

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: «Розробка дистанційної системи управління автономною рухомою
теліжкою»

«Development of a remote control system for an autonomous moving cart»

Виконав: студент 2 курсу, групи б3А
спеціальності 174 – «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Ющенко О.М.

Керівник: д.т.н., проф. Рудакова Г.В.

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Хмельницький-Херсон – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Розробка дистанційної системи управління автономною рухомою
теліжкою»

«Development of a remote control system for an autonomous moving cart»

Виконав: студент 2 курсу, групи б3А
спеціальності 174 – «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Ющенко О.М.

Керівник: д.т.н., проф. Рудакова Г.В.

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Хмельницький-Херсон – 2025 рік

Херсонський національний технічний університет

Факультет

Інженерії та транспорту

Кафедра

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень

магістр

Спеціальність

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри Автоматизації,
робототехніки і мехатроніки
Сєліверстов І.А.

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Ющенку Олександрю Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Розробка дистанційної системи управління автономною рухомою тележкою (Development of a remote control system for an autonomous moving cart).

керівник проекту: д.т.н., проф. Рудакова Ганна Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «28» серпня 2025 р. № 365-с

2. Строк подання студентом проекту «10» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту: Технічна документація про автономних роботів. Науково-технічна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Програмно-апаратні засоби керування автономними рухомими тележками. 2. Розробка прототипу автономної рухомої тележки на дистанційному управлінні. 3. Моделювання системи керування рухом роботизованої тележки. 4. Модель традиційного й нечіткого під контролеру. 5. Розробка програмного забезпечення

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Програмно-апаратні засоби керування автономними рухомими тележками.

2. Прототип автономної рухомої тележки на дистанційному управлінні.

3. Програма для дистанційного управління. 4. Алгоритм роботи платформи.

5. Схеми розміщення датчиків ультразвуку на роботі. 6. Структура системи

управління мобільним роботом. 7. Результати моделювання системи управління

рухом роботом. 8. Стратегії управління мобільним роботом.

6. Дата видачі завдання

« 15 » вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Підбір літератури	15.09.25-30.09.25	
2.	Аналіз особливостей функціонування складських систем	01.10.25-25.10.25	
3.	Огляд програмно-апаратних засобів керування автономними рухомими теліжками	26.10.25-12.11.25	
4.	Розробка прототипу автономної рухомої тележки на дистанційному управлінні. Розробка програмного забезпечення.	13.11.25-30.11.25	
5.	Моделювання системи керування рухом роботизованої теліжки.	01.12.25-04.12.25	
6.	Розробка моделі традиційного й нечіткого ПД контролеру	18.11.25-22.11.25	
7.	Оформлення креслень	23.11.25-28.11.25	
8.	Оформлення пояснювальної записки	29.11.25-02.12.25	
9.	Здача роботи на перевірку	03.12.25-10.12.25	

Студент

(підпис)

О.М. Ющенко

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Г.В.Рудакова

(прізвище та ініціали)

Номер рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Шифр документа	Примітка
1	A4		Завдання на проектування	2		
2	A4	ХНТУ 174.КРМ.25.02.РФ	Реферат	2	РФ	
3	A4	ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Пояснювальна записка	65	ПЗ	
4	A1	Демонстраційне креслення	Програмно-апаратні засоби керування автономними рухомими тележками	1		
5	A1	Демонстраційне креслення	Прототип автономної рухомої тележки на дистанційному управлінні	1		
6	A1	Демонстраційне креслення	Програма для дистанційного управління	1		
7	A1	Демонстраційне креслення	Алгоритм роботи платформи	1		
8	A1	Демонстраційне креслення	Схеми розміщення датчиків ультразвуку на роботі	1		
9	A1	Демонстраційне креслення	Структура системи управління мобільним роботом	1		
10	A1	Демонстраційне креслення	Результати моделювання системи управління рухом робота	1		
11	A1	Демонстраційне креслення	Стратегії управління мобільним роботом	1		

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ВР		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ющенко О.М.			Відомість об'єму роботи		
Перевір.		Рудакова Г.В.					
Н. Контр.					ХНТУ, гр.б3А		
Затверд.		Селівєрстов І.А.					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						4	1

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається із пояснювальної записки та графічної частини.

Пояснювальна записка містить – 65 сторінок, 37 рисунків, 1 таблиця, 1 додаток.

Графічна частина – 8 аркушів формату А1.

Метою цього проекту є створення дистанційної системи управління автономною рухомою тележкою.

Проведено аналіз особливостей програмно-технічних засобів автоматизації, які доцільно використати для дистанційного управління мобільними роботами. Наведені їх характеристики. Здійснено розробку прототипу автономної рухомої тележки на дистанційному управлінні та проведено тестування засобів керування моделлю автомобіля.

Здійснено моделювання системи керування рухом роботизованої тележки, визначені оптимальні параметри налаштування ПД регулятора для управління приводами. Обґрунтовано доцільність застосування нечіткого регулятора для управління переміщення у складних умовах. Визначено раціональну схему розміщення ультразвукових датчиків на роботі.

Розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє здійснювати дистанційне керування мобільним об'єктом з телефона.

ДИСТАНЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ, АВТОНОМНА РУХОМА ТЕЛЕЖКА,
ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ПІД РЕГУЛЯТОР,
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.РФ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Реферат	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Ющенко О.М.</i>					5	2
<i>Перевір.</i>		<i>Рудакова Г.В.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Селіверстов І.А.</i>						
						ХНТУ, гр.б3А		

THE ABSTRACT

The qualification work consists of an explanatory note and a graphic part.

The explanatory note contains 65 pages, 37 figures, 1 tables, 1 appendix.

The graphic part is 8 sheets of A1 format.

The purpose of this project is to create a remote control system for an autonomous mobile cart.

The features of software and hardware automation tools that are appropriate to use for remote control of mobile robots have been analyzed. Their characteristics are given. A prototype of an autonomous mobile cart with remote control has been developed and the means of controlling a car model have been tested.

The simulation of the motion control system of a robotic cart was carried out, the optimal parameters for setting up the PID controller for controlling the drives were determined. The feasibility of using a fuzzy controller for controlling movement in difficult conditions was substantiated. A rational scheme for placing ultrasonic sensors at work was determined.

Software has been developed that allows remote control of a mobile object from a phone.

REMOTE CONTROL, AUTONOMOUS MOVING CART, SOFTWARE AND
HARDWARE, CONTROL SYSTEM, SUB-REGULATOR, SOFTWARE.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.РФ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМИ РУХОМИМИ ТЕЛЕЖКАМИ	10
1.1. Мікроконтролер Arduino UNO	11
1.1.1. Живлення	12
1.1.2. Пам'ять	13
1.1.3. Порти.....	13
1.1.4. Зв'язок.....	14
1.1.5. Програмування плати Arduino.....	15
1.2. Bluetooth технологія	17
1.3. Огляд окремих компонентів апаратної частини платформи.....	21
1.3.1. Bluetooth модуль для Arduino HC-05	21
1.3.2. Драйвер мотора	22
1.3.3. Сервопривід.....	23
2 РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ АВТОНОМНОЇ РУХОМОЇ ТЕЛЕЖКИ НА ДИСТАНЦІЙНОМУ УПРАВЛІННІ	27
2.1 Розробка апаратних засобів.....	27
2.2 Розробка програмних засобів.....	29
2.3 Тестування засобів керування моделлю автомобіля.	32
3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ РОБОТИЗОВАНОЇ ТЕЛЕЖКИ.....	34
3.1 Концептуальна модель.....	34
3.2 Логічна модель	37
4 МОДЕЛЬ ТРАДИЦІЙНОГО Й НЕЧІТКОГО ПІД КОНТРОЛЕРУ	46
5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	56
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТОК А.....	63

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		7

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АЕП – автоматизований електропривод;

АКБ – акумулятор ;

АМР – автономний мобільний робот;

ВМ – виконавчий механізм ;

Д – давач;

ДПТ – двигун постійного струму ;

КК – контур керування ;

МК – мікроконтролер ;

МП – мікропроцесор ;

ПЗ – програмне забезпечення ;

САУ – система автоматичного управління ;

СУ – система управління.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВСТУП

В сучасному світі роботи стають все більш важливими, наближаючись до рівня людської інтелігенції та функціональності. Їх існування вимагає відповідності високим стандартам безпеки та ефективності, зокрема, у забезпеченні логічного та часового контролю, а також управління в обмеженому реальному часі. Здатність працювати самостійно, накопичувати та ефективно використовувати енергію для свого існування, а також приймати рішення на основі отриманих даних стають ключовими характеристиками сучасних автономних систем.

Одним з різновидів автоматизації є створення роботизованих платформ з дистанційним управлінням. В основному, мета таких платформ є автоматизація діяльності людини, пов'язаної з ризиком для здоров'я, або навіть життя. Така система дозволить виконати важку або незручну роботу без затрат людських ресурсів. Керування відбувається за допомогою завантаженої завчасно програми, яку виконує робот, або ж за допомогою пристроїв дистанційного керування, що дозволить людині керувати процесом виконання роботи, приймаючи задовільні рішення на кожному кроці.

Створення систем дистанційного керування автономним мобільним роботом відкриває широкі можливості для дослідження їх ефективності у практичних умовах. Аналізуючи їхню працездатність та продуктивність, є можливість виявити їх сильні та слабкі сторони, а також визначити шляхи подальшого вдосконалення та оптимізації.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1 ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМИ РУХОМИМИ ТЕЛЕЖКАМИ

Автономні роботи призначені для виконання завдань високого рівня самостійно або з дуже обмеженим зовнішнім контролем. Вони зазвичай працюють у невизначеному і мінливому в часі середовищі, повинні відповідати обмеженням реального часу, щоб працювати належним чином, часто взаємодіють з іншими агентами, як з людьми, так і з іншими машинами.

В переважній більшості автономні роботи спроектовані з включенням великої кількості датчиків, які надають змогу самостійно приймати рішення згідно прописаного сценарію, орієнтуючись на зміни в оточенні. Це можуть бути камери, відстанцеві датчики, датчики температури, вологості, а також датчики зіткнень та виявлення об'єктів.

Вони використовують штучний інтелект під назвою SLAM (одночасна локалізація і картографування англійською мовою). Це дає їм змогу визначати своє місцезнаходження, уникати перешкод (об'єктів або людей), які, можливо, не були нанесені на карту на етапі дослідження, та оптимізувати свої маршрути.

Для постійного живлення своїх систем автономні роботи використовують альтернативні джерела живлення, сонячні панелі або інші джерела енергії. Це дозволяє їм працювати довгий час без зовнішнього живлення.

Конструкція автономного робота досить міцна та стабільна, для змоги безвідказно працювати в різноманітних умовах роботи, включаючи нерівні поверхні та перешкоди на шляху. Часто даний вид роботів об'єднують в мультиагентні групи для досягнення спільної мети.

Для реалізації невеликих комп'ютеризованих платформ не обов'язково використовувати звичайні плати і процесори, які ми звикли бачити в ПК. Для таких проектів краще підходить мікроконтролер, який є дуже зменшеною версією комп'ютера. А способи керування таких платформ є різноманітними.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

автоматично. Зовнішнє (не USB) живлення може надходити або від адаптера змінного струму до постійного струму, або від акумулятора. Адаптер можна підключити, підключивши 2,1-мм позитивний штекер до центрального гнізда в гнізді живлення плати. Виводи від акумулятора можна вставити в роз'єми штепсельних роз'ємів GND та Vin.

Плата може працювати від зовнішнього джерела живлення від 6 до 20 вольт. Однак якщо джерело живлення менше 7 В, штифт 5 В може подавати напругу менше п'яти вольт, і плата може стати нестійкою. Рекомендується подавати напругу в діапазоні від 7В до 20В, для уникнення перегріву і згоряння вбудованого стабілізатора.

1.1.1. Живлення

На платі передбачено кілька портів, що дозволяють жити від неї підключені датчики, сенсори і актуатори. Всі ці порти позначені:

– Vin. Вхід живлення. Використовується для отримання живлення від зовнішнього джерела. Через дайний порт відбувається тільки подача живлення на плату, отримати звідти живлення для зовнішніх пристроїв неможливо

– 5V. Джерело 5В напруги для живлення зовнішніх пристроїв. При отриманні живлення платою з будь-яких інших джерел (USB, роз'єм живлення або Vin) на цьому контакті ви завжди зможете отримати

стабільну напругу 5 вольт. Його можна вивести на макетну плату або подати безпосередньо на свій пристрій.

– 3V3. Джерело 3.3 В напруги для живлення зовнішніх пристроїв. Працює за таким-же принципом, що і контакт 5V. З даної ніжки також можна вивести напруга на макетну плату, або подати на необхідний датчик / сенсор напряму. Максимальний обсяг струму становить 50 мА.

– GND. Контакт для підключення заземлення. Необхідний для створення замкненого кола при підключенні до контактів Vin, 5V або 3V3. У всіх випадках ніжку GND необхідно виводити як мінус, інакше ланцюг не буде замкнутий і живлення не буде подаватися.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

– IOREF. Цей порт на платі Arduino / Genuino забезпечує еталон напруги, з яким працює мікроконтролер. Залежно від напруги на порту IOREF, плата може переключитися на відповідне джерело живлення або задіяти перетворювачі рівнів, що дозволить їй працювати як з 5В, так і з 3.3В-пристроями.

Для захисту USB порту комп'ютера від зворотних струмів, короткого замикання і перенавантаження, на платформі Arduino Uno вбудований автоматичний самовостанавливаючийся запобіжник. При проходженні струму харчування більше 500 мА через USB порт, запобіжник автоматично спрацьовує і розмикає ланцюг живлення до тих пір, поки значення струму не повернуться до нормальних.

1.1.2. Пам'ять

Плата Arduino Uno за замовчуванням підтримує три типи пам'яті:

– Flash - пам'ять об'ємом 32 кБ. Це основне сховище для команд. Коли ви прошиває контролер своїм скетчем, він записується саме сюди. 0.5кб з даного пулу пам'яті відводиться на bootloader - програму, яка займається ініціалізацією системи, завантаження через USB і запуску скетчу.

– Оперативна SRAM пам'ять об'ємом 2 кБ. Тут по-замовчуванню зберігаються змінні і об'єкти, створювані в ході роботи програми. Пам'ять ця енерго-залежна, при виключенні живлення всі дані, зрозуміло, зітруться.

– Незалежна пам'ять (EEPROM) обсягом 1кб. Тут можна зберігати дані, що не зітруться при виключенні контролера. Але процедура запису і зчитування EEPROM вимагає використання додаткової бібліотеки, яка доступна в Arduino IDE за замовчуванням. Також ніжно пам'ятати про обмеження циклів перезапису, властивих технології EEPROM.

1.1.3. Порти

Порти з номерами від 0 до 13 є цифровими. Це означає, що ви можете зчитувати і подавати на них тільки два види сигналів: HIGH (логічна 1) і LOW (логічний 0). HIGH сигнал розпізнається Arduino як струм напругою 5В, а LOW

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		13

сигнал, відповідно 0В. Кожен з 14 цифрових контактів на Uno може використовуватися як вхід або вихід. Кожен порт може забезпечувати або приймати 20 мА, як рекомендовано, і має внутрішній підтягуючий резистор (відключений за замовчуванням) 20-50 кОм. Максимум 40 мА - це значення, яке не можна перевищувати на жодному контакті вводу-виводу, щоб уникнути постійних пошкоджень мікроконтролера.

Arduino Uno має на своїй платформі 6 аналогових входів з дозволом 10 Біт на кожен вхід. Даний дозвіл говорить нам про те, що сигнал, що приходить на нього, можна оцифрувати в діапазоні від 0 до 1024 умовних значень.

Окрім цього деякі порти можуть виконувати додаткові функції. 0(RX) і 1(TX) цифрові порти послідовного інтерфейсу використовуються для надсилання та отримання інформації через послідовний інтерфейс (засіб зв'язку з іншими пристроями). Порти 2 та 3 можуть використовуватися для виклику переривань в роботі мікроконтролера при низькому рівні сигналу на цих контактах. Цифрові контакти 3, 5, 6, 9, 10, 11 можуть виводити 8-бітні аналогові значення у вигляді ШІМ- сигналу. На порту 13 є вбудований світлодіод, який включається при отриманні HIGH і відключається при отриманні LOW сигналу.

1.1.4. Зв'язок

Arduino Uno надає ряд можливостей для здійснення зв'язку з комп'ютером, ще одним Arduino або іншими мікроконтроллерами. У ATmega328 є приймач UART, що дозволяє здійснювати послідовний зв'язок за допомогою цифрових портів 0 (RX) і 1 (TX). Мікроконтролер ATmega16U2 на платі забезпечує зв'язок цього приймача з USB-портом комп'ютера, і при підключенні до ПК дозволяє Ардуіно визначатися як віртуальний COM-порт. Прошивка мікросхеми 16U2 використовує стандартні драйвера USB-COM, тому установка зовнішніх драйверів не потрібна. У пакет програмного забезпечення Ардуіно входить спеціальна програма, що дозволяє зчитувати і відправляти на Ардуіно прості текстові дані. При передачі даних через мікросхему-перетворювач USB-

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

UART під час USB-з'єднання з комп'ютером, на платі будуть мигати світлодіоди RX і TX. Також є вбудована бібліотека SoftwareSerial дозволяє реалізувати послідовний зв'язок на будь-яких цифрових висновках Arduino Uno, якщо вбудовані порти 0 та 1 будуть використовуватись для інших потреб.

1.1.5. Програмування плати Arduino.

Для написання програм (скетчів) для контролер Ардуіно вам потрібно встановити середовище програмування. Найпростішим варіантом буде установка безкоштовної Arduino IDE (рис. 1.2), скачати її можна з офіційного сайту.

Сам скетч найчастіше представляє собою нескінченний цикл, в якому регулярно перевіряються порти з приєднаними до них датчиками і за допомогою спеціальних команд формується керуючий вплив на зовнішні пристрої (вони включаються або вимикаються). У програміста Ардуіно є можливість підключити готові бібліотеки, як вбудовані в IDE, так і доступні на численних сайтах і форумах.

Написана і скомпільована програма завантажується через USB-з'єднання (UART- Serial). З боку контролера за цей процес відповідає bootloader.

Ардуіно програмується на мові програмування C / C ++ з відповідним йому синтаксисом. Вбудований складальник, препроцесор і компілятор виправляють велику кількість помилок і робить багато за користувача автоматично, ми навіть про це не знаємо і не замислюємося. Базові функції для управління портами і інтерфейсами мікроконтролера, математика і деякі інші функції / макроси взяті з відкритого фреймворка для роботи з мікроконтролерами під назвою Wiring. Саме з нього складається базовий набір інструментів Ардуіно. У зв'язку з цим самі розробники Ардуіно називають мову "спрощеним c ++", і навіть дали йому окрему назву - Arduino Wiring. З самого початку в Arduino IDE нам доступна величезна купа різних функцій і інструментів: Всі можливості мови C ++, які надає компілятор: типи даних, оператори і взагалі весь неосяжний синтаксис.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

протязі роботи мікроконтролера, починаючи з моменту завершення виконання `setup()`. Також програма може містити підключення бібліотек. Бібліотека є файлом (набором файлів), що містить такий самий C ++ код, на якому ми пишемо скетч (іноді зустрічаються і асемблерні вставки). Ми можемо підключити бібліотеку в свій код і використовувати можливості, які вона дає, а варіантів там дуже багато: готові "інструменти" для роботи з зовнішніми датчиками і модулями, для роботи з внутрішньою периферією мікроконтролера (таймери, АЦП, пам'ять), бібліотеки різних математичних інструментів і багато чого іншого.

1.2. Bluetooth технологія

Bluetooth - це технологія бездротового з'єднання з іншими пристроями на відстані до 100 метрів. Роботи зі створення Bluetooth були розпочаті в 1994 році виробником телекомунікаційного устаткування Ericsson в якості бездротової альтернативи кабелям RS-232. В результаті Bluetooth розробила група Bluetooth

Special Interest Group, заснована в 1998 році. До неї увійшли компанії Ericsson, IBM, Intel, Toshiba і Nokia. Згодом Bluetooth стала частиною міжнародного стандарту IEEE 802.15.1. Саме слово Bluetooth - це переклад на англійську мову датського слова "Blatand" ("Синьозубий"). Так прозвали короля вікінгів Харальда I, який об'єднав ворогуючі датські племена в єдине королівство. Bluetooth по суті робить те ж саме з протоколами зв'язку, об'єднуючи їх в один універсальний стандарт.

Інтерфейс Bluetooth дозволяє передавати як голос (зі швидкістю 64 Кбіт / сек), так і дані. Для передачі даних можуть бути використані асиметричний (721 Кбіт / сек в одному напрямку і 57,6 Кбіт / сек в іншому) і симетричний методи (432,6 Кбіт / сек в обох напрямках). Bluetooth чіп - це маленький високочастотний (2.4 - 2.48 ГГц) приймач (рис. 1.3), який дозволяє в залежності від ступеня потужності встановлювати в зв'язок межах 10 або 100 метрів. Різниця в відстані, безумовно, велика, однак з'єднання в межах 10 м дозволяє

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

зберегти низьке енергоспоживання, компактний розмір і досить невисоку вартість компонентів. Так, малопотужний передавач споживає всього 0.3 мА в режимі standby і в середньому 30 мА при обміні інформацією. Як радіотехнологія, Bluetooth здатний «обходити» перешкоди, тому що з'єднуються, можуть знаходитися поза зоною прямої видимості. З'єднання відбувається автоматично, як тільки Bluetooth-пристрої виявляються в межах досяжності, причому не тільки за принципом точка – точка (два пристрої), але і за принципом точка – багато точок (один пристрій працює з декількома іншими).

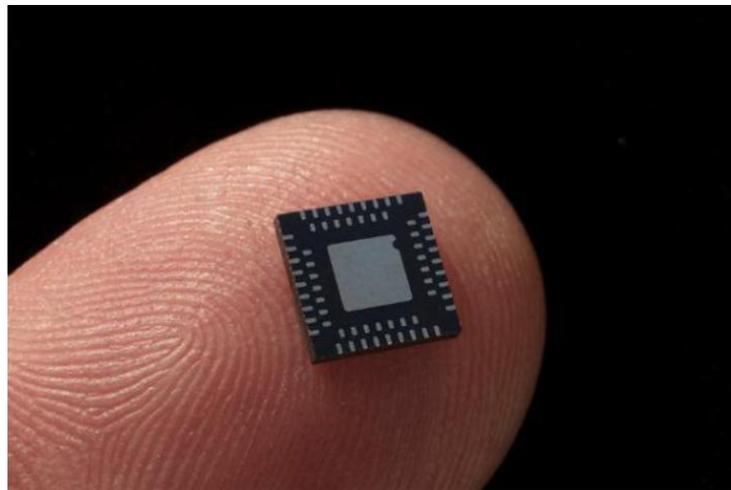


Рис. 1.3 – Bluetooth чіп

Принцип дії Bluetooth заснований на використанні радіохвиль. При включенні Bluetooth активується радіопередавач, який працює в обмеженому діапазоні частот в районі 2,4 ГГц. Ця частина спектра називається ISM - Industry, Science and Medicine - і використовується в різних побутових приладах і бездротових мережах. Після активації радіопередавач починає відстежувати всі сигнали в цьому діапазоні. Другий пристрій робить те ж саме. Після того, як пристрої виявили один одного, перше бере на себе роль передавача, а друге стає приймачем. При цьому дані передаються за спеціальним алгоритмом FHSS, який забезпечує стійкість до широкосмугових перешкод. Згідно з цим алгоритмом, частота сигналу Bluetooth стрибкоподібно змінюється 1600 разів в

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

секунду, перестрибуючи з однієї з наявних 79 частот на іншу. Послідовність перемикання між частотами для кожного з'єднання є псевдослучайною і відома тільки передавача і приймача, які кожні 625 мікросекунд синхронно перебудовуються з однієї частоти на іншу. Таким чином, якщо поруч працюють кілька пар приймачів-передавачів, то вони не заважають один одному. Цей алгоритм також є частиною системи захисту інформації, що передається.

Перед відправкою по Bluetooth дані розбиваються на спеціальні блоки, іменовані пакетами, з інструкціями по складанню з них вихідного файлу. Процесор приймача обробляє пакети, створює з них передається файл і поміщає його в постійну пам'ять пристрою.

При передачі цифрових даних і аудіосигналу використовуються різні схеми кодування: аудіосигнал не повторюється, а цифрові дані в разі втрати пакета інформації передаються повторно.

Коли пара будь-яких Bluetooth-пристроїв з'єднується, то вони утворюють пікомережу. Одне з них, яке виконує функції ведучого пристрою, формує сигнали синхронізації частоти і її зміни. Зазвичай провідним є той модуль, який розміщений в найбільш потужному пристрої, такому, як персональний комп'ютер. Всі інші пристрої є відомими. Пікомережа є фундаментальною формою комунікації в технології Bluetooth. Пікомережа може містити до 7 активних ведучих пристроїв.

Крім того, в зоні впевненого прийому провідного пристрою можуть перебувати неактивні ведені пристрої, які також синхронізовані на загальні годинник і загальну послідовність зміни частот, але не можуть обмінюватися даними до тих пір, поки ведучий пристрій не активує їх. Якщо в мережі виявляється більше 8 пристроїв, то буде сформована друга пікомережа і так далі. Кілька (до 10) незалежних і навіть не синхронізованих між собою пікомереж, між якими можливий обмін інформацією, можуть об'єднуватися в так звану велику мережу Scatternet. Для цього кожна пара пікомереж повинна мати як мінімум одну спільну пристрій, який буде головним в одній і підпорядковується в іншій. Таким чином, в межах окремої Scatternet може бути

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

одночасно пов'язано максимум 71 пристрій.

Говорячи про бездротовий зв'язок, не можна залишити поза увагою питання безпеки такого з'єднання. Крім фокуса з частотними шаблонами і необхідності синхронізації прийому-передачі в стандарті Bluetooth передбачено шифрування даних, що передаються з ключем ефективною довжини від 8 до 128 біт і можливістю вибору односторонньої або двосторонньої аутентифікації (звичайно, можна обійтися взагалі без аутентифікації), що дозволяє встановлювати стійкість результуючого шифрування відповідно до законодавства кожної окремої країни (в деяких країнах заборонено використання сильної криптографії. На додаток до шифрування на рівні протоколу може бути застосоване шифрування на рівні додатків.

Часто доводиться стикатися з думкою, що Bluetooth-пристрої, які знаходяться в межах дії зв'язку, можуть просто з'єднатися і почати обмінюватися конфіденційною інформацією. Насправді автоматичний обмін інформацією між Bluetooth-пристроями ведеться лише на рівні апаратного забезпечення, тобто виключно для визначення самого факту можливості з'єднання. А ось на рівні додатків користувач сам вирішує, ввести або заборонити автоматичну установку зв'язку. Таким чином, використання Bluetooth стає безпечніше підключення до Інтернету, в якому всі вузли також з'єднані електрично, але це ще не означає отримання беззастережного доступу до будь-якого ресурсу. Стандарт Bluetooth розроблявся з розрахунком на малу потужність, тому вплив його на організм людини зведено до мінімуму.

Bluetooth пристосований для використання в тих бездротових пристроях зв'язку, де потрібно досить низька ціна, немає необхідності у високих швидкостях і бажано низьке енергоспоживання. Можливості застосування Bluetooth на практиці безмежні: крім синхронізації з настільним комп'ютером периферії на зразок клавіатур або мишей інтерфейс дозволяє дуже просто і з невеликими витратами організувати домашню мережу. Причому вузлами цієї мережі можуть бути будь-які пристрої, що мають потребу в інформації або володіють необхідною інформацією.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.3. Огляд окремих компонентів апаратної частини платформи

Окрім плати мікроконтролера Arduino Uno до апаратної частини будуть входити інші компоненти.

1.3.1. Bluetooth модуль для Arduino HC-05

Одне з кращих рішень для організації двостороннього зв'язку по Bluetooth вашого Arduino-пристрою з планшетом, ноутбуком або іншим Bluetooth-пристроєм - Bluetooth-модуль HC-05 (рис. 1.4), який може працювати як master (здійснювати пошук Bluetooth-пристроїв і ініціювати установку зв'язку), так і slave (пристрій - відомий).



Рис. 1.4 – Bluetooth-модуль HC-05.

Основні характеристики модуля HC-05:

- Діапазон частот радіозв'язку: 2,4-2,48 ГГц.
- Потужність передачі: 0,25-2,5 мВт.
- Чутливість: -80 дВм.
- Напруга живлення: 3,3-5 В.
- Струм: 50 мА.
- Радіус дії: до 10 метрів.
- Інтерфейс: послідовний порт.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		21

Контакти: VCC - (живлення 3,6 - 6 В); GND - (земля); TXD (надсилання даних), RXD (отримання даних) - UART інтерфейс; STATE - індикатор стану; KEY (або EN) - контакт для входу в режим програмування.

1.3.2. Драйвер мотора

Найпростіший електродвигун працює тільки на постійному струмі (від батарейки). Струм проходить по рамці, розташованій між полюсами постійного магніту. Взаємодія магнітних полів рамки з струмом і магніту змушує рамку повертатися. Після кожного півоберту колектор перемикає контакти рамки, які підходять до батарейці, і тому рамка обертається.

До мікроконтроллера мотори напряму краще не під'єднувати, адже, в основному, мотори працюють зі струмами, напруга яких більша 5В, і в момент виключення або включення мотори створюють пікові перепади струму, що може негативно вплинути на плату. Тому для кращого управління моторами використовується такий модуль як драйвер мотора. Драйвер мотора – пристрій, який дозволяє легко та зручно керувати швидкістю та напрямом обертання мотора за допомогою цифрових та ШІМ сигналів (рис. 1.5).



Рис. 1.5 – Драйвер мотора

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		22

Мотор керується трьома портами – двома цифровими та одним ШІМ. Мотор може обертатися за годинниковою стрілкою або проти неї. За це відповідають цифрові порти, які на драйвері мотора підключаються до контактів IN (рис.1.6). За швидкість відповідає ШІМ порт і він підключається до EN контакту і може задавати діапазон значень 0-255.

IN1 - **високий**, IN2 - **низький** = обертання в одну сторону;
 IN1 - **низький**, IN2 - **високий** = обертання в іншу сторону;
 IN1 - **низький**, IN2 - **низький** = обертання немає;
 IN1 - **високий**, IN2 - **високий** = обертання немає.

Рис. 1.6 – Комбінації сигналів для мотора

1.3.3. Сервопривід

Сервомотори Ардуіно по суті своїй відмінні пристрої, які можуть повертатися в зазначене положення і можуть застосовуватися у величезній кількості областей. Особливо зараз їх найчастіше застосовують в робототехніці. Зазвичай у них є вихідний вал, який може повертатися на 180 градусів. Використовуючи Arduino ми можемо поставити сервомоторами певне положення в яке він перейде (рис. 1.7). Сервомотор отримує сигнал, подібний PWM. Кожен цикл в сигналі триває 20 мілісекунд, і велика частина часу в значенні LOW. На початку кожного циклу значення сигналу стає HIGH на час від 1 до 2 мілісекунд. При 1 мілісекунді вона становить 0 градусів, а при 2 мілісекундах - 180 градусів, а в проміжку значення від 0 до 180. Це дуже хороший і надійний метод.

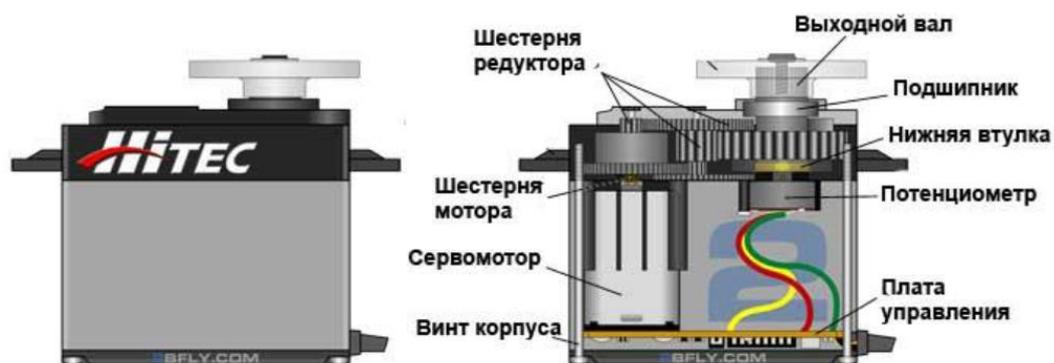


Рис. 1.7 – Будова сервоприводу

2.4. MIT App Inventor 2

MIT App Inventor - це інтегроване середовище розробки веб-додатків.

Він пропонує веб-редактор "Що ви бачите - те і отримуєте" для створення програм для мобільних телефонів, орієнтованих на операційні системи Android та iOS. Він використовує блочну мову програмування, побудовану на Google Blockly і натхненну такими мовами, як StarLogo TNG та Scratch, надаючи можливість кожному створити додаток для мобільних телефонів, щоб задовольнити потреби.

Інтерфейс користувача MIT App Inventor включає два основних редактори: редактор дизайну та редактор блоків. Редактор дизайну або дизайнер (рис. 1.8) – це інтерфейс перетягування для викладення елементів користувацького інтерфейсу програми (UI).

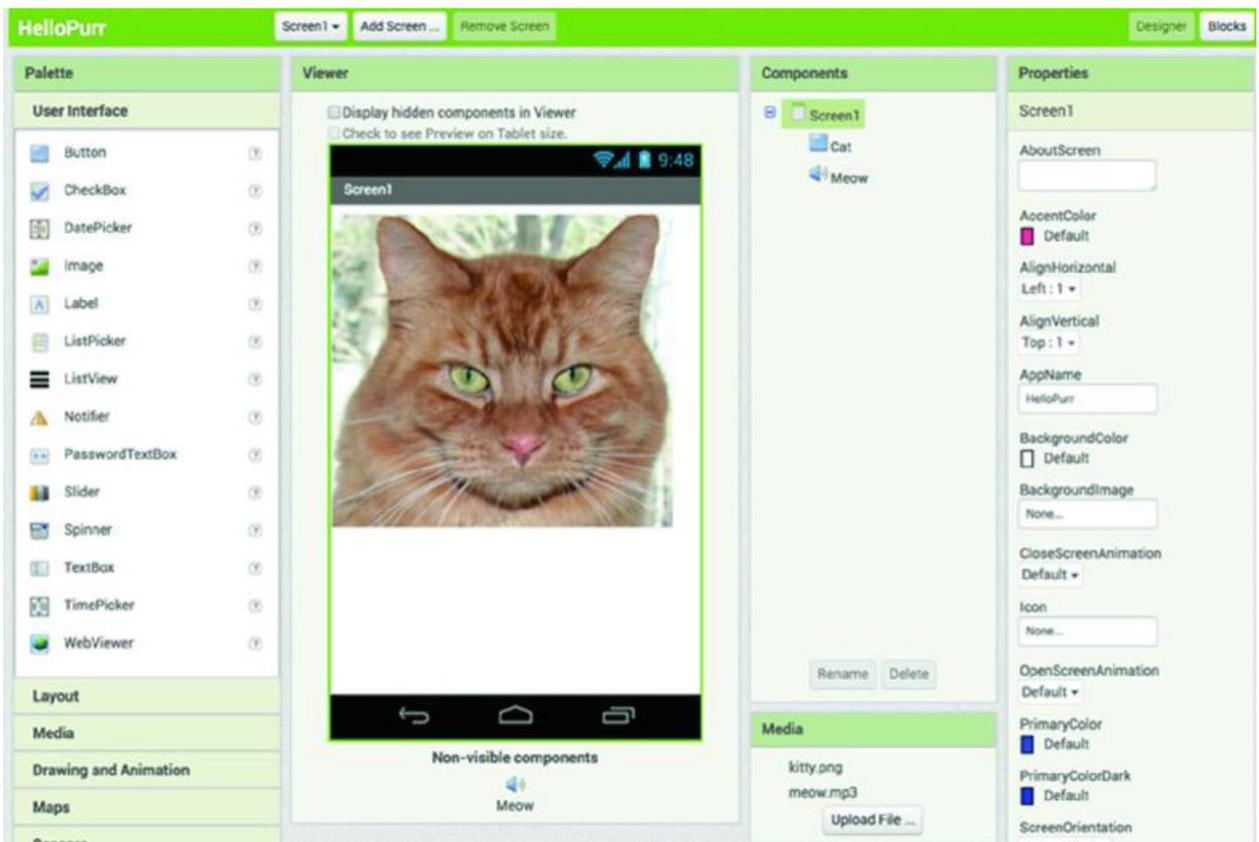


Рис. 1.8 – Панель “Дизайнер” програми MIT App Inventor 2

Винахідники додатків перетягують компоненти з палітри (вкрай ліворуч) до засобу перегляду (ліворуч по центру), щоб додати їх до програми.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		24

Винахідники можуть змінювати властивості компонентів (крайній праворуч). Також відображається огляд компонентів екрану та носіїв проекту (в центрі праворуч). Редактор блоків (рис. 1.9) – це середовище, в якому винахідники програм можуть візуально викласти логіку своїх додатків, використовуючи кольорові блоки, які з’єднуються, як шматочки головоломки, для опису програми. Код блоків зазвичай читається зліва направо, зверху вниз.

Для сприяння розробці та тестуванню App Inventor пропонує мобільний додаток, який називається App Inventor Companion (або просто “Супутник”), який розробники можуть використовувати для тестування та регулювання поведінки своїх додатків у режимі реального часу. Таким чином, кожен може швидко створити мобільний додаток і негайно почати ітерацію та тестування.

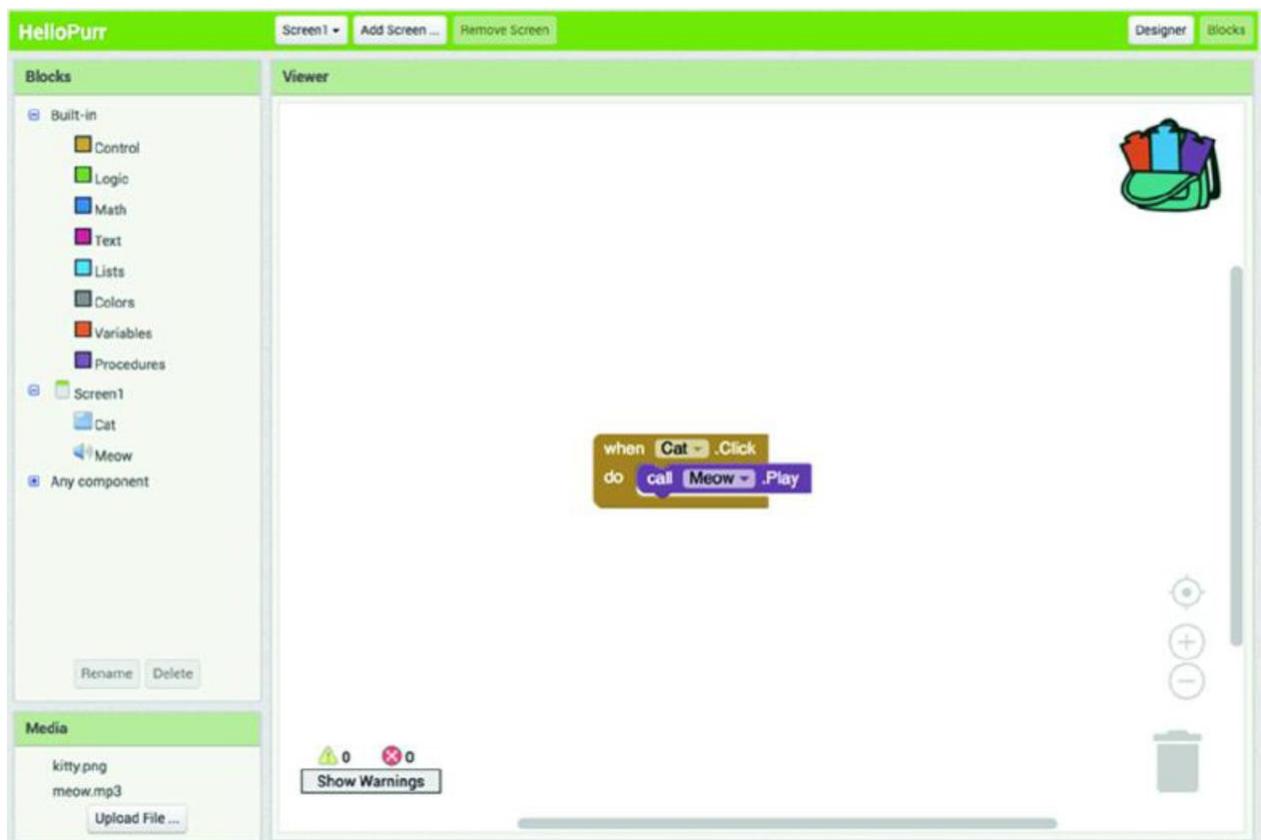


Рис. 1.9 – Панель “Редактор блоків” програми MIT App Inventor 2

Для побудови моделі автомобіля з можливістю його управління необхідно реалізувати програмну та апаратну частину.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		25

Апаратна частина – це фізична модель нашого об'єкта, а саме модель автомобіля, яка складається з безлічі деталей. Основна деталь, яка буде відповідати за управління фізичної моделі автомобіля є плата мікроконтролера Arduino UNO R3. Інші деталі будуть підключатися до портів плати, через яку будуть отримувати команди.

Програмна частина має 2 пункти, а саме - розробка програмного застосунку на телефон за допомогою середовища розробки веб додатків MIT App Inventor 2, а також програмування мікроконтролера на виконання команд.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2 РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ АВТОНОМНОЇ РУХОМОЇ ТЕЛЕЖКИ НА ДИСТАНЦІЙНОМУ УПРАВЛІННІ

2.1 Розробка апаратних засобів

Для створення прототипу автономної рухомої тележки на дистанційному управлінні використаєм компоненти, розглянуті вище. Схему підключення компонентів прототипу рухомої тележки на дистанційному управлінні наведено на рис. 2.1.

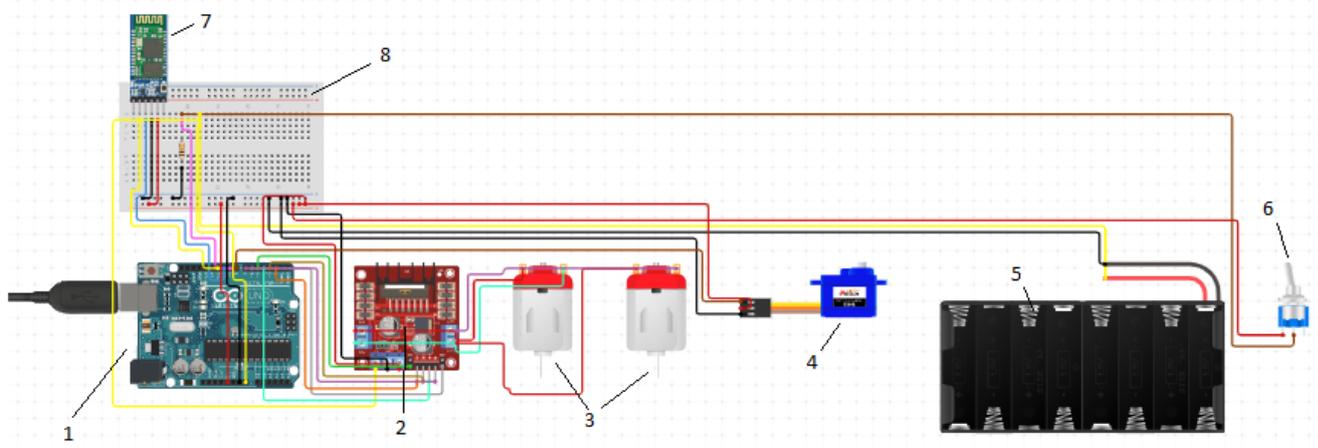


Рис. 2.1 – Схема підключення компонентів прототипу рухомої тележки на дистанційному управлінні

Модель складається з наступних компонентів (див. рис. 2.1):

1. Мікроконтролера Arduino UNO R3.
2. Модуль драйвера мотора L298N.
3. 2-х електромоторів (3V-12V).
4. Сервопривід.
5. Блок живлення (9V-12V).
6. Перемикач.
7. Bluetooth модуль HC-05.
8. Макетна плата.

Схема підключень зведена в табл. 2.1.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		27

Таблиця 2.1 – Таблиця підключень компонентів

Компонент	Контакт компонента	Контакт для підключення
Драйвер мотора	Порти підключення першого мотора	Контакти електромотора 1
	Порти підключення другого мотора	Контакти електромотора 2
	Живлення для двигунів	Джерело живлення 12V
	VCC	5V мікроконтролера
	GND	GND мікроконтролера
	ENA	5 порт мікроконтролера
	INA1	2 порт мікроконтролера
	INA2	3 порт мікроконтролера
	INB1	4 порт мікроконтролера
	INB2	7 порт мікроконтролера
	ENB	6 порт мікроконтролера
Сервопривід	GND (коричневий)	GND
	VCC (червоний)	5V мікроконтролера
	Signal (жовтий)	8 порт мікроконтролера
Bluetooth модуль	GND	GND
	VCC	5V мікроконтролера
	TX	10 порт мікроконтролера
	RX	11 порт мікроконтролера

За допомогою електромоторів буде здійснюватись рух моделі вперед-назад. Bluetooth модуль необхідний для прийому даних від пульта управління. Драйвер мотора необхідний для управління напрямком руху моторів та швидкістю їх обертання. Сервопривід для того, щоб платформа здійснювала повороти вліво-вправо. За допомогою мікроконтролера буде відбуватися керування всіма компонентами. Макетна плата необхідна для кращого підключення при-

строїв. На неї буде виводитись струм від головного джерела живлення 12V та струм від плати мікроконтролера напругою 5V. Перемикач необхідний для ввімкнення живлення.

2.2 Розробка програмних засобів

Розробка програмних засобів відбувається у два етапи.

Перший етап – створення програмного інтерфейсу управління для взаємодії між телефоном та моделлю на основі мікроконтролера. Оскільки ми хочемо керувати моделлю автомобіля, який буде здійснювати рух в двох площинах, тобто вверх-вниз та вліво-вправо, тому доцільно зробити інтерфейс, з якого буде управлятися платформа, подібним до джойстика.

Для розробки графічного інтерфейсу використали середовище розробки веб додатків MIT App Inventor 2.

Найперше розташовуємо кнопки для з'єднання з пристроями Bluetooth, відключення з'єднання та показу статусу з'єднання.

Другим кроком створюємо джойстик з двох спрайтів накладених один на одного, а також надписи для виводу координат положення кнопки джойстика, за допомогою якої буде відбуватись управління рухом. Всі елементи, які ми використали, підписуємо для інтуїтивної зручності. На цьому дизайн готовий (рис. 2.2).

Далі за допомогою режиму блоків ми програмуємо поведінку нашого інтерфейсу. Для початку задамо змінні в яких будуть зберігатися початкові і поточні координати кнопки джойстика. Запрограмуємо відключення при нажатті на кнопку відключення або при збої Bluetooth. Програмуємо вибір Bluetooth та зміну надпису зі статусом. Останній крок – програмуємо поведінку джойстику, щоб він надсилав через Bluetooth координати свого положення. На цьому програмування поведінки програми закінчено (рис. 2.3).

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

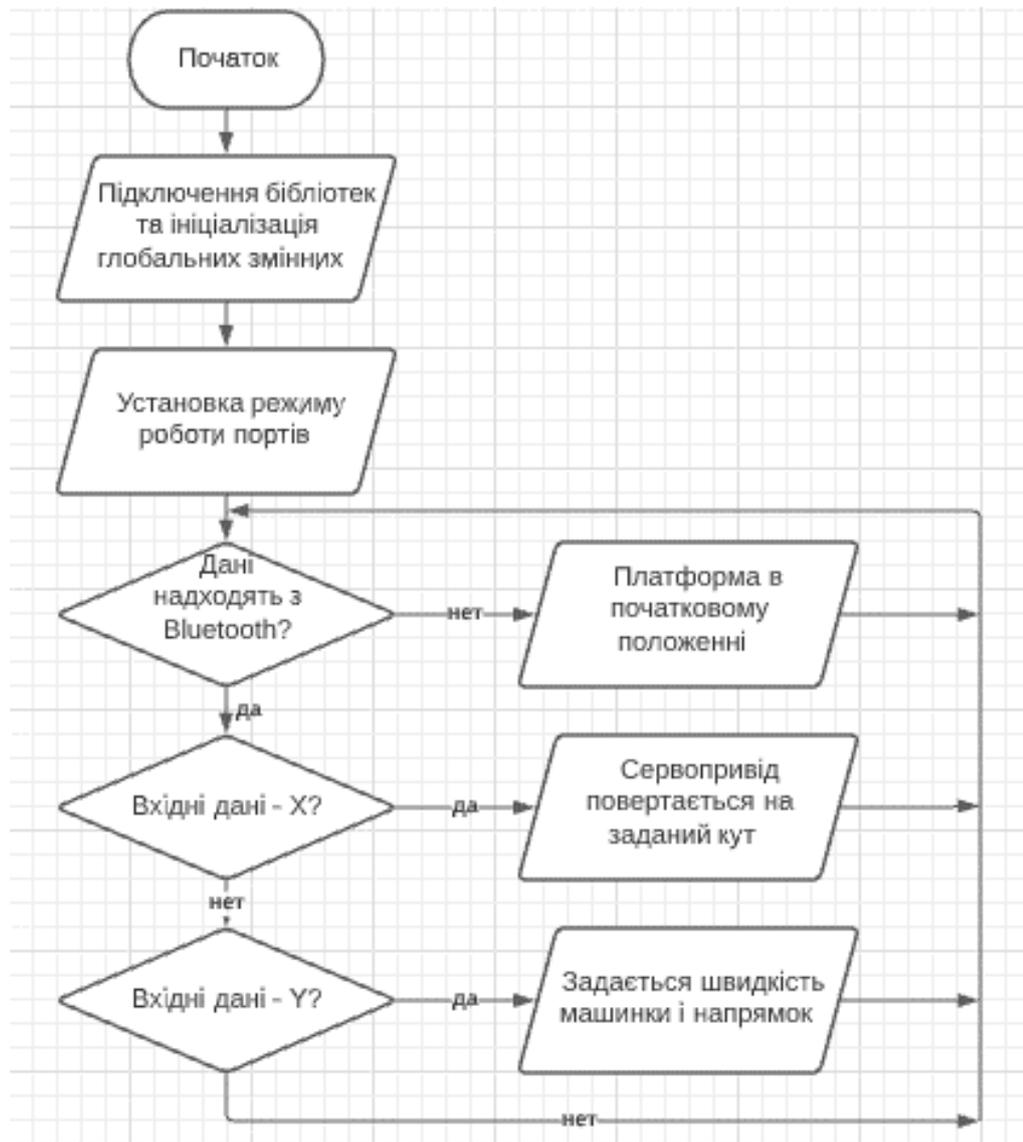


Рис. 3.4. Алгоритм роботи платформи.

На наступному кроці за допомогою середовища програмування Arduino IDE пишемо скетч для роботи мікроконтролера. Коли код програми буде готовий, зберігаємо (“Файл” -> “Зберегти”, або натиснути на зелений значок “Зберегти” зі стрілкою вниз в лівому верхньому куті інтерфейсу програми). Для того, щоб завантажити програму на плату, потрібно вгорі на панелі інструментів обрати пункт “Інструменти” та задати значення для двох підпунктів:

- 1) обрати плату, на яку потрібно завантажувати код програми, в нашому випадку це Arduino/Genuino UNO;
- 2) обрати послідовний порт, через який буде завантажуватись код програми (плата з мікроконтролером повинна бути підключеною до комп'ютера, через який буде завантажуватись код).

Останнім кроком буде завантаження програми. Для цього в лівому верхньому куті потрібно натиснути на кнопку “Завантажити”. В разі успішного завантаження програма виведе повідомлення про успішне завершення завантаження в консольне вікно та дані про об'єм пам'яті мікроконтролера, яку завантажений скетч використовує (рис. 2.5).

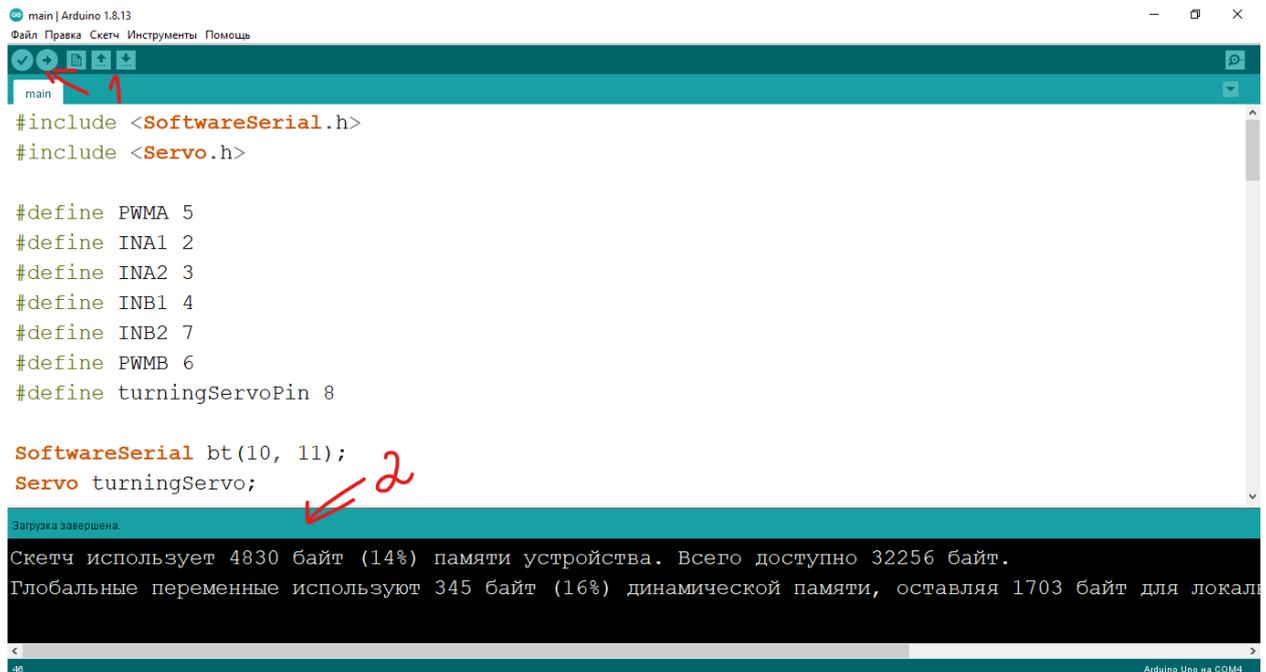


Рис. 2.5 – Алгоритм завантаження скетчу в плату.

2.3 Тестування засобів керування моделлю автомобіля.

Тестування проводилось за наступним алгоритмом:

- 1) завантаження програмного коду в мікроконтролер;
- 2) ввімкнення живлення моделі;
- 3) запуск програми на телефоні;
- 4) при переході в меню вибору Bluetooth відобразився список доступних пристроїв Bluetooth;
- 5) підключення до модуля Bluetooth (зазвичай він має стандартну назву HC-05);
- б) управління платформою.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		32

Платформа приймає сигнали від телефону, та рухається правильно та без затримок.

При перевірці дальності встановлено, що платформа може приймати сигнали в радіусі 30 метрів.

Висновки до розділу 2

В розділі 2 була здійснена реалізація апаратно-програмних засобів керування моделлю автомобіля.

На першому етапі було створено схематичну модель та зібрано фізичну модель схеми.

На другому етапі було створено програмну частину моделі, а саме програму управління з телефону, та програмну прошивку для плати мікроконтролера.

На останньому етапі було протестовано систему на правильність роботи та дальність дії дистанційного управління.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ РОБОТИЗОВАНОЇ ТЕЛЕЖКИ

Навігація мобільних роботів є актуальним завданням сучасної робототехніки. При цьому процес навігації включає в себе наступні етапи:

- складання карти середовища;
- корекція траєкторії руху робота;
- планування маршруту (вибір оптимального шляху, що веде до мети);
- управління локальними переміщеннями;
- обхід роботом небезпечних ділянок траси.

Алгоритмічне рішення цих задач, очевидно, має спиратися на інформацію про рельєф поверхні, яка може бути відома апріорі, доповнюватися в процесі переміщення робота. Для прокладки маршруту використовується глобальна інформація про район переміщення, наприклад, у вигляді матриці рельєфу, кожен елемент якої відповідає певній ділянці поверхні. Індекси окремого елемента матриці визначають лінійні координати ділянки місцевості, а значення елемента - відносну висоту цієї ділянки [12].

3.1 Концептуальна модель

Управління локальними переміщеннями відомим маршрутом здійснюється на підставі інформації про характер поверхні в ближній околиці робота.

Якщо визначити маршрут руху як послідовність опорних пунктів (підцилей) руху, що включає початкове і кінцеве (цільове) положення робота, то завдання прокладки маршруту включає формування деякої безлічі підцилей і подальший вибір такої її підмножини, яка оптимізує рух робота [12].

Процесу прокладки маршруту руху робота передують складання карти середовища. З локальними переміщеннями робота пов'язані завдання корекції траєкторії руху і обходу небезпечних ділянок поверхні.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Спочатку формується карта робочої зони робота, при цьому зовнішнє середовище дискретизується, і кожній ділянці, який містить перешкоду, ставиться у відповідність інформація про тип цієї перешкоди. Також передбачається, що для визначення прохідності ділянок середовища використовується дистантна сенсорна підсистема сканування на основі лазерного далекоміра, а визначення пройденого шляху здійснюється за допомогою одометричної підсистеми із застосуванням методу пасивного колеса. Побудова карти відбувається одночасно з дослідженням зовнішнього середовища.

Якщо нашому роботу необхідно слідувати вздовж стіни з зовнішніми поворотами (рис. 2.1а), датчик 'ультразвуку може бути встановлений перпендикулярно руху робота. В цьому випадку рух буде більш плавним, з меншими коливаннями.

Однак, якщо в шляху доведеться долати внутрішні кути, датчик ультразвуку повинен встановлюватися під кутом, так як при перпендикулярному розташуванні датчик не побачить поворот, робот застрягне в кутку, а мотори продовжать обертання (рис. 3.1г). Рух уздовж прямої буде відбуватися з більшими коливаннями через те, що навіть при невеликому відхиленні від потрібного курсу діагональ збільшується більше в порівнянні з перпендикуляром. Відповідно, пропорційне управління буде задавати великі керуючі впливу на мотори, що викликає різкі рухи. Якщо під час руху зустрічаються зовнішні і внутрішні кути, наприклад, при проході лабіринту, датчик ультразвуку слід встановлювати під кутом (рис. 3.1в).

При будь-якому розташуванні датчик ультразвуку повинен встановлюватися попереду робота на деякому відстані від коліс. Це викликано тим, що робот при управлінні інерційний і будь-який вплив на мотори відпрацьовує з деяким запізненням.

На рисунку 3.2 показані описані вище варіанти розташування датчика ультразвуку на роботі.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

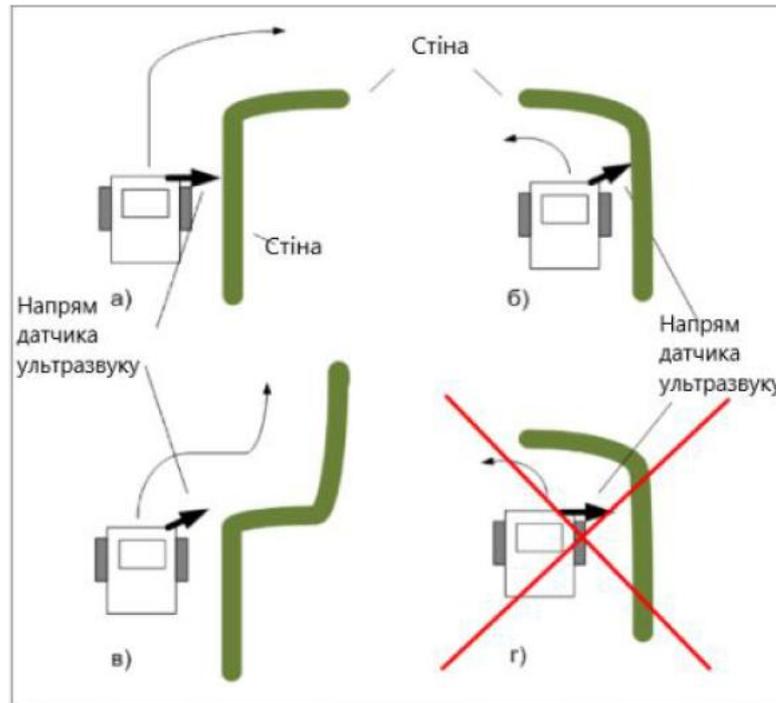


Рисунок 3.1 – Схема розміщення робота і датчика ультразвуку в залежності від типу повороту

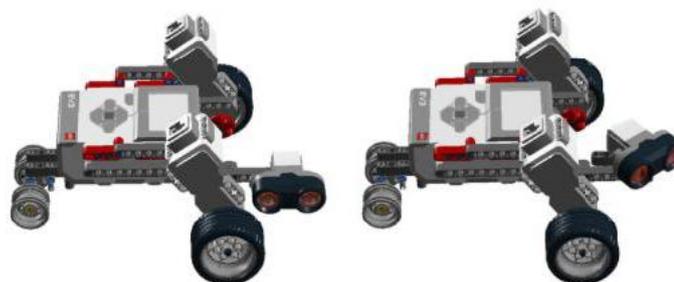


Рисунок 3.2 – Варіанти розміщення датчиків

Нехай відстань до стіни становить K см. На блок рульового управління подається позитивна значення, мотор «1» починає обертатися швидше, пропорційно величині помилки неузгодженості. Тобто, чим далі робот від'їхав від стіни, тим з більшою швидкістю він буде до неї під'їжджати.

Мотор «2» обертається із заданою швидкістю N одиниць. В результаті робот повертає направо в сторону стіни, продовжуючи при цьому рух вперед.

Якщо відстань до стіни стає менше, то на блок рульового управління подається негативне значення, мотор «1» продовжує обертатися із заданною швидкістю N одиниць, мотор «2» обертається швидше пропорційно величині

помилки неузгодженості. Чим ближче робот під'їхав до стіни, тим з більшою швидкістю, він буде від неї від'їжджати. В результаті робот повертає ліворуч від стіни, продовжуючи при цьому рух вперед.

Якщо необхідно слідувати з правого боку від стіни, то керуючий вплив має бути зворотним.

3.2 Логічна модель

Система управління мобільним роботом повинна вирішувати такі завдання:

- обробка сенсорних даних (в т.ч. даних від інтерфейсу з оператором) з метою збору інформації про роботу і зовнішньому середовищі навколо нього;
- планування заходів по з'ясуванню цільового завдання і планування послідовності підзадач, необхідних для виконання цього завдання;
- формування таких програмних траєкторій руху МР, які б приводили до виконання роботом локальної підзадачі (наприклад, прибуття до цільової точки в середовищі з перешкодами);
- формування таких з впливів на виконавчі механізми робота, які б приводили до максимально точному і швидкому виконанню ними програмної траєкторії руху.

Однією з особливостей побудови системи управління інтелектуального мобільного робота є те, що вона будується за ієрархічним принципом багаторівневого, згідно з яким з підвищенням ієрархічного рангу підсистеми підвищується її ступінь інтелектуальності. Самою верхньою ланкою цієї ієрархії є система управління поведінкою, далі йде система управління рухом, а система управління виконавчими механізмами є нижчою ланкою цієї ієрархії. Крім перерахованих підсистем в структурі є інформаційно-вимірювальна система, яка також повинна володіти деякими інтелектуальними можливостями, і інтерфейс з оператором [16].

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

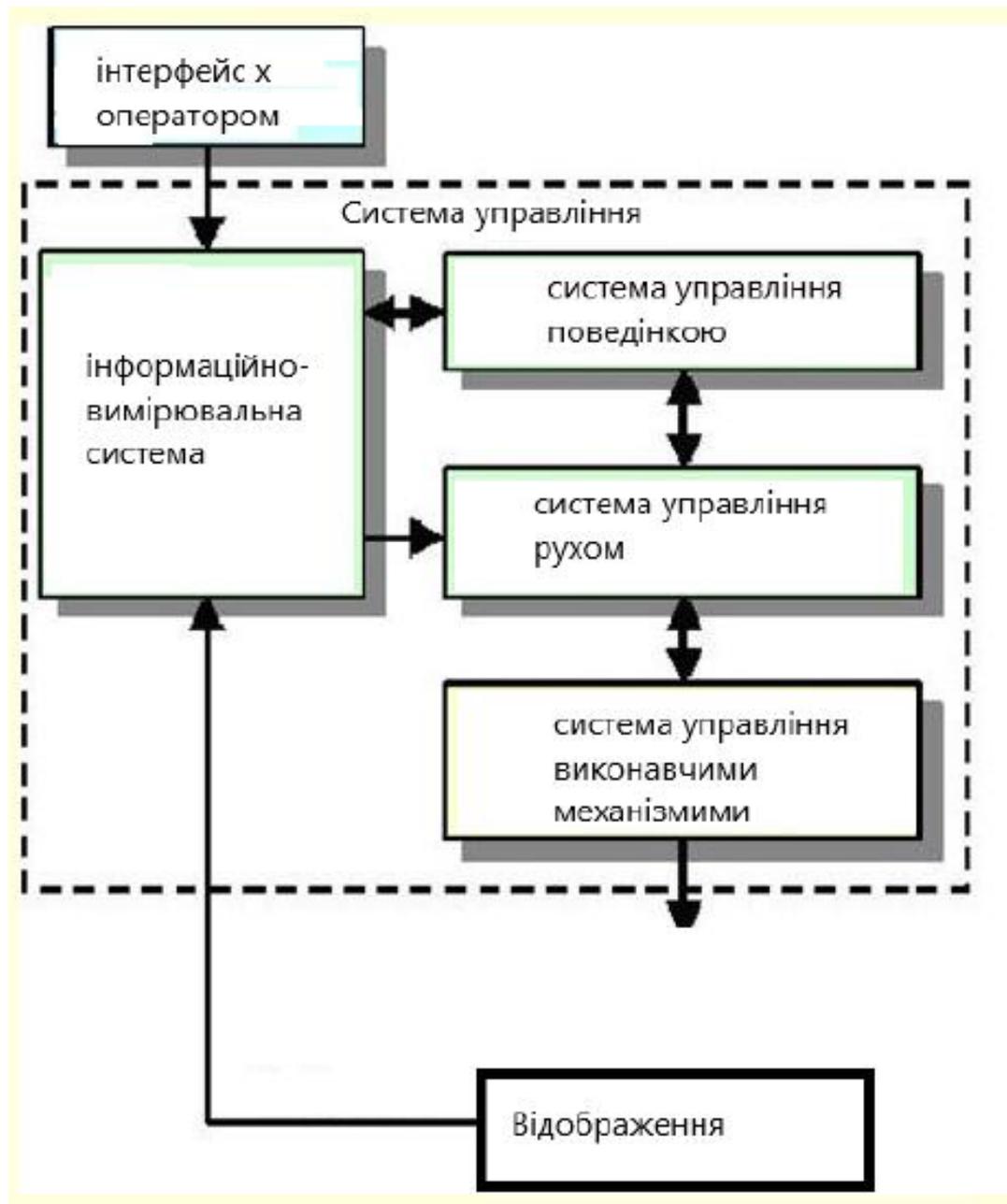


Рисунок 3.3 – Структура системи управління мобільним роботом

В середовищі Matlab розроблено схему моделювання одного із блоків на рисунку 3.3, а саме систему управління рухом робота , що управляє швидкістю руху робота й кутом повороту (коди обертів моторів лівої сторони та правої сторони) та обчислює відхилення робота від стіни й знаходження робота по координатам осі X та Y (виведення результатів відхилення E і координату осі X на монітор).

На рис. 3.4 наведено структуру схему системи імітаційного моделювання.

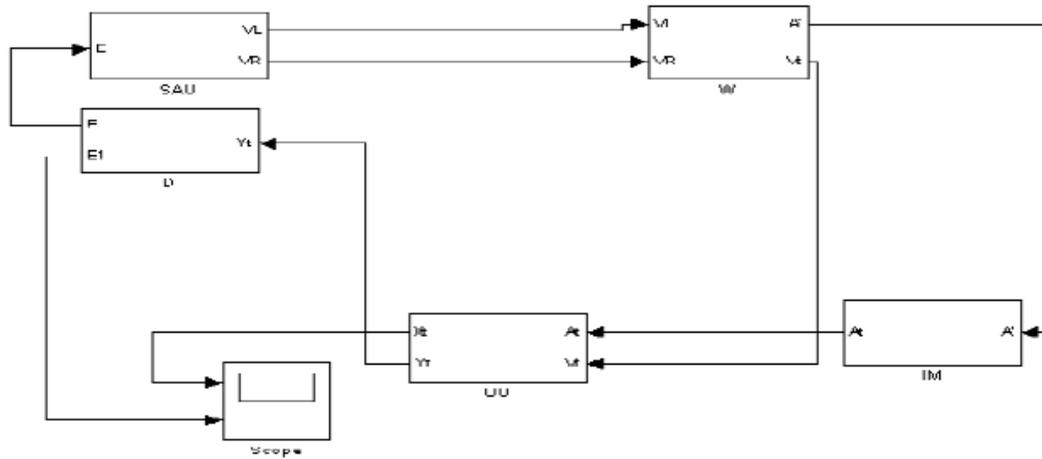


Рисунок 3.4 – Схема логічної моделі

Імітаційна модель нараховує в собі 5 блоків: SAU – система автоматичного управління; W – перерахунок оборотів; IM – виконуючий механізм; OU – об’єкт управління; D – датчик.

Система управління поведінкою (стратегічний рівень) призначена для формування доцільної поведінки робота для виконання завдання, поставленого перед ним. На виході ця система формує цілевказування для системи управління рухом: цільова точка шляху, необхідний стан приводів робота, команди управління режимами роботи інформаційно-вимірювальної системи.

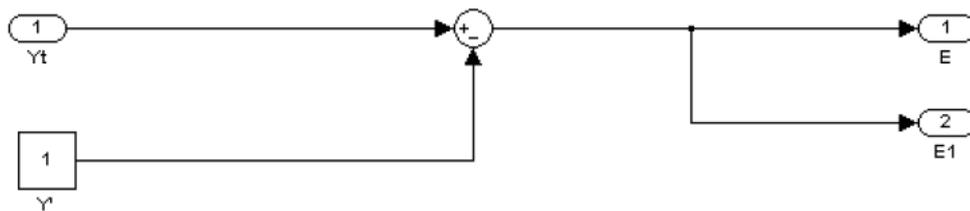


Рисунок 3.6 - Блок D

Блок D – датчик приймає значення координат Y_t , ця координата відповідає за відхилення робота від смуги вздовж якої він рухається, та перетворює координату на помилку E яку зробив робот відхилившись від маршруту.

Для роботи у блоці датчика нам потрібно бути використати формулу:

$$e_t = \hat{y} - y_t; \quad (3.1)$$

y_t – це значення відхилення робота від центру смуги в момент часу t .

\hat{y} – це ширина смуги, вздовж якої рухається робот.

Пояснення до блоку D наведено на рисунку 3.7.

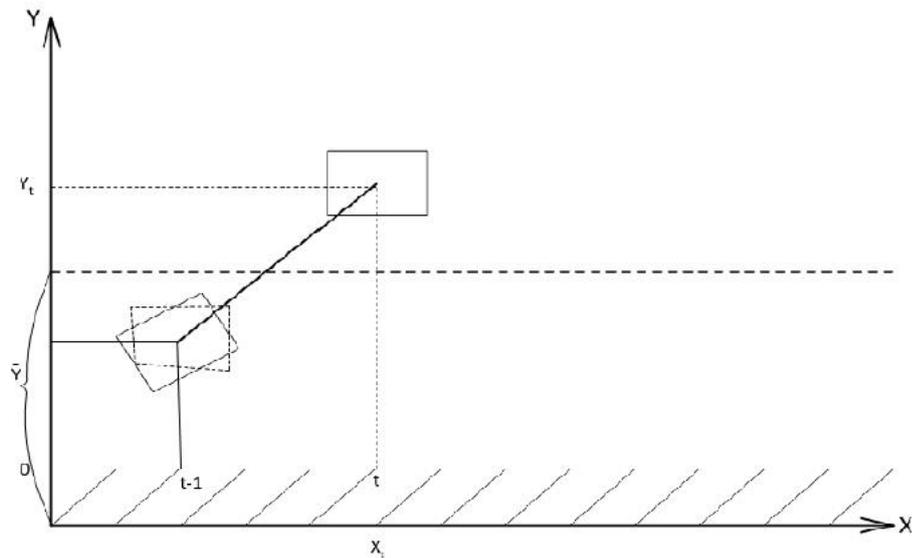


Рисунок 3.7 - Графік блоку D

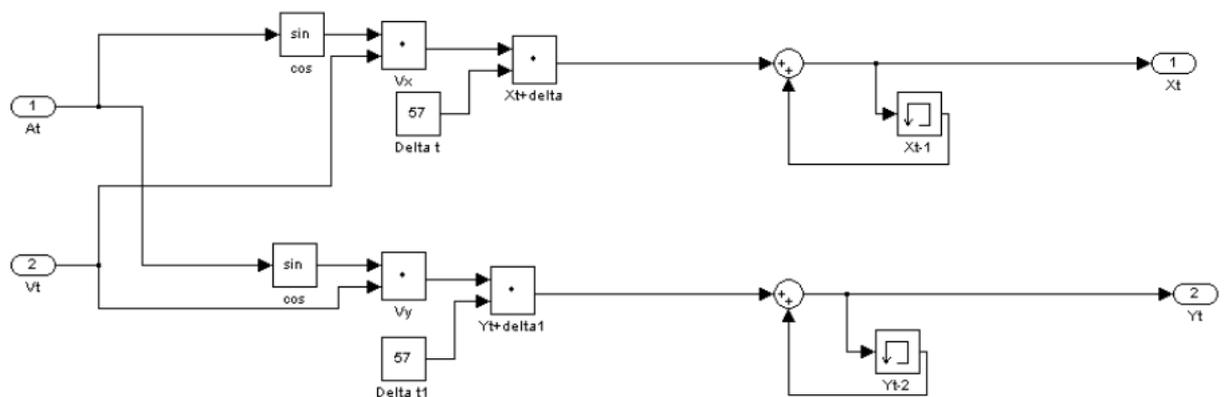


Рисунок 3.8 - Блок OU

Блок OU – це модель робота, що рухається уздовж смуги на основі ультразвукового датчика відстані ПІД контролера. Цей блок приймає на вхід значення лінійної швидкості V та кут повороту α .

У цьому блоці ми знаходимо нахождение координати осей «X», «Y», за допомогою формул:

Знаходження швидкості на координаті X;

$$V_x = V * \cos\alpha; \quad (3.2)$$

Знаходження попередньої координати X;

$$\Delta X = V_x * \Delta T; \quad (3.3)$$

Знаходження координати X;

$$X_t = X_{t-1} + \Delta X; \quad (3.4)$$

Знаходження швидкості на координаті Y;

$$V_y = V * \sin\alpha; \quad (3.5)$$

Знаходження попередньої координати Y;

$$\Delta Y = V_y * \Delta T; \quad (3.6)$$

Знаходження координати Y;

$$Y_t = Y_{t-1} + \Delta Y. \quad (3.7)$$

x1 = 51 / 255

Система управління рухом (тактичний рівень) призначена для планування таких програмних траєкторій руху робота, які б приводили робота в вказане цільове стан в середовищі з перешкодами, з огляду на динамічні характеристики робота. Цільове стан для цієї системи формує система управління поведінкою. На виході дана система формує необхідну командне значення швидкостей лінійного руху і повороту робота [13].

повернув робот за п'ять секунд, тоді зможемо знайти кут повороту за одну секунду, для цього поділимо кут повороту за час його повернення. $x = 300 / 5$ дорівнює шістдесят градусів за секунду. Знайдемо швидкість роботу. Кут повороту поділимо на різницю швидкості лівого та правого моторів $x_1 = 60 / 255$.

Формули перерахунку оборотів :

Знаходження відстані за одну секунду

$$\begin{cases} V^t = K_V \min(U_L^t; U_R^t); \\ \Delta\alpha = K_\alpha (U_R^t - U_L^t); \end{cases} \quad (3.8)$$

$$R_1 = R/T; \quad (3.9)$$

. Знаходження коефіцієнту швидкості.

$$K_V = R_1 / V_{\max}; \quad (3.10)$$

Знаходження лінійної швидкості.

$$V = K_V * \min(U_L; U_R); \quad (3.11)$$

Знаходження кута повороту за одну секунду.

$$\alpha_1 = \alpha / T; \quad (3.12)$$

46

Знаходження коефіцієнту кута.

$$K_\alpha = \alpha_1 / U_{\max}; \quad (3.13)$$

Знаходження попереднього кута повороту.

$$\Delta\alpha = K_\alpha * (U_L - U_R); \quad (3.14)$$

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Система управління виконавчими механізмами (приводний рівень системи управління) вирішує завдання управління виконавчими механізмами робота. Ця система реалізує інтерфейс з апаратною частиною робота (електричні і механічні пристрої, необхідні для роботи робота).

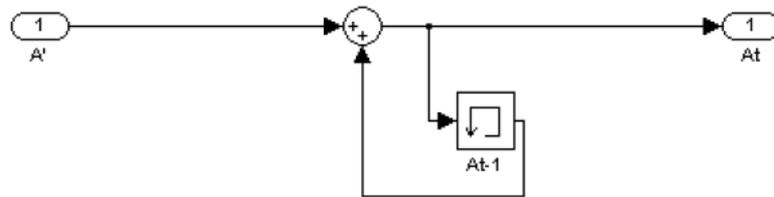


Рисунок 3.10 - Блок ІМ

Блок ІМ – виконавчий механізм корегує кут повороту A_t , враховуючи той кут , що був на попередньому кроці.

Виконуючий механізм у системах автоматичного регулювання пристрій, що безпосередньо здійснює механічне переміщення (чи поворот) органу регулювання об'єкта управління і змінює його стан. Складають одну з останніх ланок системи автоматичного регулювання. Використовуються для управління органами регулювання . Виконавчий механізм, як правило, складається з трьох основних пристроїв: сервомотора (серводвигуна), джерела живлення та навантаження.

Формула виконуючого механізму :

$$\alpha_t = \alpha_{t-1} + \Delta\alpha; \quad (3.15)$$

Інформаційно-вимірювальна система призначена для збору, обробки і перетворення сенсорної інформації в сигнали, зручні для використання в системі управління робота. Відеозображення, отримане з телекамери, перетворюється в набір параметрів, на основі яких інші підсистеми приймають ті чи інші рішення.

Даний робот може бути оснащений чотирма кольоровими камерами, об'єднаними в одне ціле в корпусах з подвійними галогенними рефлекторами, що робить можливим роботу при недостатньому освітленні або в повній темряві.

Дві камери рухливі: одна поміщена спереду пересувної платформи на сервомоторами, що регулює кут нахилу рухається передній гусениці. Завдяки цьому полі зору змінюється разом з підняттям або опусканням передньої гусениці. Друга спрямована назад, поміщена на поворотній основі маніпулятора. Поле зору оператора змінюється разом з обертанням основи маніпулятора. Маніпуляційна камера поміщена на захопленні. Кут зору камер 90 °.

Основна камера поміщена на верхньому плечі маніпулятора. Вона встановлена на поворотній голівці, що дозволяє обертання камери в горизонтальній і вертикальній площинах. Камера оснащена об'єктивом зі змінною фокусом з можливістю автоматичного регулювання діафрагми, а також з можливістю ручного, дистанційного регулювання різкості і фокусу .

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4 МОДЕЛЬ ТРАДИЦІЙНОГО Й НЕЧІТКОГО ПІД КОНТРОЛЕРУ

Під регулятором будемо розуміти пристрій, який за допомогою чутливого елемента (датчика) вимірює регульовану величину і відповідно до закону регулювання виробляє вплив на регулюючий орган об'єкта.

Система, що складається з об'єкта і регулятора, називається системою управління. Однією з головних задач теорії автоматичного управління є управління за допомогою зворотного зв'язку. У таких завданнях можна виділити чотири основні компоненти:

- керовану систему (об'єкт управління) – те, чим ми хочемо керувати;
- мета управління – то, чого ми хочемо досягти за допомогою управління, тобто бажану поведінку об'єкта управління;
- список вимірюваних змінних (або виходів) то, що ми можемо вимірювати;
- список керуючих змінних (або входів) – то, що ми можемо змінювати для того, щоб впливати на об'єкт управління.

Ще один важливий компонент - регулятор - пристрій, виробляє вхідні величини, необхідні для досягнення заданої мети. Цей п'ятий елемент зазвичай з'являється після того, як теоретичне рішення задачі знайдено. Під вирішенням проблеми управління будемо розуміти знаходження закону керування (алгоритму управління), що забезпечує досягнення мети. Як тільки шуканий закон знайдений, він може бути використаний для обчислення керуючих входів по виміряним значенням виходів об'єкта управління. Отримані значення входів у вигляді деяких сигналів подаються на виконавчі пристрої. У формуванні цих сигналів може брати участь мікропроцесор, виробляє досить складні обчислення відповідно до заданого алгоритму. З розвитком технологій в інженерних науках широко використовується безліч різних регуляторів в побудові автоматизованих пристроїв. В робототехніці застосовуються такі регулятори [13]:

- пропорційний регулятор (П-регулятор);
- інтегральний регулятор (І-регулятор);

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор);
- диференційний регулятор (Д-регулятор);
- пропорційно-диференційний регулятор (ПД-регулятор);
- пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор;
- (ПІД-регулятор);
- релейний регулятор.

Регулятор, що включає всі три компоненти (пропорційний, інтегральний і диференційний), називають ПІД-регулятором (рис. 4.1). Варіювання його параметрів дозволяє реалізовувати всі інші закони. Він об'єднує, всі достоїнства і недоліки законів, його складових. Кожен з елементів регулятора (пропорційна, інтегральна і диференціальна ланки) виконує своє завдання і робить свій специфічний вплив на функціонування системи: пропорційний закон відповідає за дане функціонування (реагує на поточну помилку), диференційний - за майбутнє (реагує на тенденцію зміни помилки), а інтегральний - за минуле (накопичуючи попередні помилки і згладжуючи високочастотні шуми).

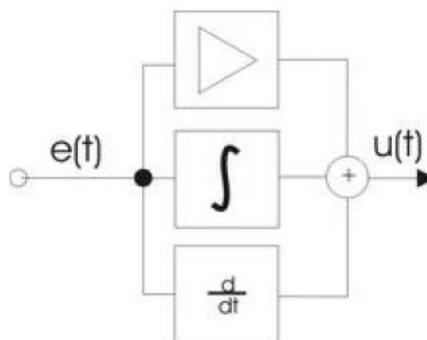


Рисунок 4.1 – ПІД контролер

ПІД-регулятор був створений ще в 1910 році, проте значно пізніше, лише в 1942 р була розроблена методика його налаштування . Незважаючи на свою поширеність, довгий час ПІД-регулятор був досить складним і дорогим пристроєм. Але після появи мікропроцесорів в 80 - х рр. розвиток і поширення ПІД-регуляторів стало відбуватися наростаючими темпами. Зараз ПІД-регулятор відноситься до найбільш поширеного типу регуляторів.

Динамічні ланки відповідають певним перетворенням сигналів у системі. Ці перетворення описують як правило засобами математики, а саме передатною функцією динамічної ланки. Зображують динамічні ланки прямокутником, всередині якого записують передатну функцію. В якості динамічних ланок виступають умовно виділені частини системи, в яких здійснюються найбільш прості перетворення сигналів. Динамічні ланки з'єднують між собою стрілками, які відповідають напрямку передачі сигналу від однієї ланки до іншої. Динамічні ланки є ланками направленої дії. Ланкою направленої дії - це ланка, яка передає сигнал тільки в одному напрямку з входу на вихід і її властивості не залежать від інших ланок, з якими вона з'єднана. Формула системи автоматичного управління: $U_t = U_{t-1} + (K \cdot E_1) + (K \cdot E_2) + (K \cdot E_3)$.

Потрібно визначити параметри системи з допомогою ручних налаштувань, заснованих на правилах. Але такий спосіб потребує великого об'єму роботи або не завжди може бути застосована (для нестійких розімкнутих систем). Тож скористаємося вбудованими в MATLAB налаштуваннями PID Tuning и GUI (рис.4.3).

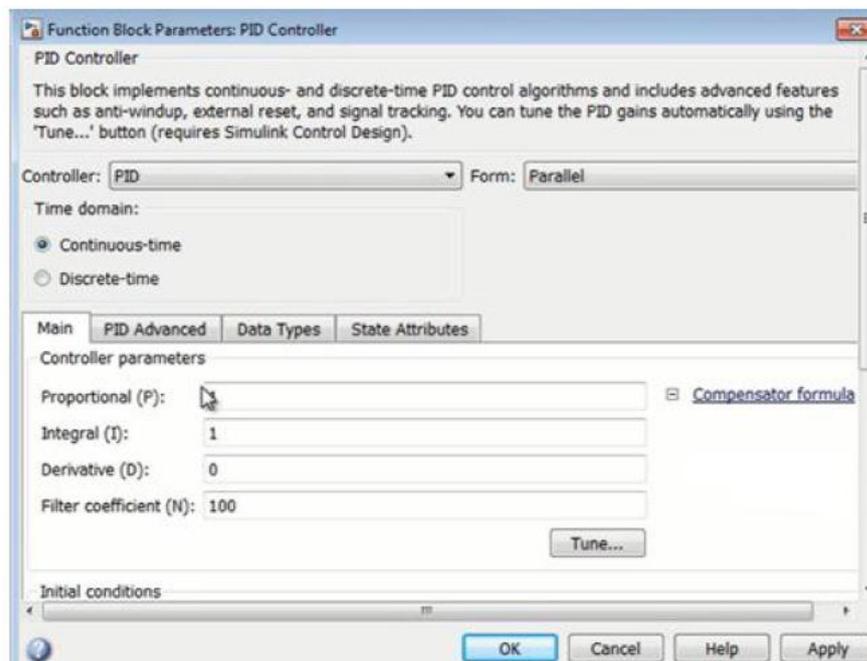


Рисунок 4.3 – Налаштування моделі

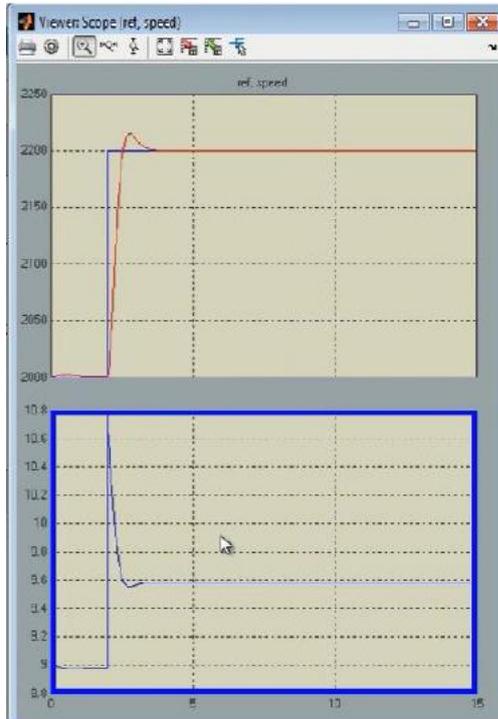


Рисунок 4.6 – Результат моделювання 2

Із результатів моделювання 2 стало видно , що система стала більш стійка і гладка .

Покажемо варіанти застосування імітаційної моделі до фізичної моделі роботу.

Нехай розглянута система управління мобільного робота складається з блоків, які враховують 5 типів нечіткого поведінки по моделі Такагі-Сугено нульового порядку: «рух до мети» (Goal Seeking Behavior -GSB), «обхід перешкод, розташованих прямо»(Front Obstacle Avoider - FOA), «обхід перешкод,розташованих справа »(Right Obstacle Avoider - ROA), «обхід перешкод, розташованих зліва» (Left Obstacle Avoider - LOA) і «зменшення швидкості руху» (Velocity Reducing Behavior VRB).

Припустимо, що МР має 7 ультразвукових датчиків для виявлення перешкод в трьох напрямках (прямо, праворуч і ліворуч).

Датчики згруповані в три модуля (за напрямками) і для кожного з модулів використовуються три датчика для вироблення найкращого управління рухом.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

правил управління на основі максимізації середнього значення одержуваних підкріплень.

Розглянемо різні стратегії управління .

Стратегія 1. Коли датчики робота не фіксують жодних перешкод перед МР, то задача зводиться до безпосередньої орієнтації до мети для її подальшого досягнення (вільної навігації до мети). Для різних точок старту (S) і фінішу (F) МР були отримані траєкторії МР при різних початкових положеннях шасі, одна з яких (після етапу RL-навчання) приведена на рис. 4.8.

Відзначимо, що поведінка МР поліпшується в процесі навчання (середні значення сигналів підкріплення отримані для кожного кроку навчання, наближаються до константи 2, починаючи з кроку 180, що свідчить про збіжність до оптимального рішення для початкової позиції). щоб оптимізувати нечітку систему навігації з RLобученієм, початкові положення МР повинні бути обрані випадковим чином під час фази навчання. У серії проведених кожен епізод починався з випадкового положення і закінчувався, коли МР досягав мети. При цьому поведінка робота поліпшувалося з часом, що підтверджує відповідність використовуваних алгоритмів.

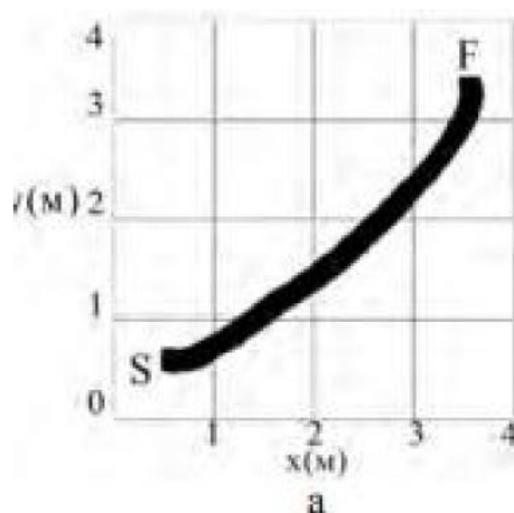


Рисунок 4.8- Траєкторія мобільного робота для стратегії 1

Стратегія 2. Якщо середовище МР містить одне або кілька перешкод, то він повинен мати можливість обійти їх без зіткнень. Як було зазначено вище, система автономної навігації підтримує два елементарних типу поведінки: рух

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		53

до мети і обхід перешкод. МР здійснює адекватну дію для досягнення фінального результату, уникаючи зіткнення з перешкодами, вибираючи один з цих двох типів поведінки в відповідно до поточної ситуації. При цьому значення підкріплення повинно служити для визначення кращого виведення з трьох висновків, запропонованих для двох управлінь.

Припустимо, що робот при старті перебуває в зоні, вільній від перешкод і орієнтується у напрямку до мети для її досягнення, уникаючи колізій. В процесі навчання МР повинен виробляти можливі дії для кожної реєстрованої ситуації. МР переміщається до мети, коли одне з перешкод детектувати, з однією з трьох сторін (анфас, направо або наліво). При цьому активізується поведінку «обхід перешкоди» для вироблення відповідних управлінь і реалізації дій, що дозволяють уникнути зіткнення.

У серії проведених експериментів (для різних типів перешкод) кожен епізод починався з випадкового положення і закінчувався, коли МР досягав мети. Приклади отриманих траєкторій (після етапу RL-навчання) наведені на рис. 4.9.

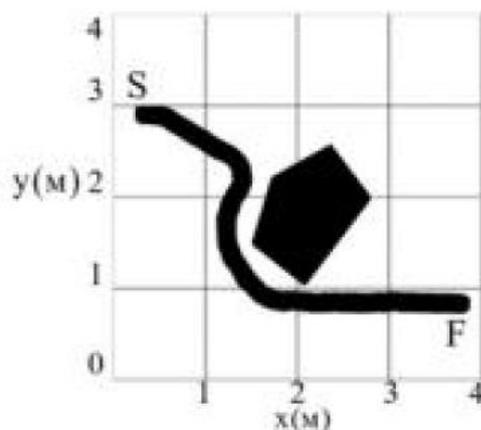


Рисунок 4.9- Траєкторія мобільного робота для стратегії 2

Стратегія 3. Ця стратегія застосовується, якщо МР повинен здійснити обхід стін по контуру або досягти мети, огинаючи стіни. Експерименти з МР без етапу RL-навчання показали, що колісний робот може ефективно рухатися уздовж стін, але в разі, якщо перешкода містить кути, МР не здатний уникати колізій. У серії проведених експериментів для МР, кожен епізод починався з

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

випадкового положення і закінчувався, коли МР повністю обходив контур або (відповідно до завданням) досягав мети. Приклади отриманих траєкторій обходу роботом стін (після етапу RЛобучення) наведені на рис.4.10. Приклад траєкторії МР при русі вздовж стін для досягнення мети в закритому просторі наведено на рис. 4.11.

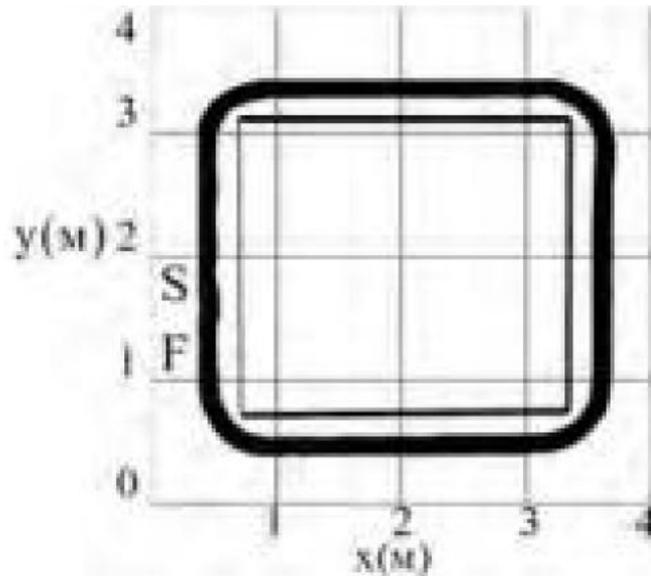


Рисунок 4.10- Траєкторія мобільного робота для стратегії 3

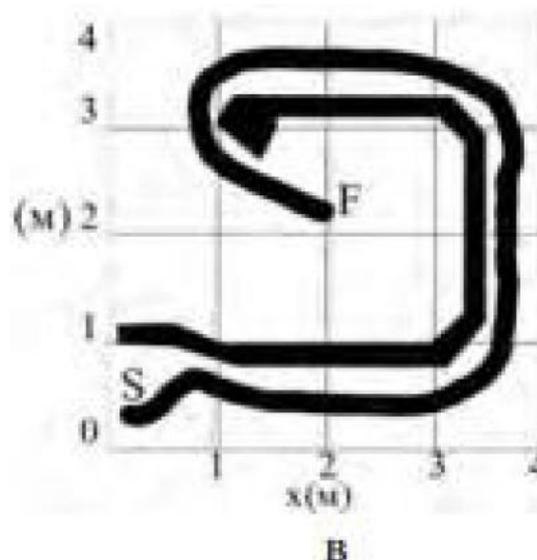


Рисунок 4.11- Траєкторія мобільного робота для стратегії 3

5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Програмна реалізація представляє собою алгоритм локалізації мобільного робота для одновимірної карти. Програма складається з двох частин. Основна частина коду розташована на комп'ютері, являє собою алгоритм, який реалізований в системі MATLAB . Друга частина коду, написана в середовищі Arduino IDE, завантажена на мобільну платформу. Вона являє собою алгоритм, за допомогою якого мобільний робот рухається по лінії і передає сигнали, які надійшли з датчиків локалізації на комп'ютер, використовуючи інструкції управління switch. Взаємодія двох частин проходить за допомогою Bluetooth-модуля . Комп'ютер відсилає мобільному роботу сигнали, що кодують символи («R», «L», «a»), а назад отримує дані з двох датчиків локалізації: датчика переходу в наступну клітину (відповідає символу «R») і датчика визначення кольору клітини (відповідає символу «L»). Для припинення передачі даних з мобільної платформи на комп'ютер використовується символ «a» . Як датчики локалізації використовуються аналогові датчики лінії .

Далі дані з датчиків обробляються на комп'ютері і завантажуються безпосередньо в алгоритм гістограмного фільтра, за рахунок якого відбувається подальша локалізація мобільного робота.

Для перевірки працездатності алгоритму створено декілька різних карт, що описують одномірний простір, по якому переміщається мобільна платформа.

Опис програми методу програмного управління переміщеннями роботу розділяється на три компоненти:

1 Підготовка програмного коду на персональному комп'ютері (рис. 5.1).

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

```

sketch_dec06a | Arduino 1.8.7 (Windows Store 1.8.15.0)
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
sketch_dec06a §
v#include <AFMotor.h>

AF_DCMotor motor1(1);
AF_DCMotor motor2(2);
AF_DCMotor motor3(3);
AF_DCMotor motor4(4);

void setup() {
  motor1.setSpeed(200);
  motor2.setSpeed(200);
  motor3.setSpeed(200);
  motor4.setSpeed(200);

  motor1.run(FORWARD);
  motor2.run(FORWARD);
  motor3.run(FORWARD);
  motor4.run(FORWARD);

  delay(4000);

  motor1.run(RELEASE);
  motor2.run(RELEASE);
  motor3.run(RELEASE);
  motor4.run(RELEASE);
}
77 Arduino/Genuino Uno на

```

Рисунок 5.1- Програмний код

2. Завантаження кодів програми управління роботом в пам'ять мікроконтролера Arduino (рис. 5.2).є

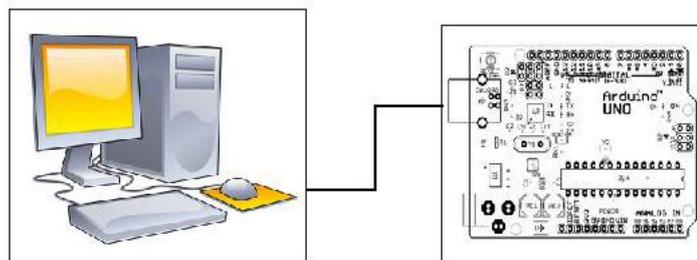


Рисунок 5.2- Завантаження кодів

3. Взаємодія розробленої програми з іншими пристроями апаратного комплексу. Система підготовки кодів керуючої програми.

Код керуючої програми формується в середовищі Arduino за допомогою бібліотек (рис.. 5.3).

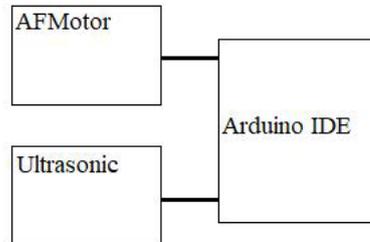


Рисунок 5.3- Бібліотеки

Основні функції бібліотеки Ultrasonic.h.

- Оголошуємо об'єкт ultrasonic с параметрами, де 12 — це контакт Trig, 13 —Echo Ultrasonic ultrasonic(12, 13).

- Оголошуємо об'єкт ultrasonic з одним параметром, де 13 — це сигнальний контакт.

- Ultrasonic ultrasonic(13);

- Читаємо значення відстані у сантиметрах;

- Int dist = ultrasonic.distanceRead();

- Читаємо значення відстані у дюймах;

- int dist = ultrasonic.distanceRead(INC);

ВИСНОВКИ

В ході виконання даного дипломного проекту було розглянуто методи та технології побудови програмно-апаратних засобів керування автономною рухомою тележкою та реалізовано їх прототип.

В процесі виконання роботи було реалізовано наступні задачі:

- ознайомлення з принципами роботи дистанційного управління;
- дослідження мікроконтролера, як основного засобу реалізації системи керування рухом тележки;
- дослідження компонентів програмно-апаратної моделі автомобіля на дистанційному управлінні;
- реалізація прототипу платформи на дистанційному управлінні;
- побудова графічного інтерфейсу для управління автономним роботом.

В даному дипломному проекті було реалізовано модель автомобіля на дистанційному управлінні на основі плати мікроконтролера, яке здійснюється за допомогою мобільного пристрою через технологію Bluetooth. Для зручнішого управління з мобільного пристрою було реалізовано програмний інтерфейс на основі середовища розробки веб додатків MIT App Inventor 2.

На завершальному етапі було протестовано прототип системи для дослідження її працездатності та виявлення помилок. Тестування проведено успішно, пристрої з'єднувались між собою, дані передавались з мобільного пристрою, модель автомобіля виконувала рух.

Розглянуто методи оптимізації функціонування із застосуванням традиційних ПІД- регуляторів для керування приводами та нечітких регуляторів, які забезпечують рух до мети.

І, насамкінець, платформа має багато можливостей для удосконалення. Наприклад до платформи можна буде приєднати камеру для передавання зображення, або додати датчик температури чи вологості для збору атмосферних даних.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Getting Started with Microcontrollers [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://www.engineersgarage.com/> (дата звернення 20.05.2021 р.). – Назва з екрана.
2. Разработка и исследование архитектуры системы дистанционного управления бытовыми приборами [Electronic resource]. – Режим доступу: <http://masters.donntu.org/> (дата звернення 21.05.2021). – Назва з екрана.
3. Устройство дистанционного управления [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://ru.essays.club/> (дата звернення 21.05.2021). – Назва з екрана.
4. Устройство дистанционного управления реферат по информатике , Сочинения из Информатика [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://www.docsity.com/> (дата звернення 21.05.2021). – Назва з екрана.
5. What is the history of the remote control? [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://science.howstuffworks.com/> (дата звернення 21.05.2021). – Назва з екрана.
6. The Most common types of Remote Control [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://www.lripl.com/blogdetails/> (дата звернення 22.05.2021). – Назва з екрана.
7. Microcontroller Programming [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/> (дата звернення 22.05.2021). – Назва з екрана.
8. Microcontroller Programming [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://www.build-electronic-circuits.com/> (дата звернення 22.05.2021). – Назва з екрана.
9. Arduino/Genuino UNO [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/> (дата звернення 23.05.2021). – Назва з екрана.
10. Плата Arduino Uno R3: схема, описание, подключение устройств [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://arduinomaster.ru/> (дата звернення 23.05.2021). – Назва з екрана.
11. Bluetooth: технология и ее применение [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://www.ixbt.com/> (дата звернення 24.05.2021). – Назва з екрана.
12. Драйверы двигателя L298N, L293D и Arduino Motor Shield [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://arduinomaster.ru/> (дата звернення 25.05.2021). – Назва з екрана.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		60

13. MIT App Inventor: Objectives, Design, and Development [Electronic resource]. – Режим доступа <https://link.springer.com/> (дата звернення 26.05.2021). – Назва з екрана.
14. Arduino Documentation (Official) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/>
15. SoftwareSerial Arduino Library, usage and examples – Arduino.cc [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/learn/built-in-libraries/software-serial/>
16. AFMotor Library for Motor Shield – Adafruit [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://learn.adafruit.com/adafruit-motor-shield/library-install>
17. HC-05 Bluetooth Module Pinout, Datasheet & Specs – Components101 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://components101.com/wireless/hc-05-bluetooth-module>
18. Arduino Project Hub [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://projecthub.arduino.cc/>
19. Autodesk. Tinkercad Circuits [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.tinkercad.com/circuits>
20. Banzi M., Shiloh M. Getting Started with Arduino. — 3rd ed. — Maker Media, 2015. — 260 p.
21. Bluetooth RC Car 2. RoboRemo [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://roboremo.app/projects/arduino/arduino-bluetooth-rc-car-2>
22. 4 Wheeled Bluetooth Controlled Rc Car [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://projecthub.arduino.cc/aadidahiya13/4-wheeled-bluetooth-controlled-rc-car-0c9c29>
- 23.
24. Phone Bluetooth-Controlled RC Car [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://projecthub.arduino.cc/achyutayadunandan/phone-bluetooth-controlled-rc-car-c61d56?utm_source=chatgpt.com
25. Glenford J. Myers, Corey Sandler, Tom Badgett. The Art of Software Testing — John Wiley & Sons , 2011. — 256 p.
26. Pressman, R. S., Maxim, B. R. Software Engineering: A Practitioner's Approach — McGraw-Hill Education, 2020. — 950 p.
27. Kester, W. Sensor Interfacing and Signal Conditioning — Analog Devices,

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		61

2005. — 300 p.

28. StackExchange (Electronics/Arduino). Questions and Answers on Motor Control with L298N and Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronics.stackexchange.com/questions/>

29. Pololu. Motor Drivers and Controllers Overview [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pololu.com/category/11/motor-drivers-and-controllers>.

30. Robu.in. How to Interface DC Motor with Arduino? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://robu.in/how-to-interface-dc-motor-with-arduino/>.

31. Hackster.io. Remote Controlled Arduino Car with Android App [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.hackster.io/makerspaces/remote-controlled-arduino-car-with-android-app-438920>.

32. SparkFun. Bluetooth Basics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-low-energy-ble-with-arduino/all>.

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ДОДАТОК А. Код детектування радіомодему на шині даних мікро-
комп'ютера

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>

#define PWMA 5
#define INA1 2
#define INA2 3
#define INB1 4
#define INB2 7
#define PWMB 6
#define turningServoPin 8

SoftwareSerial bt(10, 11);
Servo turningServo;

int xAxis = 64;
int yAxis = 64;
bool forward;

void setup()
{
  pinMode(PWMA, OUTPUT);
  pinMode(INA1, OUTPUT);
  pinMode(INA2, OUTPUT);
  pinMode(INB1, OUTPUT);
```

					ХНТУ 174.КРМ.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		63

```

pinMode(INB2, OUTPUT);
pinMode(PWMB, OUTPUT);
turningServo.attach(turningServoPin);
bt.begin(9600);
Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  if (bt.available())
  {
    int input = bt.read();
    if (input > 100 && input < 200)
    {
      input = input - 100;
      xAxis = map(input, 32, 96, 0, 180);
      turningServo.write(xAxis);
    }
    else if (input > 200 && input < 300)
    {
      input = input - 200;
      if (input >= 64)
      {
        forward = true;
        input = input - 64;
      }
      else if (input < 64)
      {
        forward = false;

```

					ХНТУ 174.KPM.25.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		64

```

    }
    yAxis = map(input, 0, 32, 0, 255);
    moving(forward);
    setSpeed(yAxis);
  }
  delay(100);
}
else
{
  setSpeed(0);
  turningServo.write(90);
}
}

```

```

void moving(bool direction)
{
  digitalWrite(INA1, !direction);
  digitalWrite(INA2, direction);
  digitalWrite(INB1, !direction);
  digitalWrite(INB2, direction);
}

```

```

void setSpeed(int speed)
{
  analogWrite(PWMA, speed);
  analogWrite(PWMB, speed);
}

```