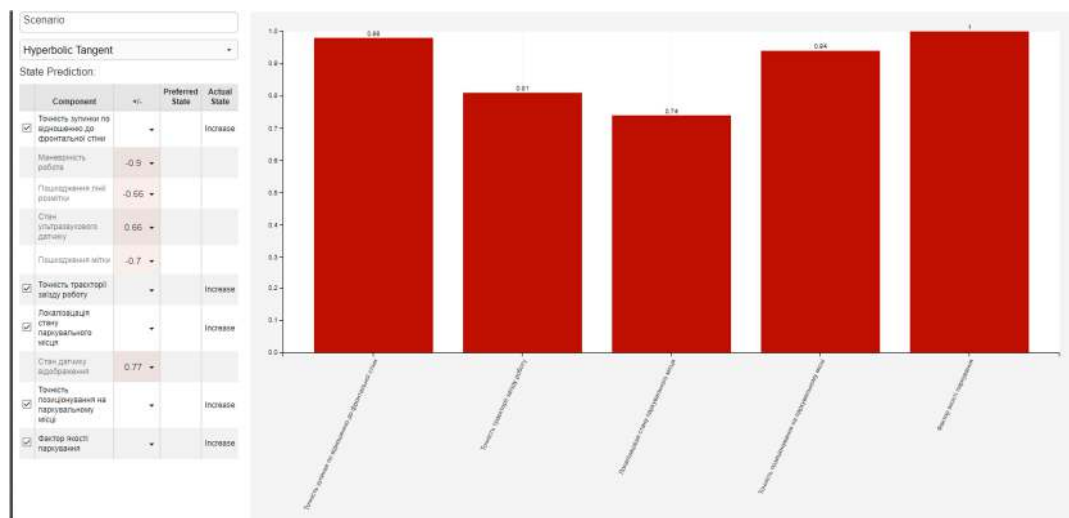


Рисунок 3.5 – Фактор якості паркування колісного робота

На рисунку 3.6 введені середні (нормальні) оцінювальні підпараметри, але підпараметр маневрність роботи вказаний дуже поганий. Виведені результати цілком задовільні, окрім точності позиціонування на паркувальному місці.

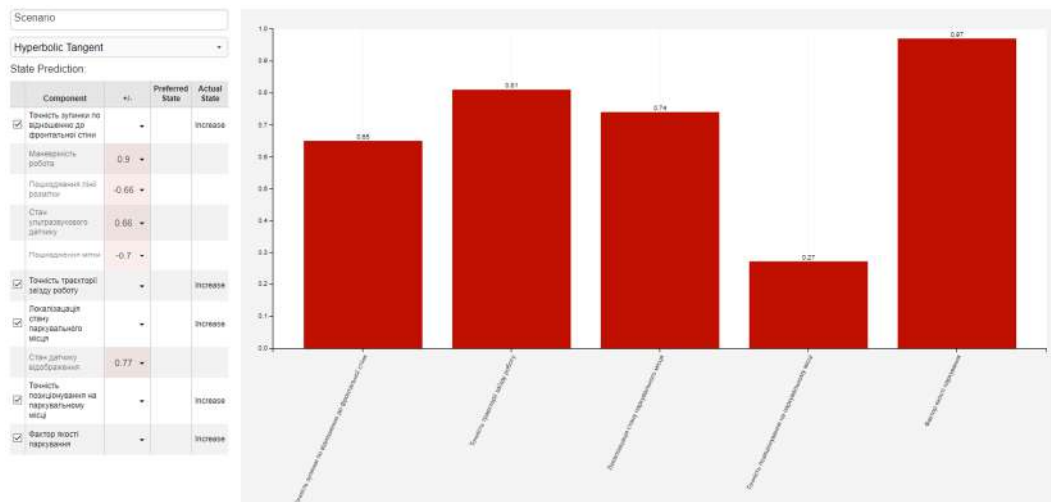


Рисунок 3.6 – Фактор якості паркування колісного робота

3.3 Логічна модель системи. Моделювання в MATLAB

MATLAB (MATrix LABoratory) – це інтегроване середовище програмування та чисельних обчислень, яке широко використовується в наукових, технічних та інженерних дисциплінах. Воно надає потужні інструменти для обробки даних, моделювання, визначення алгоритмів, розробки програмного забезпечення та візуалізації результатів [18].

Під час керування колісним роботом використовується інформація від датчиків відстані та датчиків відображення, які розглядаються як вхідні змінні моделі. Для моделювання логічної моделі системи паркування колісного робота в MATLAB спочатку зробимо конкретний опис лінгвістичних змінних та їх термів.

Вхідні лінгвістичні змінні:

- правий датчик відстані:

а) близько (Close): [50, 60] см;

- b) далеко (Far): [90, 110] см;
- передній датчик відстані: дуже близько (VeryClose): [0, 15] см;
- ідентифікатор місця:
 - a) лінія (L): 2 шт.;
 - b) мітка 1 (M1): 10 шт.;
 - c) мітка 2 (M2): 8 шт.;
 - d) мітка 3 (M3): 6 шт.;
 - e) мітка 4 (M4): 4 шт.;
- відхилення від лінії розмітки:
 - a) велике відхилення ліворуч (BigLeftError): [1, 2];
 - b) мале відхилення ліворуч (LowLeftError): [3, 4];
 - c) відсутнє відхилення (NoError): [5, 6];
 - d) мале відхилення праворуч (LowRightError): [7, 8];
 - e) велике відхилення праворуч (BigRightError): [9, 10];
- стан:
 - a) рух вздовж лінії розмітки (M) : 1;
 - b) стоїть (S) : 2;
 - c) сканування зайнятості Паркомісця (Sen) : 3;
 - d) заїзд на паркомісце вправо (TR) : 4;
 - e) маневрування на паркомісці (MP): 5.

Вихідні лінгвістичні змінні:

- стан:
 - a) рух вздовж лінії розмітки (M): 1;
 - b) стоїть (S): 2;
 - c) сканування зайнятості Паркомісця (Sen): 3;
 - d) заїзд на паркомісце вправо (TR) : 4;
 - e) маневрування на паркомісці (MP): 5;
- швидкість (Speed):
 - a) нульова (Zero) [0, 2] см/с;
 - b) низька (Low) [0, 50] см/с;

- c) середня (Medium) [40, 100] см/с;
- кут повороту (Angle):
 - a) великий ліворуч (BigLeft) [-120, -60] градусів;
 - b) середній ліворуч (MediumLeft) [-70, -20] градусів;
 - c) малий ліворуч (LowLeft) [-30, 0] градусів;
 - d) нульовий (Zero) [-5, 5] градусів;
 - e) малий праворуч (LowRight) [0, 30] градусів;
 - f) середній праворуч (MediumRight) [20, 70] градусів;
 - g) великий праворуч (BigRight) [60, 120] градусів.

Визначення лінгвістичних змінних виконаємо за допомогою інструментарію Fuzzy Logic Toolbox пакету MATLAB. Він дозволяє створювати системи нечіткого логічного виведення і нечіткої класифікації в рамках середовища MATLAB. На рисунку 3.7 зображені 5 вхідних лінгвістичних змінних: RightSen, ReflectionSen, State, ForwardSen, LineError. Та вихідні лінгвістичні змінні: State, Speed, Angle.

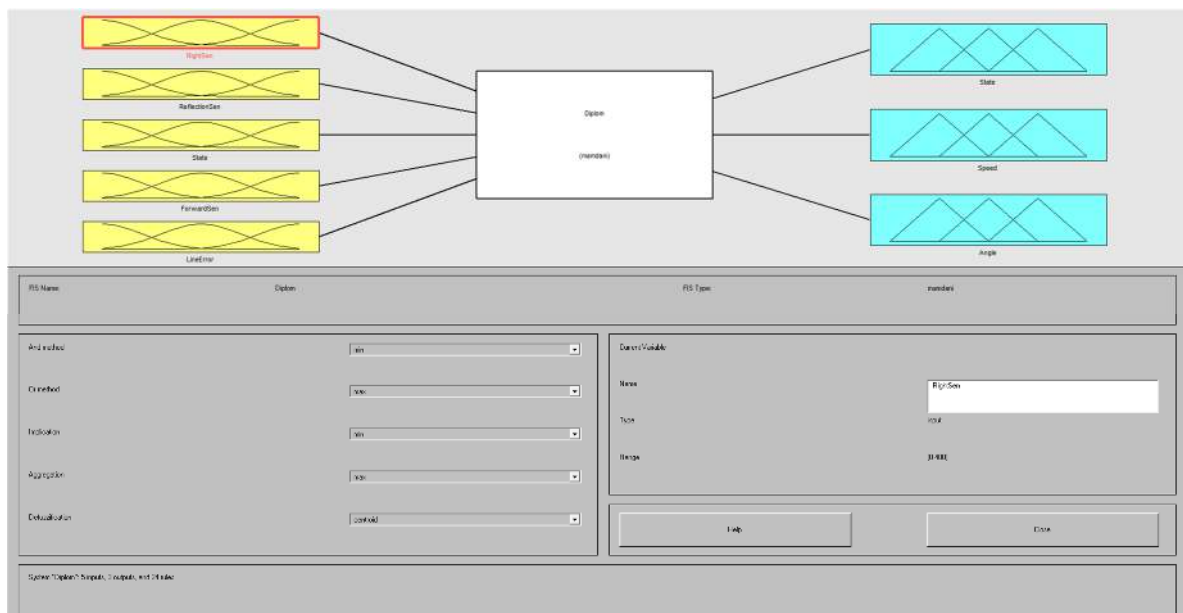


Рисунок 3.7 – Моделювання в середовищі MATLAB

Датчики відстані позначені як RightSen, ForwardSen. Датчик RightSen має 2 терми (рисунок 3.8):

- Close для перевірки є перешкода на паркомісці або там вже зайняте місце;
- Far інформує що паркомісце вільне та на нього можна паркуватись.

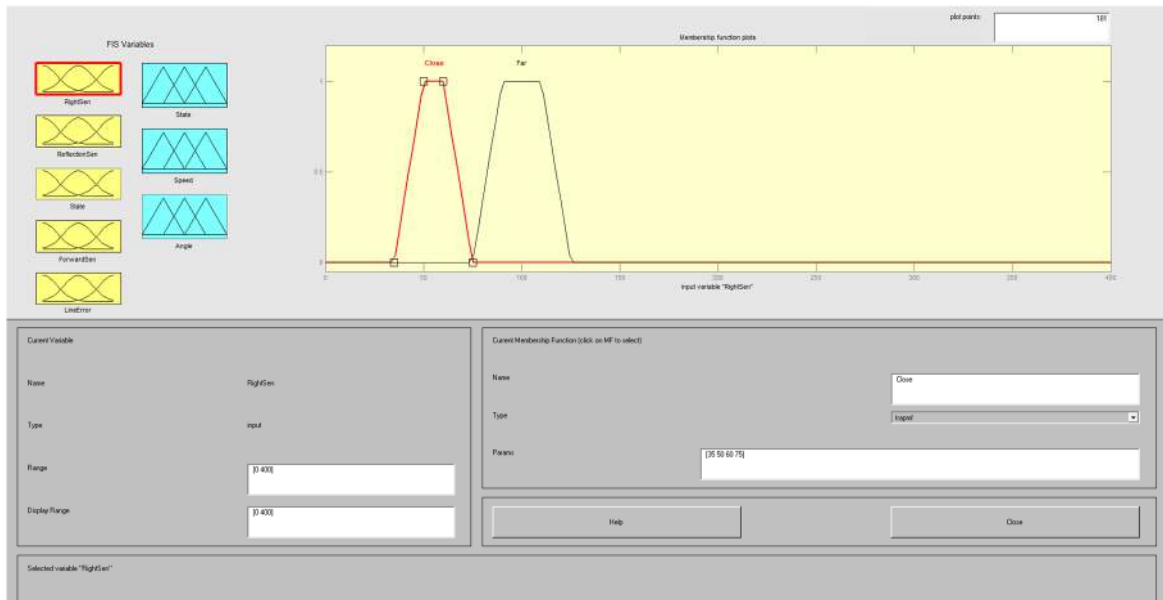


Рисунок 3.8 – Датчик відстані RightSen

Датчик ForwardSen (рисунок 3.9) має 1 терм: Close для визначення під'їзду до фронтальної стінки.

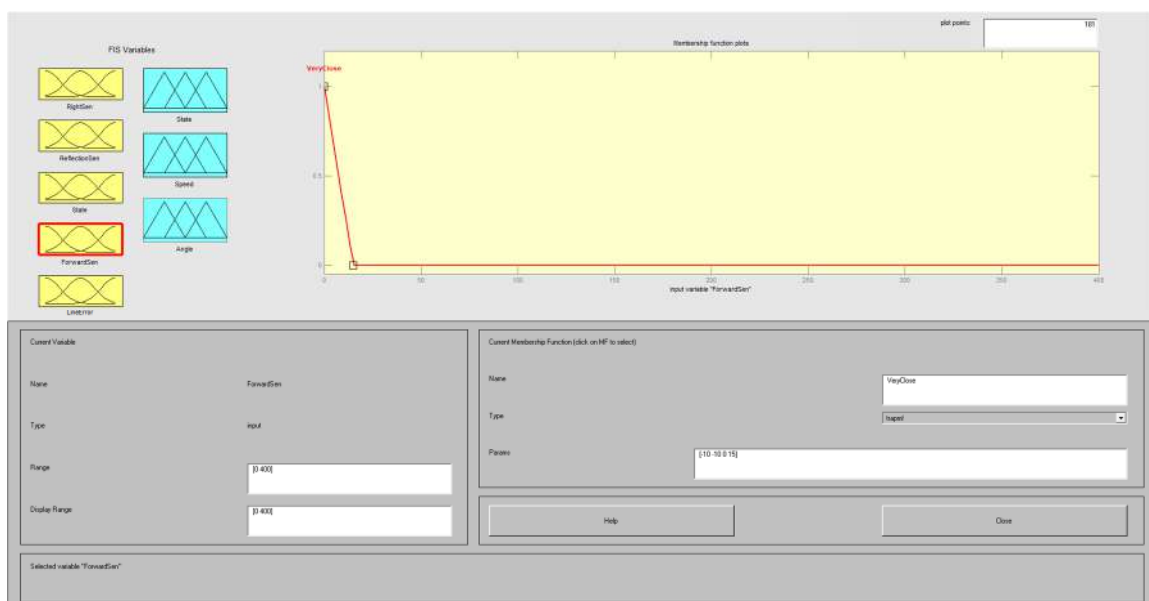


Рисунок 3.9 – Датчик відстані ForwardSen

Датчики відображення позначені як ReflectionSen (рисунок 3.10) та мають 5 терми: Line, M1, M2, M3, M4.

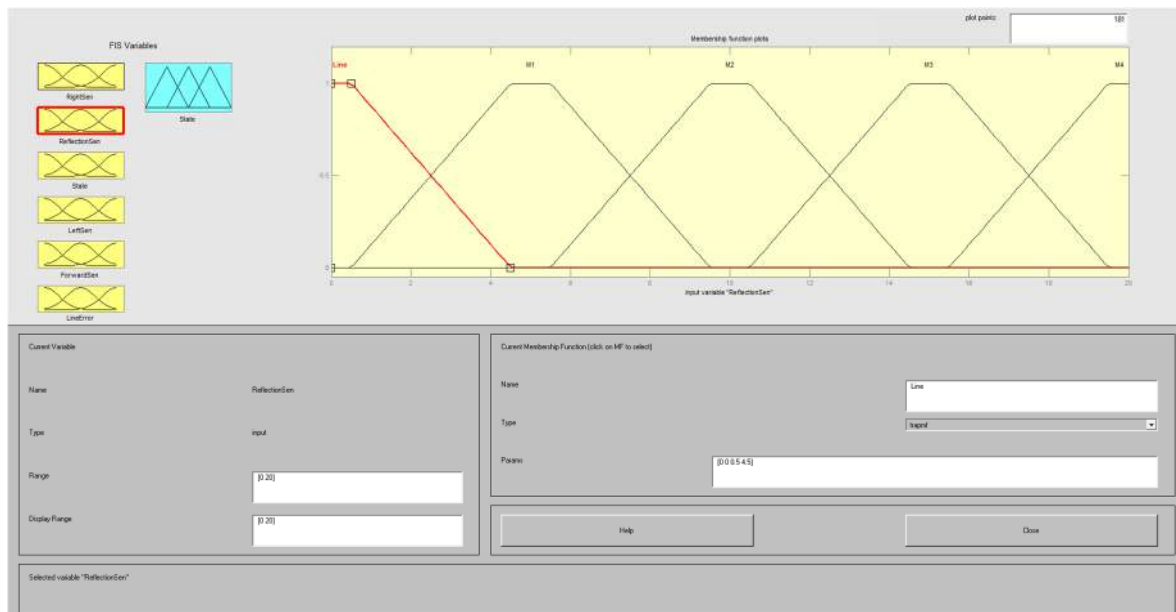


Рисунок 3.10 – Датчики відображення ReflectionSen

Лінгвістична змінна State (Стан), демонструє що робот робить у вигляді термів: Moving, Stop, Sencing, TurnRight, MovingParking, що продемонстровано на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 – Лінгвістична змінна State

Лінгвістична змінна LineError та терми: BigRightError, LowRightError, NoError, LowLeftError, BigLeftError потрібні для подачі інформації про з'їзд робота з лінії при заїзді на паркувальне місце для подальшого корегування траєкторії маневрування робота, продемонстровано на рисунку 3.12.

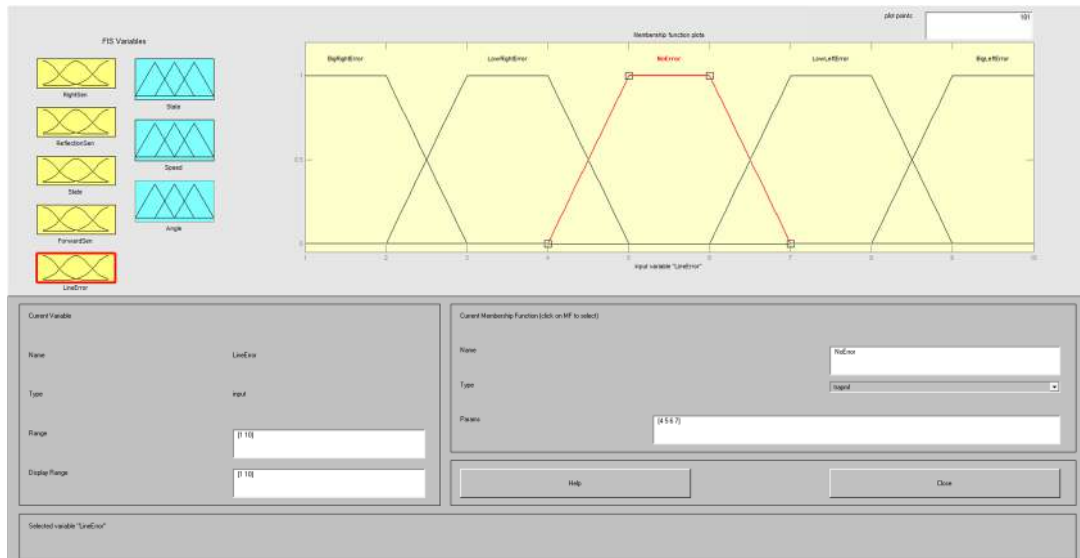


Рисунок 3.12 – Лінгвістична змінна LineError

Вихідна лінгвістична змінна State (рисунку 3.13) ідентична вхідній State і теж має 5 термів: Moving, Stop, Sencing, TurnRight, MovingParking.



Рисунок 3.13 – Вихідна лінгвістична змінна State

Speed та Angle – лінгвістичні змінні які відповідають за маневрування робота. Speed (рисунок 3.14) має 3 терма: Zero коли робот зупиняється, Low маленька швидкість робота та Medium середня швидкість робота . В універсум задано від 0 до 150 та відповідає фізичним одиницям виміру від 0 до 150 см/с.

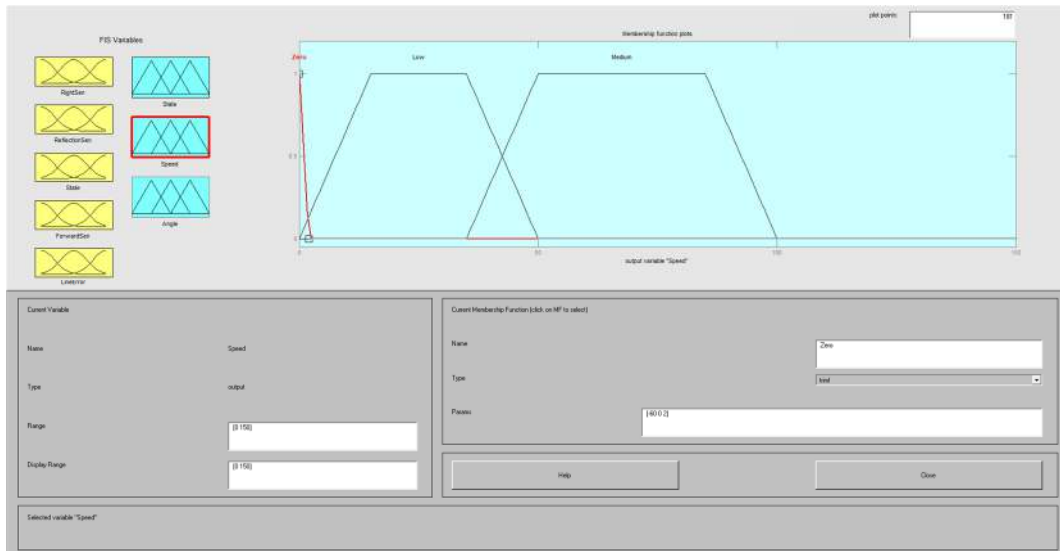


Рисунок 3.14 – Вихідна лінгвістична змінна Speed

Лінгвістична змінна Angle відповідає за довертання та повороти робота та має 7 термів: BigLeft, MediumLeft, LowLeft, Zero, LowRight, MediumRight, BigRight (рисунок 3.15).

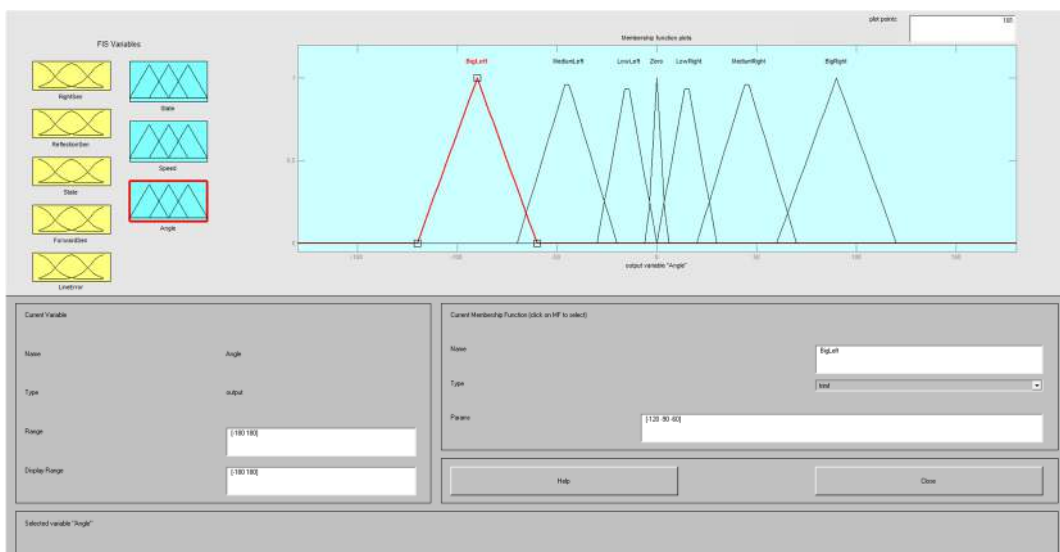


Рисунок 3.15 – Вихідна лінгвістична змінна Angle

База знань представлена у вигляді 3 блоків нечітких правил:

- перший блок: правило R1 початок руху колісного робота;
- другий блок: правила пересування до міток та умови повороту до паркомісця (R2 – R17);
- третій блок: правила маневрування по паркомісцю та зупинки в ньому (R18 – R24).

У першому блоці правил (R1) колісний робот починає рух, зчитує лінію розмітки та подає подальшу команду початок руху з середньою швидкістю: R1: IF (ReflectionSen == Line) AND (State == Stop) THEN (State == Moving), (Speed == Medium), (Angle == Zero).

У другому блоці правил (R2 – R17) загальне завдання колісного робота перевірити чи зайняте паркомісце. Якщо зайняте то рухатися до наступної мітки або якщо не зайняте дати команду повороту на паркомісце. Детальніше обґрунтую на прикладі правил R2 – R5:

- правило R2 – якщо робот під'їхав до мітки M1 яка зчитується датчиком відображення, то подає команду зупинитися та зменшити швидкість до 0;

- правило R3 – якщо робот зупинився на мітці M1 він починає сканувати правим датчиком на наявність зайнятого паркомісця;

- правило R4 – якщо правий датчик відстані показує що дальність до об'єкту маленька (Close, 50 – 60 см) тоді подається команда продовжувати рух до наступної мітки з середньою швидкістю (Medium, 40 – 100 см/с);

- правило R5 – якщо правий датчик відстані показує що до об'єкту далеко (Far, 90 – 110 см) тоді подається команда повороту на паркомісце з низькою швидкістю (Low, 0 – 50 см/с), та зробити поворот праворуч (BigRight, 60 – 120 градусів).

Наступні правила R6 – R17 будуть ідентичні, змінюється тільки мітка до якої під'їхав робот.

R2: IF (ReflectionSen == M1) AND (State == Moving) THEN (State == Stop), (Speed == Zero), (Angle == Zero).

R3: IF (ReflectionSen == M1) AND (State == Stop) THEN (State == Sencing), (Speed == Zero), (Angle == Zero).

R4: IF (RightSen == Close) AND (ReflectionSen == M1) AND (State == Sencing) THEN (State == Moving), (Speed == Medium), (Angle == Zero).

R5: IF (RightSen == Far) AND (ReflectionSen == M1) AND (State == Sencing) THEN (State == TurnRight), (Speed == Low), (Angle == BigRight).

R6: IF (ReflectionSen == M2) AND (State == Moving) THEN (State == Stop)

R7: IF (ReflectionSen == M2) AND (State == Stop) THEN (State == Sencing).

R8: IF (RightSen == Close) AND (ReflectionSen == M2) AND (State == Sencing) THEN (State == Moving).

R9: IF (RightSen == Far) AND (ReflectionSen == M2) AND (State == Sencing) THEN (State == TurnRight).

R10: IF (ReflectionSen == M3) AND (State == Moving) THEN (State == Stop).

R11: IF (ReflectionSen == M3) AND (State == Stop) THEN (State == Sencing).

R12: IF (RightSen == Close) AND (ReflectionSen == M3) AND (State == Sencing) THEN (State == Moving).

R13: IF (RightSen == Far) AND (ReflectionSen == M3) AND (State == Sencing) THEN (State == TurnRight).

R14: IF (ReflectionSen == M4) AND (State == Moving) THEN (State == Stop).

R15: IF (ReflectionSen == M4) AND (State == Stop) THEN (State == Sencing).

R16: IF (RightSen == Close) AND (ReflectionSen == M4) AND (State == Sencing) THEN (State == Moving).

R17: IF (RightSen == Far) AND (ReflectionSen == M4) AND (State == Sencing) THEN (State == TurnRight).

Третій блок правил (R18 – R24) коригує рух колісного робота по лінії в паркомісце та зупинці його біля фронтальної стінки:

- правило R18 – працює коли робот вже повернув на паркомісце та їде по лінії з низькою швидкістю та нікуди не повертає;

- правило R19 – якщо робот рухається та передній датчик показує що до стінки дуже близько, тоді подається сигнал зупинитись.

У правилах R20 – R24 інформується як корегувати з'їзд робота з лінії:

- правило R20 – якщо робот рухається та датчик не бачить з'їзд з лінії, тоді робот продовжує рухатись до стінки з низькою швидкістю;

- правило R21 – якщо робот рухається та датчик відображення бачить велике відхилення ліворуч, тоді подається команда на поправку кута та робот повертає вправо приблизно на 45 градусів;

- правило R23 – працює так само але якщо бачить велике відхилення праворуч;

- правила R22 та R24 – якщо робот так само рухається але є невелике зміщення з лінії праворуч або ліворуч тоді він подає сигнал поправки праворуч або ліворуч приблизно на 15 градусів.

R18: IF (State == TurnRight) THEN (State == MovingParking), (Speed == Low), (Angle == Zero).

R19: IF (State == MovingParking) AND (ForwardSen == VeryClose) THEN (State == Stop), (Speed == Zero), (Angle == Zero).

R20: IF (State == MovingParking) AND (LineError == NoError) THEN (State == MovingParking), (Speed == Low), (Angle == Zero).

R21: IF (State == MovingParking) AND (LineError == BigLeftError) THEN (State == MovingParking), (Speed == Low), (Angle == MediumRight).

R22: IF (State == MovingParking) AND (LineError == LowLeftError) THEN (State == MovingParking), (Speed == Low), (Angle == LowRight).

R23: IF (State == MovingParking) AND (LineError == BigRightError) THEN (State == MovingParking), (Speed == Low), (Angle == MediumLeft).

R24: IF (State == MovingParking) AND (LineError == LowRightError)
THEN (State == MovingParking), (Speed == Low), (Angle == LowLeft).

Правила заїзду робота на паркувальне місце показані на рисунку 3.16.

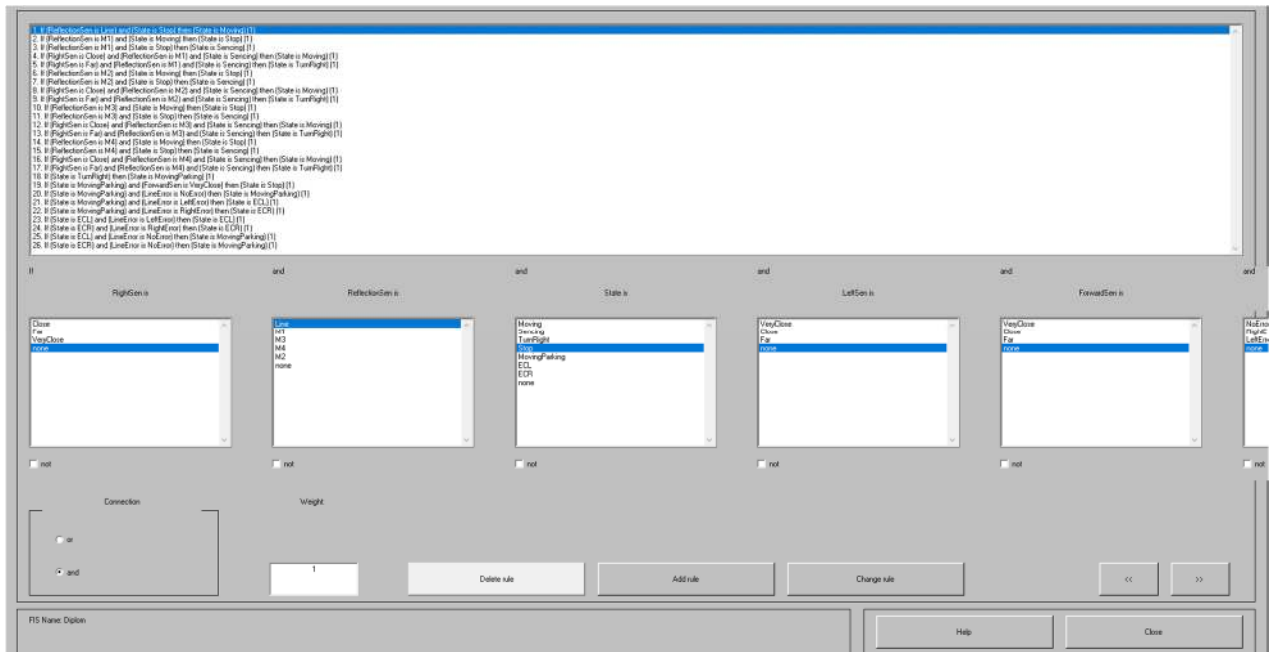


Рисунок 3.16 – Правила заїзду робота на паркувальне місце

3.4 Фізична модель системи

Фізична модель ультразвукових датчиків базується на принципі роботи ультразвукових хвиль. Ультразвуковий датчик є найбільш поширеним засобом забезпечення робота визначати місцеположення у навколишньому середовищі, оскільки показники собівартості та ефективності роботи даного типу датчиків є вищими, ніж у решти. Краще всього використовувати їх для безконтактного виявлення: присутності об'єкта, рівня, позиції, відстані [19]. Поширення ультразвукової хвилі не залежить від: освітлення, наявності диму чи пилу, кольору поверхні та матеріалу (окрім м'яких поверхонь, таких як шерсть, оскільки такі поверхні поглинають ультразвук, а не відбивають його). Ультразвуковий датчик складається з генератора ультразвукових хвиль,

приймача, який отримує відбиті хвилі від об'єктів, та мікроконтролера, який оброблює інформацію, отриману від приймача.

Генератор ультразвукових хвиль створює високочастотні звукові хвилі, які відправляються в напрямку об'єкта. Якщо ці хвилі зіштовхуються з перешкодою, то частина енергії хвиль відбивається від неї. Приймач ультразвукових хвиль отримує ці відбиті хвилі та конвертує їх в електричний сигнал. За допомогою мікроконтролера обробляється цей електричний сигнал і визначається відстань до перешкоди. Чим більше часу потрібно ультразвуковим хвилям на проходження відстані до перешкоди та повернення назад до приймача, тим більша відстань до об'єкта.

Ультразвукові датчики мають діапазон, що визначається мінімальною та максимальною відстанню, яка може бути виміряна, та роздільною здатністю вимірювання. Ці датчики мають недоліки, наприклад, неможливо визначити точне положення виявленого об'єкта, і це викликано схемою чутливості, згаданої раніше. На точність також впливає той факт, що швидкість звукових хвиль, що генеруються, не постійна, а залежить від середовища, навіть висота або температура повітря можуть змінювати вимірювання. Іншою причиною помилкових показань є те, що згенерований звуковий сигнал може відбиватися в іншому місці, а не назад на датчик. Якщо використовується масив ультразвукових датчиків, датчики можуть заважати один одному, якщо звукові сигнали випромінюються одночасно і немає чіткого кодування. Для кореляції результатів роботи ультразвукового датчика відносно температурного режиму роботи встановлюють додатково датчик температури, який впливає на калькуляцію відстані до об'єкта в залежності від температури навколишнього середовища.

Фізична модель системи паркування колісного роботу показана на рисунку 3.17.

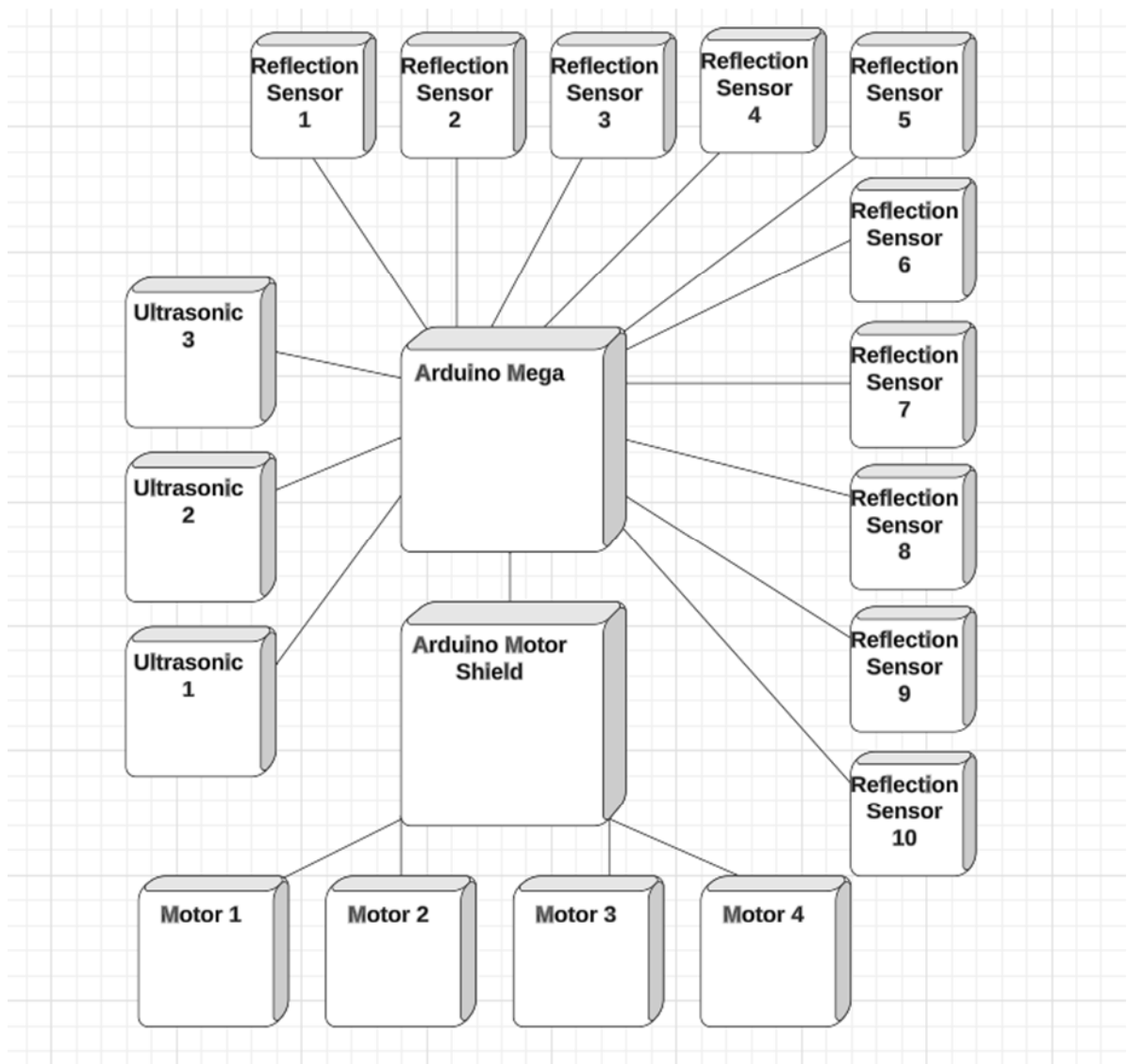


Рисунок – 3.17 Фізична модель системи паркування колісного роботу

Залежно від конкретної реалізації ультразвукових датчиків, фізична модель може мати різні варіації, але основні принципи роботи залишаються незмінними.

4 АПАТНИЙ ПРОТОТИП СИСТЕМИ

4.1 Архітектура та компоненти апаратної частини прототипу системи

На основі підрозділу 3.4 фізичної моделі системи, розробимо архітектуру апаратної частини прототипу системи (рисунок 4.1), яка буде реалізована з використанням середовища Arduino IDE.

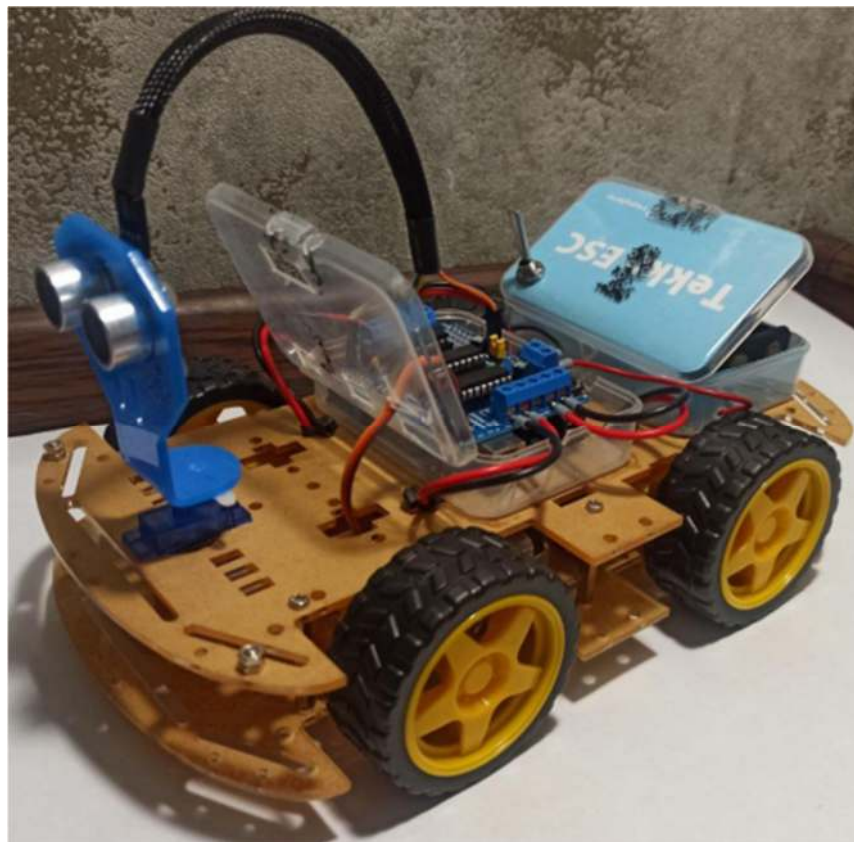


Рисунок 4.1 – Апаратний прототип колісного роботу

Мікроконтролер Arduino виступає у ролі керуючого "мозку" колісного робота, координуючи рухи, отримуючи дані від датчиків і виконуючи задану програму для досягнення встановлених функцій та завдань. Розглядається 2 варіанти використання мікроконтролерів: Arduino Mega 2560 (рисунок 4.2) та Arduino UNO (рисунок 4.3).

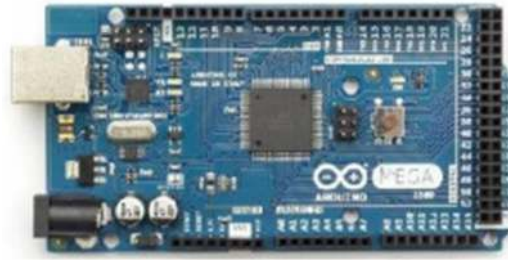


Рисунок 4.2 – Мікроконтролер Arduino Mega 2560

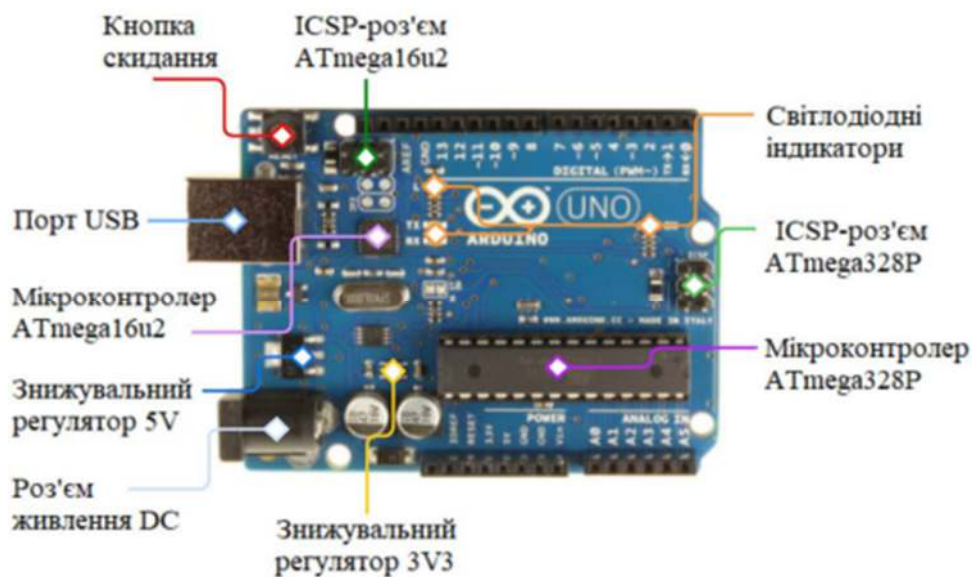


Рисунок 4.3 – Складові плати Arduino Uno

Характеристики Arduino Uno:

- вхід/вихід: Arduino Uno має 14 цифрових вхідних/вихідних пінів (з них 6 можна налаштувати як ШІМ (Ширина Імпульсу Модуляції) виходи), що дозволяє керувати різними пристроями, такими як світлодіоди, мотори, сервоприводи тощо;
- аналогові входи: 6 аналогових входів, які можуть вимірювати аналогові значення, наприклад, напругу або сигнали з датчиків;
- пам'ять: 32 кБ флеш-пам'яті, з яких 0,5 кБ використовується для зберігання програмного коду, а також має 2 кБ оперативної пам'яті (SRAM) і 1 кБ EEPROM для зберігання даних;

- інтерфейси: USB-порт для підключення до комп'ютера або інших пристроїв для програмування та зв'язку, а також має роз'єм ICSP (InCircuit Serial Programming) для програмування мікроконтролера;
- живлення: від зовнішнього джерела напруги в діапазоні від 7 до 12 вольт або від USB-порту; має вбудований регулятор напруги, який забезпечує стабільну напругу 5 вольт для живлення мікроконтролера і підключених пристроїв.

Arduino Uno виконує ключову роль у цьому проєкті як мікроконтролерна плата. Вона є центральним управляючим пристроєм, який керує колісним роботом і забезпечує його функціональність.

Наступний компонент – Arduino Motor Shield L293D (рисунок 4.4) має наступні характеристики.

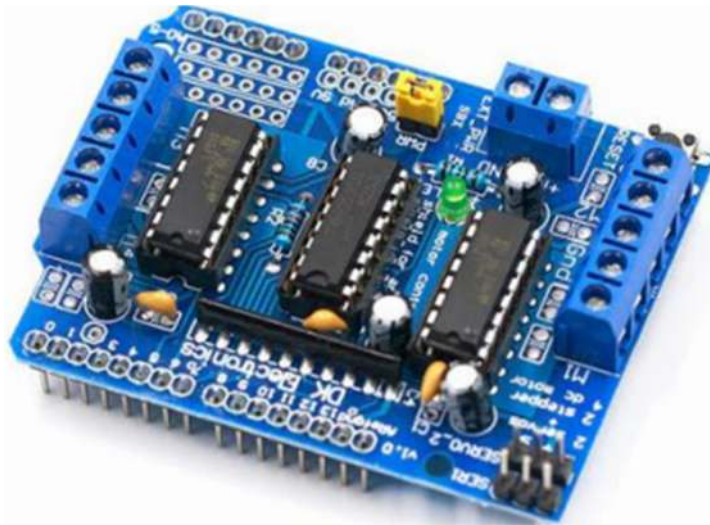


Рисунок 4.4 – Arduino Motor Shield L293D

Інтегрована мікросхема L293D – двоканальний драйвер мотора, що забезпечує можливість керування двигунами постійного струму з максимальним струмом до 600 мА на кожний канал. Підтримка двигунів постійного струму – шилд здатен керувати одночасно кількома двигунами постійного струму (від одного до чотирьох).

Цей шилд вирізняється декількома ключовими перевагами, зокрема його простотою в експлуатації. Завдяки зручному інтерфейсу, він дозволяє швидко підключати та керувати двигунами постійного струму, не вимагаючи складних налаштувань. Ще однією значущою перевагою є висока сумісність з Arduino платформою. Його легко інтегрувати в різноманітні проекти, не потребуючи додаткових модифікацій. Не менш важливою перевагою є можливість регулювання швидкості двигунів. Здійснюючи контроль за допомогою аналогових сигналів, можна налаштовувати обертання кожного двигуна окремо, що сприяє досягненню вищої точності та контролю над рухом.

Завдяки ультразвуковому датчику колісний робот здатен ефективно виявляти перешкоди перед собою, регулярно вимірюючи відстань за допомогою цього датчика. Якщо відстань до об'єкта менша за програмно задане порогове значення, то це свідчить про те, що перед ним є перешкода, і він має зупинитися, уникаючи зіткнення з об'єктами. Це гарантує безпеку робота. Ультразвуковий датчик HC-SR04 показано на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Ультразвуковий датчик HC-SR04

Датчик відображення (рисунок 4.5) застосовується для виявлення перешкод і білої лінії KY-033. Датчик модуля, TCRT5000, працює в

інфрачервоному діапазоні та дає змогу впевнено визначати наявність перешкоди на відстані від 1мм до 25мм. Наявність компаратора дає змогу встановити порогове значення спрацьовування. Розміри та форма модуля дають змогу легко зібрати кілька модулів у набір датчиків [20].

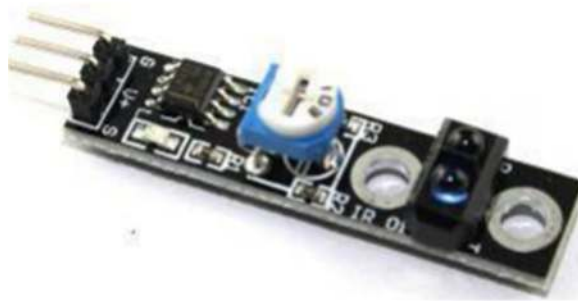


Рисунок 4.6 – Датчик відображення

Мотори у цьому проекті відіграють ключову роль у керуванні рухом та маневруванні колісного робота. Основні мотори призначені для обертання коліс, що дозволяє роботу рухатись вперед, назад та виконувати повороти. Ці мотори постачають необхідну механічну силу та обертовий рух для ефективного переміщення робота по поверхні (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Зовнішній вигляд двигуна постійного струму

Кожен мотор керується мікроконтролером Arduino Uno та шилдом двигунів L293D. Шилд відправляє відповідні сигнали до мотора для

регулювання швидкості та напрямку обертання. Використання цих моторів дозволяє роботу виїжджати вперед і повертати у визначеному напрямку з відповідною швидкістю. Крім основних моторів, також використовується сервопривід, зокрема модель SG90 (рисунок 4.8). Цей сервопривід відповідає за контроль напрямку «погляду» робота. Встановлений на спеціальну механічну конструкцію, він може розвертатись в горизонтальній площині. За допомогою мікроконтролера Arduino Uno, сервопривід здатний контролювати свою позицію та напрямок огляду, що дозволяє роботу «дивитись» в різні напрямки. Узгоджена робота моторів та сервоприводу забезпечує рух та орієнтацію робота в просторі, що є ключовим для виконання руху та паркування в зазначеному місці.

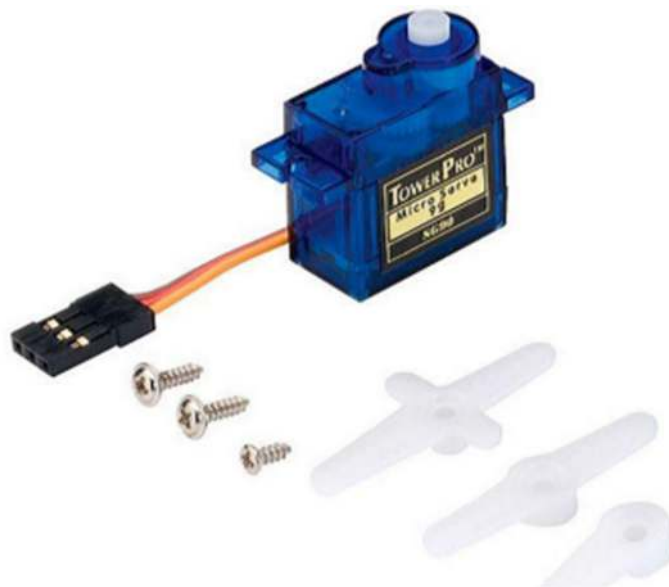


Рисунок 4.8 – Зовнішній вигляд сервоприводу SG90

Також необхідним компонентом колісного робота є чотирьохколісне шасі (рисунок 4.9). На шасі фіксуються для розміщення в них плати Arduino Uno та системи живлення, сервопривод на передній частині шасі, на який кріпиться тримач з ультразвуковим датчиком.



Рисунок 4.9 – Компоненти шасі робота

4.2 Опис даних та бібліотек підтримки компонентів системи

Для функціонування робота використовуються дві ключові бібліотеки: AFMotor і Servo. Розглянемо кожну з них як окремий функціональний блок. Бібліотека AFMotor – надає функціональність для керування DC-моторами та кроковими двигунами через моторний щиток. Ця бібліотека надає змогу контролювати швидкість, напрямок та зупинку моторів колісного робота. У лістингу 4.1 наведений приклад ініціалізації об'єкту AFMotor і керування двигуном .

Лістинг 4.1 – Ініціалізації об'єкту AFMotor і керування двигуном

```
#include <AFMotor.h>
AF_DCMotor motor(1);
void setup() {
  motor.setSpeed(255);
}
void loop() {
  motor.run(FORWARD);
  delay(1000);
  motor.run(RELEASE);
  delay(1000);
}
```

В даному лістингу використано об'єкт AF_DCMotor для управління першим мотором (підключеного до піна M1 на моторному щитку). За допомогою методів setSpeed та run ми встановлюємо швидкість та напрямок руху мотора.

Бібліотека Servo (лістинг 4.2) має свої особливості. Вона дозволяє керувати сервоприводами, які використовуються для точного кутового позиціонування. За допомогою цієї бібліотеки ми можемо встановлювати кут повороту сервопривода та виконувати плавні рухи.

Лістинг 4.2 – Ініціалізації об'єкту Servo servoMotor і керування сервоприводом

```
#include <Servo.h>
Servo servoMotor;
void setup() {
  servoMotor.attach(9);
}
void loop()
{ servoMotor.write(90);
  delay(1000);
  servoMotor.write(0);
  delay(1000);
}
```

В цьому лістингу ми використовуємо об'єкт Servo для керування сервоприводом, підключеного до піна 9 на Arduino. За допомогою методу write ми встановлюємо кут повороту сервопривода.

Обидві бібліотеки дуже корисні для керування рухом та позиціонування різних компонентів робота, і їх використання в програмі Arduino дозволяє досягти потрібної функціональності та керованості колісним роботом.

Далі необхідно визначити параметри, що використовуються для конфігурації системи руху колісного робота та важливі під час його паркування (лістинг 4.3).

Лістинг 4.3 – Параметри, які використовуються для налаштування системи руху колісного робота

```
byte TRIG_PIN = 2;
byte ECHO_PIN = 13;
byte distWatch = 150;
byte rangeStop = 50;
float timeEcho = 2*(distWatch+10)/100/340*1000000;
byte MAX_SPEED = 100;
int OFFSET_SPEED = 10;
int TURN_SPEED = 50;
```

Параметри ультразвукового датчика:

- byte TRIG_PIN = 2; – призначення пін для вихідного сигналу (тригер) ультразвукового датчика;
- byte ECHO_PIN = 13; – призначення пін для вхідного сигналу (ехо) ультразвукового датчика;
- byte distWatch = 150; – встановлення максимальної відстані, на яку датчик реагує; об'єкти, що знаходяться далі, ігноруються;
- byte rangeStop = 50; – встановлення мінімальної відстані до об'єкту, при якій рух зупиняється (у сантиметрах);
- float timeEcho = 2*(distWatch+10)/100/340*1000000; – обчислення максимального часу очікування зворотного сигналу, який використовується датчиком для визначення, що немає перешкоди.

Параметри двигуна наступні:

- byte MAX_SPEED = 100; – встановлення максимальної швидкості двигуна;

- `int OFFSET_SPEED = 10;` – коефіцієнт, який враховує різницю у потужності між двигунами по різних сторонах.

Параметри повороту: `TURN_SPEED = 50;` – сума, яка додається до швидкості двигуна під час повороту, що дозволяє роботу повертати.

Окрім цього виконується початкові налаштування швидкостей двигунів та їх зупинку та ініціалізація компонентів системи. В основному циклі програми розробляється алгоритм керування колісним роботом, який може включати рух, взаємодію з датчиками, прийом команд зовнішнього контролера тощо. В цьому циклі можуть бути використані різні команди, функції та умовні оператори для керування роботом залежно від поставленої задачі. Наприклад, функція `getRange()`, вимірює відстань до об'єкта за допомогою ультразвукового датчика (лістинг 4.4).

Лістинг 4.4 – функція `getRange()`

```
int getRange()
{ unsigned long pulseDuration;
  int distance;
  digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
  pulseDuration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, timeEcho);
  distance = (float)pulseDuration * 340 / 2 / 10000;
}
```

У цій функції спочатку генерується короткий імпульс на пін `trig` для запуску ультразвукового датчика. Потім вимірюється час `pulseTime`, який потрібен для повернення ехо-сигналу від об'єкта до датчика. На основі цього часу обчислюється відстань до об'єкта з урахуванням швидкості звуку. Отримане значення відстані повертається як результат функції. Ця функція допомагає роботу визначати відстань до перешкод і приймати рішення про подальші дії на основі цих вимірів.

ВИСНОВКИ

Робототехніка продовжує стрімко розвиватися і є одним із найважливіших напрямів науково-технічного прогресу, а застосування роботів дає змогу забезпечити виконання завдань набагато точніше і швидше ніж людина, підвищуючи тим самим продуктивність. В процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз галузі застосування робототехніки, її переваги та недоліки. Розглянуто класифікацію мобільних роботів та їх структуру. Структура мобільного робота, що була описана у першому розділі, розглядається як умовна, оскільки сучасні системи керування можуть бути розподіленими, і окремі компоненти можуть мати власні системи керування, які об'єднуються у загальну систему. Також розглянуто особливості керування колісними роботами. Середовище для колісних роботів не завжди є ідеальним і часто наділене різними формами нестабільностей, включаючи специфіку зчеплення коліс робота із поверхнею, неоднорідністю ґрунту, неріномірністю треку, параметричними змінами і неточністю зовнішніх систем.

У другому розділі розроблено концептуальну модель системи паркування складського колісного роботу на підставі даних від датчиків відстані та відображення. Підкреслено важливість розуміння способу роботи функцій робота, поведінки та взаємодії компонентів системи. Визначено ряд факторів, які впливають на функцію паркування колісного роботу. За допомогою інструментарію Fuzzy Logic Toolbox пакету MATLAB виконано моделювання системи паркування складського колісного роботу на підставі даних від датчиків відстані та відображення. Окрім цього розроблено фізичну модель системи, яка є основою апаратного прототипу системи.

В четвертому розділі розглянуто архітектуру та компоненти апаратної частини прототипу системи. Мікроконтролер Arduino виступає у ролі керуючого "мозку" колісного робота, координуючи рухи, отримуючи дані від

датчиків і виконуючи задану програму для досягнення встановлених функцій та завдань. Для функціонування робота використовуються дві ключові бібліотеки: AFMotor та Servo.

Повна автономність колісного робота передбачає його здатність ефективно адаптуватися до різноманітних умов, включаючи відкритий простір, і здійснювати безперервну роботу, уникати потенційно небезпечних ситуацій і функціонувати без постійного зовнішнього втручання. Для досягнення кращої продуктивності та вищої точності в русі, навігації та паркуванні, колісний робот потребує розширеного набору датчиків. Окрім цього, використання вдосконалених приводів сприятиме не лише прискореній навігації, але й підвищеній ефективності роботи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Робототехніка [Електронний ресурс] – URL: <https://hobitera.com/c-robototekhnika> – 10.12.2023 р. Загол. з екрану.
2. Sebastian Thrun: Google’s driverless car. 2011. [Офиц. сайт] URL: http://www.ted.com/talks/sebastian_thrun_google_s_driverless_car – 10.12.2023 р. Загол. з екрану.
3. Робот [Електронний ресурс] – URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82> – 10.12.2023 р. Загол. з екрану.
4. Fahimi F. Autonomous Robots. Modeling, Path Planning and Control / F. Fahimi –New York : Springer, 2009. – 348 p.
5. Бабіч К.С. Концепція автономного інтелектуального мобільного робота / К.С. Бабіч, Л.О. Бабіч // Наукові праці ДонНТУ. – 2009. – Вип.. 147, С. 141-146.
6. 25. Boskoski P. Neuro-Fuzzy Controllers and Application to Autonomous Robots / P. Boskoski, M. Stankovski // Mechanics, Automatic Control and Robotics. – 2008.– vol. 7, no.1, pp.123-132.
7. Гуржій А. М. Основи автоматизації та робототехніки: Навчальний посібник/ А. М. Гуржій, А. Т. Нельга, В. М. Співак, О. С. Ітякін: – Дніпро:«Гарант СВ», 2021. – 243с.
8. В. К. Patle, G. Babu L, A. Pandey, D. R. K. Parhi, and A. Jagadeesh, “A review: On path planning strategies for navigation of mobile robot,” Defence Technology, vol. 15, no. 4. China Ordnance Society, pp. 582–606, Aug. 01, 2019, doi: 10.1016/j.dt.2019.04.011.
9. Мірошник І.В. Нелінійне та адаптивне керування складними динамічними системами. / Мірошник І.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. – СНБ.: Наука, 2000. – 325 с.
10. D. Chen, F. Bai and L. Wu. Kinematics control of wheeled robot based on

angular rate sensors. //IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, September 21-24, Chengdu, China. – 2008. – P. 598-602.

11. Ching-Chang Wong, Hou-Yi Wang, Kuan-Hua Chen, Chia-Jun Yu and H. Aoyama. Motion controller design for two-wheeled robot based on a batch learning structure // SICE Annual Conference, Tokyo. – 2008. – P. 772–776.

12. Kanayama, Y., Y. Kimura, F. Miyazaki, and T. Noguchi. A Stable Tracking Control Method for an Autonomous Mobile Robot // Proceedings of the IEEE 102 International Conference on Robotics and Automation. Cincinnati, USA. – 1990.– P. 384-389.

13. Yamamoto, Y.. Coordinating Locomotion and Manipulation of a Mobile Manipulator / Yamamoto, Y., X. Yun. – Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1993. – P.157-181.

14. Dixon, W. E., D. M. Dawson, F. Zheang, and Z. Erkan. Global Exponential Tracking Control of a Mobile Robot System via a PE Condition // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics. Vol. 31(1). – 2000. – P. 129-142.

15. Бурдаков С.Ф. Системи керування рухом колісних роботів / Бурдаков С.Ф., Мірошник І.В., Стельмаков Р.Е. - СПб.:Наука, 2001, - 229с.

16. Diagrams.net [Електронний ресурс] – URL: <https://www.drawio.com> – 10.12.2023 р. Загол. з екрану.

17. Fuzzy Cognitive Map. Mental Modeler [Електронний ресурс] – URL: <https://www.mentalmodeler.com> – 10.12.2023 р. Загол. з екрану.

18. Getting Started with MATLAB. [Електронний ресурс] – URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/gettingstarted-with-matlab.html> – 10.12.2023 р. Загол. з екрану.

19. Кабанець О.М., Каргін А.О «Система паркування колісного роботу на підставі даних від датчиків відстані й зору», 83-та студентська науково-технічна конференція –Харків, Україна-2023 – С. 82.