

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення програмного модуля для управління транспортним
засобом спеціального призначення
(тема)

Виконав:

Студент 3(прискореного) курсу, групи

АКТСІу-21-1

Мацько Дмитро В'ячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальності 151 Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Системна інженерія

(назва)

Керівник проф. кафедри КІТАР Цимбал О.М.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. Кафедри КІТАР

Невлюдов І. Ш.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет АКТ
Кафедра КІТАР
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Системна інженерія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедри КІТАР _____
(підпис)

« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Мацьку Дмитру В'ячеславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення програмного модуля для управління транспортним засобом спеціального призначення

Затверджена наказом університету від 20.05.2024 р. № 478 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 2024 р

3. Вихідні дані до роботи:

3.1 Пульти керування транспортним засобом спеціального призначення

3.2 Програмний модуль керування

3.3 Мова програмування C++

3.4 Середовище розробки Tinker Cad

3.5 Можливість дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз існуючих транспортних засобів спеціального призначення;

4.3 Розробка архітектури системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення;

4.4 Розробка програмного забезпечення системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення;

4.5 Висновки.

5. Графічний демонстраційний матеріал в форматі powerpoint(*.ppt) формату А4 –15 сторінок.

6. Консультанти розділів роботи

Іменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		Підпис	Дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих транспортних засобів спеціального призначення	08.04.24 – 16.04.24	виконано
2	Розробка архітектури системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення	16.04.24 – 27.04.24	виконано
3	Розробка програмного забезпечення системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення	01.05.24 – 04.05.24	виконано
6	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	28.05.24 – 13.06.24	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	26.05.24 – 13.06.24	виконано
8	Подання роботи на рецензію	14.06.24 – 16.06.24	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. Кафедри	17.06.24 – 18.06.24	виконано
11	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	19.06.24 – 20.06.24	виконано

Дата видачі завдання 08.04 2024 р.

Студент
(підпис)

Мацько Д. В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи
(підпис)

професор Цимбал О.М.
(посада, прізвище, ініціали)

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

«20» липня 2024 р.

Мацько Д. В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68 с., 27 рис., 2 дод., 10 джерел.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ, ПУЛЬТ КЕРУВАННЯ, ТЕСТУВАННЯ

Об'єкт розробки – система дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення.

Предмет розробки – розробка програмного забезпечення системи керування транспортним засобом спеціального призначення.

Мета розробки – розробка програмного модуля для дистанційного керування бульдозером та реалізація основних функцій керування ним.

Методи дослідження – моделювання роботи модулю дистанційного керування транспортом спеціального призначення за допомогою середовища Tinker Cad, а також тестування програмного забезпечення на відповідність технічним вимогам.

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз транспортів спеціального призначення. Розроблено архітектуру системи дистанційного керування транспортом спеціального призначення. Після цього було проведено тестування та оптимізацію розробленої системи.

У ході роботи було створено програмний модуль для дистанційного керування транспортом спеціально призначення. Розроблений програмний модуль забезпечує високу надійність та простоту дистанційного керування транспортом спеціального призначення на безпечній від нього відстані і може використовуватися у різних умовах навколишньої середовища.

ABSTRACT

The explanatory note: 68 p., 27 figures, 2 pp, 10 sources.

CONTROL SYSTEM, REMOTE CONTROL, CONTROL PANEL, TESTING

The object of development is a remote control system for a special purpose vehicle.

The subject of development is the development of software for the control system of a special purpose vehicle.

The purpose of the development is to develop a software module for remote control of a bulldozer and implement the main functions of its control.

Research methods – simulation of the operation of the special purpose vehicle remote control module using the Tinker Cad environment, as well as software testing for compliance with technical requirements.

In the qualification work, an analysis of special purpose vehicles was carried out. The architecture of the remote control system for special purpose vehicles has been developed. After that, the developed system was tested and optimized.

In the course of the work, a software module was created for remote control of special purpose vehicles. The developed software module provides high reliability and ease of remote control of a special purpose vehicle at a safe distance from it and can be used in various environmental conditions.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз транспортних засобів спеціального призначення.....	12
1.1 Аналіз конструктивних особливостей дорожньо-будівельного транспорту.....	12
1.2 Аналіз конструктивних особливостей транспорту сільськогосподарського призначення	16
1.3 Аналіз конструктивних особливостей транспортних засобів розмінування.....	18
2 Розробка архітектури системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення	26
2.1 Апаратні засоби систем віддаленого керування транспортними засобами	26
2.2 Програмні засоби систем віддаленого керування транспортними засобами	38
2.3 Архітектура системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення.....	40
2.4 Мехатронні засоби системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення	44
3 Розробка програмного забезпечення системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення	46
3.1 Розробка алгоритмічного забезпечення	46
3.2 Розробка програмного забезпечення системи дистанційного керування	47
3.3 Питання охорони праці та безпеки життєдіяльності	58
Висновки	60

Перелік джерел посилання	61
Додаток А Програмний код мікроконтролера Arduino Uno	62
Додаток Б Демонстраційний матеріал	67

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ІВО – інерційні вимірюючі одиниці;

ОСРЧ – операційні системи реального часу;

ПЛК – промисловий логічний контролер;

СВКТЗ – системи віддаленого керування транспортними засобами;

ТЗСП – транспортні засоби спеціального призначення;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

DTMF – Dual-Tone Multi-Frequency;

IMU – inertial measurement unit;

PLC – programmable logic controller;

RTOS – Real time operation system.

ВСТУП

Сучасні інформаційні технології відіграють вирішальну роль у багатьох галузях, включаючи транспорт. З розвитком технологій, управління транспортними засобами спеціального призначення, такими як пожежні автомобілі, швидка допомога, поліцейські машини та військовий транспорт, стає все більш автоматизованим та ефективним. Програмне забезпечення для управління такими транспортними засобами забезпечує підвищення рівня безпеки, точності та швидкості реагування на надзвичайні ситуації. Проектування програмного модуля для керування транспортом спеціального призначення є складним завданням, яке вимагає врахування багатьох факторів, таких як специфіка транспортних засобів, вимоги до безпеки, інтеграція з існуючими системами та надійність роботи в екстремальних умовах.

Проаналізувавши предметну область та тему роботи можна дійти висновку що предметом розробки є програмний модуль, який буде інтегрований у систему управління невеликим бульдозером. Цей модуль буде відповідальний за збір, обробку та аналіз даних про рух транспортного засобу, керування різними параметрами його роботи та забезпечення безпеки під час експлуатації. Також він може бути змінений для різних типів транспорту спец призначення, наприклад для екскаваторів на дистанційному керуванні які можуть знадобитися в умовах де не зможе працювати людина. Ще можливе використання модуля для керування транспортом виконуючим пасажирські перевезення.

На сучасному ринку існує багато варіантів різноманітних систем для дистанційного керування різними типами транспорту як спеціального призначення так і загального. Також існують системи керування спеціальним транспортом компанії Bobcat яка спеціалізується транспорті який призначений для будівництва та для складських приміщень.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка програмного модуля для дистанційного керування бульдозером та реалізація основних функцій керування ним.

Об'єктом розробки система дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення.

Предметом розробки є розробка програмного забезпечення системи керування транспортним засобом спеціального призначення.

Для досягнення мети планується розв'язання наступних задач:

- аналіз існуючих транспортних засобів спеціального призначення;
- розробка архітектури системи дистанційного керування транспортом спеціального призначення;
- розробка програмного забезпечення для системи дистанційного керування транспортом спеціального призначення;
- розглянути питання охорони праці.

1 АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Транспортні засоби спеціального призначення (ТЗСП) охоплюють широкий спектр машин, призначених для виконання специфічних задач у різних галузях, таких як будівництво, сільське господарство, комунальні служби, аварійно-рятувальні роботи тощо. Загальні конструктивні особливості ТЗСП:

- міцність і надійність, всі транспортні засоби спеціального призначення проектується для роботи в складних умовах та з великими навантаженнями;
- безпека, високі стандарти безпеки для запобігання аваріям і захисту операторів та навколишнього середовища;
- ефективність, спеціалізовані системи та механізми, що забезпечують високу продуктивність та точність виконання завдань;
- технічне обслуговування, полегшений доступ до основних вузлів для проведення регулярного технічного обслуговування та ремонту.

1.1 Аналіз конструктивних особливостей дорожньо-будівельного транспорту

Дорожньо-будівельний транспорт поділяється на:

- екскаватори;
- бульдозери;
- грейдери.

Зовнішній вигляд, конструкція, особливості можуть відрізнятися одне від одного залежно від сфери застосування цього транспорту. Існують такі види транспорту спеціального призначення та їх особливості:

а) екскаватори, використовуються для земляних робіт, копання котлованів або риття траншей, частіше всього мають гусенична або колісна база, змінні ковши та рухаються завдяки гідравлічним системам, для реалізації дистанційного контролю екскаватору потрібно реалізувати контроль не тільки пересування а й великої кількості гідравлічних осей для пересування ковша що є важким завданням, вигляд типового екскаватора показано нижче на рисунку 1.1, їх вигляд може змінюватися залежно від бази, ковшів та мети застосування;



Рисунок 1.1 – Вигляд типового екскаватора

б) бульдозери, використовуються загалом для переміщення ґрунту, грубого вирівнювання поверхні або розчищення території, завжди мають великий відвал з регулюючим кутом нахилу та майже завжди мають гусеничну базу для великою стабільності на нерівних поверхнях, для дистанційного керування потрібно реалізувати рух бази та зміну осі нахилу відвалу, вигляд типового бульдозера показано на рисунку 1.2;



Рисунок 1.2 – Вигляд типового бульдозера

Для реалізації дистанційного керування бульдозеру потрібно проаналізувати існуючі типи керування бульдозером. Загалом існує 2 типи кабіни керування бульдозер [6]:

– кермове керування де оператор здійснює керування транспортом за допомогою керма, управління такого типу складніше для реалізації дистанційного керування бульдозеру так як потрібно буде використовувати точні двигуни для управління кутом повороту керма, також для руху вперед або назад потрібно буде перемикає передачу та механічно натискати на педаль, приклад кермового управління показаний на рисунку 1.3;



Рисунок 1.3 – Приклад кермового типу керування бульдозеру

– джойстикове управління де оператор керує бульдозером використовуючи джойстики, такий тип керування дозволяє керувати бульдозером більш точно в складних умовах роботи чи місцевості, управління такого типу простіше в реалізації дистанційного керування бульдозера, так як можливо буде не перемикати передачу для руху вперед або назад і не потрібно буде використовувати окремий механізм для натискання педалі так як для руху вперед або назад потрібно буде замикати різні контакти що буде реалізовуватися через реле сигнал на яке буде надходити на пульт керування, приклад джойстикowego управління показано на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Приклад кермового типу керування бульдозеру

в) грейдери, використовуються для вирівнювання поверхонь, створення нахилів та схилів, мають регульований відвал для точного вирівнювання та колісну базу для високої маневреності, реалізація дистанційного керування грейдера подібна до бульдозеру але грейдер може використовуватися в обмежених видах робіт і має більш складну передню колісну базу, але має більш просту реалізацію керування рухом транспорту так як все грейдери мають лише колісну базу і невелика кількість має гусеничну базу, вигляд типового грейдера показано на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Вигляд типового грейдеру

1.2 Аналіз конструктивних особливостей транспорту сільськогосподарського призначення

Кожен тип транспорту сільськогосподарського призначення має свої специфічні конструктивні особливості, які обумовлені його функціональним призначенням. Сільськогосподарська техніка постійно вдосконалюється з метою підвищення ефективності, надійності та зручності в експлуатації. Це дозволяє забезпечити високопродуктивну роботу в різних агротехнічних умовах. Існують такі види та конструкційні особливості транспорту сільськогосподарського призначення:

а) трактори: використовуються для різних сільськогосподарських робіт, таких як оранка, косовиці та інші, можуть мати колісну або гусеничну базу, мають потужні двигуни, іноді мають можливість навішувати знаряддя праці або знімати їх, вигляд типового трактору показаний на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Вигляд типового трактора

б) комбайни. використовуються для збирання або обмолоту зерна та його транспортування, можуть мати різні знаряддя для виконання сільськогосподарської роботи, реалізація дистанційного керування так само доцільна як і реалізація дистанційного керування трактору але на відміну від трактору у комбайну потрібно ще додати реалізацію контролю за кутом нахилу самого комбайну, вигляд типового комбайна показаний на рисунку 1.7;



Рисунок 1.7 – Вигляд типового комбайна

1.3 Аналіз конструктивних особливостей транспортних засобів розмінування

Транспортні засоби розмінування є спеціалізованими машинами, призначеними для виявлення, знешкодження та видалення мін і вибухонебезпечних предметів (ВП) з різних територій. Їх конструктивні особливості спрямовані на забезпечення безпеки оператора, ефективність розмінування та адаптацію до складних умов експлуатації. Транспортні засоби розмінування поділяють на:

- броньовані машини розмінування;
- роботи розмінування;
- машини механічного розмінування;
- спеціалізовані транспортні засоби.

Нижче приведені типи машин розмінування та їх конструктивні особливості:

а) броньовані машини розмінування, конструктивні особливості броньованих машин розмінування:

- бронювання: машини обладнані броньованим корпусом для захисту від вибухів і осколків, бронювання забезпечує безпеку оператора і основних вузлів машини;
- дистанційне керування: для забезпечення безпеки оператор може керувати машиною на відстані за допомогою дистанційного пульта;
- гусеничний або колісний хід: гусеничний хід забезпечує високу прохідність на важко прохідних місцевостях, тоді як колісний хід є більш мобільним на дорогах;
- система виявлення: використовуються різні технології, такі як металошукачі, наземні радіолокаційні системи та оптичні сенсори для виявлення мін;

– робочі інструменти: машини оснащуються механічними плугами, катками, фрезами або гідравлічними маніпуляторами для знищення або видалення мін.

Для реалізації дистанційного керування за броньованими машинами розмінування потрібно розробити складний модуль для керування руху машини і це не доцільно так як частіше за все оператор видить всередині машини і частіше ці машини є достатньо герметичними для того щоб забезпечити високий рівень безпеки для оператора. Одним із прикладів броньованих машин розмінування може бути BMR-2 (див. рис 1.8).



Рисунок 1.8 – Броньована машина розмінування BMR-2

- б) роботи розмінування, конструктивні особливості:
- малий розмір, роботи розмінування мають компактні розміри для доступу до важкодоступних місць;
 - дистанційне керування, зазвичай керуються дистанційно оператором для мінімізації ризиків;
 - сенсорні системи, оснащені передовими сенсорами для виявлення вибухових пристроїв, включаючи інфрачервоні, ультразвукові та рентгенівські сенсори;

- маніпулятори, оснащені роботизованими руками або іншими інструментами для знешкодження та переміщення вибухових пристроїв;
- мобільність, можуть бути оснащені гусеницями або колесами для маневрування на різних типах поверхонь.

Роботи розмінування є цілком автономними і все вони мають систему дистанційного керування як рухом робота так і рухом маніпулятора на ньому так як вони з самого початку проектування проектуються для того щоб оператор знаходився на безпечній відстані від робота під час розмінування,

Одним із прикладів таких роботів може бути робот INSPECTOR компанії EOD/De-mining Robots. Нижче описано типове використання робота INSPECTOR.:

- огляд, транспортування та знешкодження небезпечних матеріалів;
- підтримка антитерористичних операцій;
- місії з високим ризиком небезпечних середовищ;
- охорона та нагляд за будівлею;
- співпраця з експертом або іншим роботом.

Зовнішній вигляд роботу INSPECTOR показано на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Робот INSPECTOR для розмінування

в) машини механічного розмінування, конструктивні особливості машин механічного розмінування:

- робочі інструменти: включають барабанні фрези, роторні ножі або інші механізми для механічного руйнування мін;
- висока потужність: потужні двигуни для забезпечення ефективної роботи в складних умовах, таких як щільний ґрунт або зарості;
- системи захисту: крім бронювання, можуть мати системи для мінімізації впливу вибуху на машину, такі як підвіски з амортизацією;
- автоматизація: деякі моделі мають частково або повністю автоматизовані системи управління для підвищення ефективності та безпеки операцій, одним із прикладів машин розмінування цього типу може бути Armtrac A400 компанії Armtrac Ltd, на рисунку 1.10 показано його зовнішній вигляд.



Рисунок 1.10 – Машина розмінування Armtrac A400

г) спеціалізовані транспортні засоби, конструктивні особливості спеціалізованих транспортних засобів:

- модифікації на базі звичайних транспортних засобів: наприклад, пікапи або вантажівки можуть бути переобладнані для розмінування, оснащені спеціальними сенсорами та захисними елементами;
- мобільні лабораторії: обладнані для аналізу вибухових речовин на місці, з усіма необхідними інструментами та обладнанням для забезпечення швидкої та точної роботи;
- підвищена прохідність: використовують поза шляхові шасі для роботи у важкодоступних місцевостях.

Проаналізувавши предметну область, тему роботи та різні види транспорту спеціального призначення можна дійти висновку що в ході роботи буде спроектовано програмний модуль який буде керувати бульдозером, який буде можливо використовувати при розмінуванні територій або при розгрібанні завалів тож. Основні функції проєтованого модуля:

- можливість дистанційного керування рухом бульдозера
- можливість керування кутом нахилу ковша
- можливість вимкнення чи вмикання зовнішнього освітлення
- можливість збільшення або зменшення швидкості руху бульдозера
- можливість екстреної зупинки бульдозера.

Можливість дистанційного керування бульдозера буде поділена на 2 частини: керування руху вперед або назад і керування поворотом бульдозеру. Ці функції розділюються так як органом керування бульдозера, до якого проєктується модуль, є джойстик на якому рух бульдозера вперед або назад здійснюється завдяки кнопки на джойстику керування. Ця кнопка показана на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 – Зовнішній вигляд кнопки керування бульдозеру

Керування поворотом бульдозера здійснюється за допомогою механічного повороту самого джойстика. Вигляд цього джойстику показаний на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд джойстику керування бульдозера

Керування кутом нахилу ковша бульдозеру вгору або вниз виконується за допомогою джойстику який розташований з іншого боку сидіння. Його зовнішній вигляд показано на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Зовнішній вигляд джойстику керування ковша бульдозеру

Вмикання або вимикання зовнішнього освітлення буде здійснюватися за допомогою реле на платі на яке буде подано керуючий сигнал що його ввімкне або вимкне.

Регулювання швидкості бульдозера буде виконано за допомогою ввімкнення чи вимкнення реле яке буде керувати маслonaпорною установкою, яка буде збільшувати чи зменшувати швидкість бульдозеру.

Для екстреного вимкнення модулю буде використано кнопку яка буде знаходитися ззовні на лівій стороні ззаду бульдозера. Ця кнопка буде зупиняти роботи модулю у випадках де потрібно вимкнути системи.

Цей модуль буде можливо демонтувати з одного бульдозера і використовувати на іншому бульдозері джойстиківого типу.

Розроблений модуль можливо буде використовувати у різних бульдозерах які зможуть виконувати різні задачі. Одним із прикладів бульдозерів на які можливо буде поставити такий модуль може бути броньований бульдозер Caterpillar D9 розроблений Міністерством Оборони Ізраїлю. Його зовнішній вигляд показано на рисунку 1.14.



Рисунок 1.14 – Зовнішній вигляд броньованого бульдозеру Caterpillar D9

Такий бульдозер з встановленим модулем дистанційного керування можливо буде використовувати у небезпечних умовах навколишньої середовища.

Метою даного проекту є розробка програмного модуля, який забезпечить ефективне управління транспортним засобом спеціального призначення. Зокрема, метою є створення зручного і функціонального інструменту, який дозволить керувати рухом транспортного засобу, контролювати його параметри та забезпечити безпеку оператора.

Об'єктом дослідження є система управління транспортним засобом спеціального призначення. Це включає в себе різноманітні аспекти, такі як функціональність транспортного засобу, його технічні характеристики, параметри безпеки та інші аспекти, які можуть впливати на ефективне управління.

2 РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРНИМ ЗАСОБОМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

2.1 Апаратні засоби систем віддаленого керування транспортними засобами

Системи віддаленого керування транспортними засобами (РКТЗ) використовуються для підвищення безпеки, ефективності та точності управління різними типами техніки. Такі системи включають різноманітні апаратні засоби, які забезпечують передачу, обробку та виконання команд на відстані. Нижче описано основні компоненти та функції систем дистанційного керування.

Механічний канал - використовується там, де об'єкти віддалені один від одного на порівняно невелику відстань або потрібно забезпечити миттєву неспотворену реакцію (наприклад, управління літальними апаратами, автомобілями).

Електричний канал має широке використання:

а) провідний канал – використовується там, де немає можливості застосувати бездротові канали (наприклад, через відсутність прямої видимості, наявності екранування, міркувань секретності і т, д,) або з міркувань вартості і перешкодозахищеності, такий канал використовується, головним чином, для управління системами мобільних об'єктів, обладнанням передатестаційних об'єктів, лабораторій, або спеціальних об'єктів (військового і іншого призначення);

б) радіоканал (радіоуправління) – використовується, головним чином, для управління рухомими об'єктами – радіокерованими спортивними моделями і іграшками, обладнанням для надзвичайних ситуацій (роботи і т, д,), безпілотними літальними апаратами (БПЛА), військовими мобільними

об'єктами; або в ситуаціях, коли передавач і приймач не можуть перебувати в зоні прямої видимості (системи освітлення або опалення, підйомники гаражних дверей і т. д.);

в) ультразвуковий канал – використовується не часто, для управління мобільними і стаціонарними об'єктами на порівняно невеликій відстані; інфрачервоний канал - використовується, як правило, для побутової електроніки.

Дистанційне управління складається з: передавача, приймача і виконавчих механізмів (реле, тяги і т.п.).

Одним із способів дистанційного керування є керування за допомогою мобільного телефону користувача. Таким чином ми можемо переміщувати транспортний засіб у потрібному напрямку відповідно до наших вимог. Використовуючи компактний двотональний багаточастотний (DTMF) декодер, а транспортний засіб, керується мережею GSM, яка організовує перемикання від декодованого пристрою та пристрою перемикання живлення для керування моторним приводом транспортного засобу за допомогою двох стільникових телефонів.

Існують такі компоненти систем дистанційного керування транспортом:

а) контролери та процесори:

– мікроконтролери, відповідають за обробку команд від оператора та управління різними системами транспортного засобу, прикладами можуть слугувати Arduino, STM32, ESP32;

– промислові логічні контролери (ПЛК) (PLC), використовуються для управління складними системами і забезпечують високу надійність в промислових умовах, прикладами можуть слугувати контролери Siemens S7, Allen-bradley;

б) комунікаційні модулі:

– модулі зв'язку (модеми), забезпечують передачу даних між віддаленим транспортним засобом і центром управління через різні мережі (GSM, LTE, WI-FI), прикладами можуть слугувати Gsm/Gprs модеми, Lte модеми, Wi-Fi модулі (Esp8266);

– модулі супутникового зв'язку, використовуються для передачі даних в умовах, де немає покриття мобільних мереж, прикладами можуть слугувати iridium, inmarsat;

в) датчики та сенсори:

– GPS модулі забезпечують точне позиціонування транспортного засобу та відстеження його руху, прикладами можуть слугувати u-blox neo, quectel l86;

– інерційні вимірювальні одиниці (ІВО) (IMU), вимірюють прискорення, кутові швидкості та орієнтацію транспортного засобу, прикладами можуть слугувати MPU-9250, Bosch BNO055;

– датчики об'єктів (lidar, камери, ультразвукові датчики), використовуються для виявлення перешкод та об'єктів навколо транспортного засобу для забезпечення безпеки, прикладами можуть слугувати velodyne lidar, intel realsense, maxbotix ультразвукові датчики;

г) активатори та виконавчі механізми, їх поділяють на:

– електроприводи, які виконують команди управління, перетворюючи їх на механічний рух (рульове управління, педалі, важелі), прикладами можуть слугувати серводвигуни, крокові двигуни;

– гідравлічні та пневматичні системи, які застосовуються в будівельній та сільськогосподарській техніці для управління великими навантаженнями, прикладами можуть слугувати гідравлічні циліндри, пневматичні приводи;

д) інтерфейси управління, їх поділяють на:

– операційні панелі, які забезпечують інтерфейс для оператора з візуалізацією даних та можливістю ручного управління, прикладами можуть слугувати НМІ (human machine interface) панелі;

– дистанційні пульти управління, які дозволяють оператору керувати транспортним засобом на відстані з використанням радіосигналів або через інтернет;

е) системи живлення, забезпечують автономне живлення систем віддаленого керування;

є) програмне забезпечення та алгоритми:

- операційні системи реального часу (RTOS), що забезпечують стабільну та надійну роботу системи управління у реальному часі, приклади: Freertos, Vxworks;

- алгоритми керування, що реалізують логіку прийняття рішень та управління рухом транспортного засобу, приклади: PID-регулятори, алгоритми машинного навчання для автономного водіння.

Проаналізувавши різні види зв'язку та варіанти його реалізації було обрано що для реалізації дистанційного керування бульдозера потрібно буде обрати пульт керування, технологію за якою буде обрано приймач що дасть можливість дистанційно керувати бульдозером джойстиком типу, та мікроконтролер який зможе обробляти інформацію, яка надходить з приймача.

Проаналізувавши існуючі рішення було обрано що мікроконтролером буде один із підвидів мікроконтролерів Arduino. Arduino є однією з найпопулярніших платформ для розробки та реалізації електронних проектів. Мікроконтролери Arduino характеризуються простотою використання, гнучкістю та широкими можливостями для інтеграції з різними датчиками та виконавчими механізмами. Розглянемо основні характеристики та можливості мікроконтролерів Arduino [7].

Arduino Mega є одною з мікросхем яка базується на мікроконтролері ATmega2560 (рис. 2.4). Вона має 54 цифрових входів/виходів, з яких 14 можуть використовуватися для ШІМ, а також має 16 аналогових входів і 4 послідовних порти UART. Крім цього, плата містить кварцовий генератор на 16 МГц, USB-конектор, роз'єм живлення, роз'єм ICSP та кнопку перезавантаження.

Є можливість підключення комп'ютера через USB-кабель або забезпечити живлення за допомогою адаптера AC/DC чи акумулятора.

Зовнішній вигляд Arduino Mega показано на рисунку 2.1. Основні характеристики наведено в таблиці 2.1.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд Arduino Mega

Таблиця 2.1 – Основні характеристики Arduino Mega

Мікроконтролер	АТmega2560
Кількість цифрових входів/виходів	54
Кількість аналогових входів	16
Робоча напруга	5В
Тактова частота	16 МГц
ОЗУ	8 Кб
Флеш-пам'ять	256 Кб
Розмір	10.15 см x 5.33 см

Мікроконтролер Arduino Nano, яка базується на АТmega328 або АТmega168 , на відміну від інших видів Arduino має невеликі розміри та меншу кількість пам'яті.. Основні відмінності полягають у відсутності роз'єму для живлення постійного струму та використанні кабелю Mini-B USB для підключення. Платформа Nano була розроблена та продається компанією

Gravitech. Зовнішній вигляд Arduino Nano показано на рисунку 2.2. Основні характеристики наведено в таблиці 2.2.

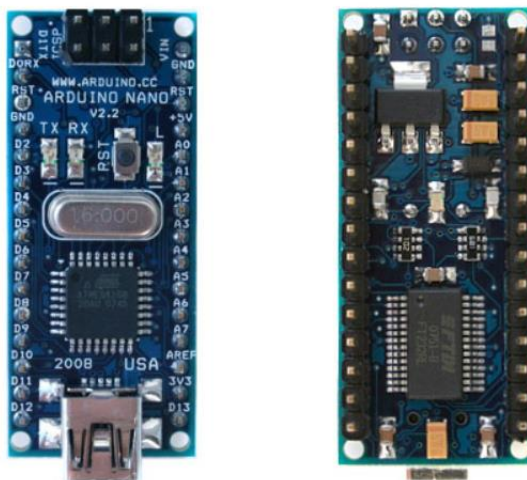


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд Arduino Nano

Таблиця 2.2 – Основні характеристики Arduino Nano

Мікроконтролер	Atmel ATmega168 або ATmega328
Кількість цифрових входів/виходів	14
Кількість аналогових входів	8
Робоча напруга	5В
Тактова частота	16 МГц
Флеш-пам'ять	16 Кб (ATmega168) або 32 Кб (ATmega328)
ОЗУ	1 Кб (ATmega168) або 2 Кб (ATmega328)
Розмір	1.85 см x 4.2 см

Мікроконтролер Arduino Uno, який базується на ATmega328. Має 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 можуть використовуватися для широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), і 6 аналогових входів. Він працює частоті 16 МГц, оснащений роз'ємом USB для підключення до комп'ютера, силовим роз'ємом для

живлення, роз'ємом ICSP для програмування та кнопкою перезавантаження. Основні характеристики наведено в таблиці 2.3.



Рисунок 2.3 – Arduino UNO

Таблиця 2.3 – Основні характеристики Arduino UNO

Мікроконтролер	ATmega328
Кількість цифрових входів/виходів	14
Кількість аналогових входів	6
Робоча напруга	5В
Тактова частота	16 МГц
ОЗУ	2 Кб
Флеш-пам'ять	32 Кб
Розмір	6.8 см x 5.3 см

Зв'язок між приймачем та пультом керування здійснюється з використанням радіосигналу окремої частоти. Після приймання сигналу приймач перетворює цей сигнал у 2 види сигналу:

- ШІМ сигнал;
- сигнал протоколу ACCESS.

Сигнал Широтно-Імпульсної Модуляції (ШІМ) представляє собою сигнал де для передачі інформації у ШІМ сигналі змінюється довжина імпульсів у сигналі. ШІМ сигнал переданий з радіо приймачів які можуть бути використані в реалізації дистанційного керування бульдозера описані нижче:

- довжина логічної 1-ці;
- довжина логічного 0-я.

Також ШІМ сигнал має скважність або коефіцієнт заповнення. Скважність характеризує величину модуляції. Так як частота імпульсів постійна то період T також постійний. Період складається з суми тривалості логічної 1 та 0. Скважність це відношення тривалості імпульсів до періоду.

Формула скважності:

$$S = \frac{t_i}{T} \quad (2.1)$$

де t_i – тривалість логічної 1;

T – період.

Приклад звичайного ШІМ сигналу показаний на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Приклад ШІМ сигналу

Однією із переваг використання ШІМ сигнал може бути його високий висока надійність та простота його передачі на мікроконтролер так як він не потребує окремих перетворювачів для передачі у мікроконтролер. Також він простий в обробці на мікроконтролері так як більшість мікроконтролерів має можливість зчитувати ШІМ сигнал. ШІМ сигнал має велику чутливість і точність значень та велику надійність.

Для реалізації дистанційного керування бульдозеру потрібно проаналізувати існуючі пульти керування та приймача радіосигналу які підійдуть до умов експлуатації системи.

Проаналізувавши існуючі пульти керування та приймачі для реалізації дистанційного керування було обрано пульт і приймач радіо сигналу FlySky CT6B 2.4GHz який показаний на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Пульт та приймач FlySky CT6B 2.4GHz

Характеристики цього пульта та приймача показані на таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики FlySky CT6B 2.4GHz

Характеристика	Значення
Радіоканали	6
Радіодіапазон	2,4 GHz
Система передачі даних	AFHDS
Порт симулятора	роз'єм PS2 з PPM модуляцією
Живлення передавача	12 В (8 батарей AA 1.5В)
Максимальна відстань	2 км

Для використання ШІМ приймача та пульта потрібно проаналізувати схеми підключення приймача до мікроконтролера. Схема підключення приймача показана на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Схема підключення приймача радіосигналу

Приймач має 6 стовбців каналів. Кожен за каналів відповідає за свою команду на пульті керування. Верхній та середній канали в стовбці відповідають

за живлення + та -. Вони можуть житися від мікроконтролера або від окремого живлення.

В даній ситуації для підключення приймача до мікроконтролера живлення приймача буде здійснюватися від мікроконтролера по піну 5B та GRD. Всі піни живлення + будуть замкнені та підключені до живлення 5B. Всі піни живлення – будуть також замкненні, але підключені до піна живлення GRD.

Нижній порт передавача передає сигнал у вигляді ШІМ. Кожний канал ШІМ відповідає за свій тумблер на пульті.

Перший канал відповідає за рух лівого джойстика вгору або вниз. При передаванні його стану по ШІМ сигналу зчитуватися буде довжина логічної 1-ці або 0-я. Довжина імпульсів може бути в діапазоні від 500 до 1500. У середньому положенні джойстика довжина імпульсів буде дорівнювати 1000мс. При пересуванні джойстика в крайнє верхнє або крайнє нижче положення буде змінюватися довжина імпульсів. Довжина імпульсів 500мс відповідає за нижнє положення а 1500мс за верхнє. Це значить що для реалізації руху бульдозера потрібно буде зчитувати довжину цих імпульсів.

Другий канал відповідає за стан лівого джойстика вліво або вправо. ШІМ сигнал, який надходить від нього, повністю аналогічний сигналу на першому контакту але відповідає за стан джойстика ліворуч або праворуч.

Перший та другий контакти будуть відповідати за рух бульдозера вперед, назад, ліворуч або праворуч.

Третій та четвертий контакт аналогічний першому та другому але відповідають за лівий джойстик. Третій контакт буде використовуватися для регулювання кута нахилу ковшу вгору або вниз. Інформація з четвертого каналу не буде використовуватися так як в системі не реалізовано кут повороту ковшу ліворуч або праворуч.

П'ятий контакт відповідає за значення з лівого тумблера зверху джойстика і ШІМ сигнал з нього аналогічний іншим контактам але цей тумблер має лише 3 положення: верхнє, середнє та нижнє. Цей тумблер буде відповідати за

вимкнення та вимикання зовнішнього світла що допоможе використовувати бульдозер у нічних умовах.

Шостий контакт аналогічний п'ятому але відповідає за правий тумблер і цей контакт буде відповідати за вимикання чи вмикання маслонапорної установки що дозволить збільшувати чи зменшувати швидкість руху бульдозера. Якщо ввімкнути маслонапорну установку тоді швидкість руху бульдозера зменшить і навпаки.

Сигнал протоколу ACCESS використовується в пультах радіокерування більш складніший в реалізації зв'язку між приймачем та мікроконтролером. Протокол ACCESS частіше за все використовується в пультах дистанційного керування. На відміну від приймачів радіосигналу з ШІМ приймачі на цьому протоколі потребують додаткового обладнання яке буде перетворювати сигнал з приймача на сигнал який зможе читати мікроконтролер.

Головним плюсом приймачів з протоколом ACCESS є те що вони дозволяють передавати більшу кількість команд так як через протокол ACCESS передається команда на приймач і для кожного рухомого модуля чи кнопки на пульті не потрібно виділяти окремий канал передачі даних що дозволяє при тій самій кількості каналів реалізовувати більшу кількість команд.

Головним мінусом приймачів з протоколом ACCESS є те що вони потребують додаткових перетворювачів які будуть перетворювати команди, отримані по радіосигналу на простий сигнал, який зможе зчитувати мікроконтролер, що збільшує вартість системи.

Приймачі та пульти з протоколом ACCESS також підходять до використання у системі дистанційного керування бульдозера але не мають сенсу так як існує невелика кількість команд. Їх можливо буде використовувати в майбутньому в разі апгрейду системи для додавання більшості кількості команд.

2.2 Програмні засоби систем віддаленого керування транспортними засобами

Існує безліч програмних засобів для систем віддаленого керування транспортними засобами (СВКТЗ). Вони використовуються для виконання різноманітних задач, починаючи від розробки СВКТЗ закінчуючи контролем та керуванням цієї системи. Вони визначають характер системи, як вона буде керуватися, ким, які зможе виконувати функції та які можливості вона буде мати.

Класифікація програмного забезпечення для дистанційного контролю системи керування бульдозеру показана на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Класифікація програм дистанційного керування

Програмне забезпечення для дистанційного керування ділиться на програми з візуальним інтерфейсом та без візуального інтерфейсу.

Програми з візуальним інтерфейсом це програми які дають змогу передавати дані з поточного стану системи у до оператора що дозволяє стежити за положенням або станом системи на даний момент.

Комп'ютерні програми для дистанційного керування транспортом спеціального призначення використовуються в системах які дозволяють виконувати повний контроль над транспортним засобом включаючи всі функції транспорту. Ці системи мають не високу мобільність так як частіше за все вони будуються на базі персонального комп'ютера з додаванням окремих модулів які імітують керування окремим транспортом. Такі системи проектуються для конкретного транспорту і частіше за все не мають змогу з демонтажу з одного транспорту і монтажу на інший.

Мобільні додатки для дистанційного керування транспортом мають більш високу мобільність і дають змогу спостерігати за поточним станом системи але не мають високий рівень контролю над транспортним засобом, так як вони обмежені мобільним пристроєм і його невеликим розміром. Частіше за все, такі додатки використовують для керування невеличкими дронами.

Окремі системи дистанційного керування представляють собою системи де повністю на базі якогось мікропроцесора будується система для дистанційного керування транспорту. Вони мають досить високий рівень контролю над системою і досить високу мобільність на відміну від комп'ютерних програм, але також вони набагато дорожчі ніж любі інші системи.

Системи без візуального інтерфейсу частіше за все або повністю автоматичні роботи або системи дистанційного контролю де оператор має пряму видимість транспорту і може бачити його поточне положення і стан.

Автоматичні це загалом роботи які не потребують ніякого контролю людини. Вони самі аналізують свій поточний стан і положення. Такі системи проектуються частіше за все з нуля і в деяких випадках може бути додана функція контролю оператора над транспортом.

Керовані системи дистанційного керування без візуального інтерфейсу це системи в яких оператор має пряму видимість над системою. Такі системи можуть мати різний рівень контролю і мобільність але оператор повинен знати про поточний стан системи щоб керувати нею.

Розробка системи віддаленого керування транспортним засобом починається з вибору типу керування над системою.

В ході проектування системи дистанційного контролю бульдозеру було вирішено що система буде проектуватися без візуального інтерфейсу. На даний час система не має можливості передавати візуальний стан системи тож оператор повинен бути на відстані прямого зору до транспорту але на достатньо безпечній відстані.

В майбутньому можливий апгрейд з додаванням системи передачі зображення з камер, доданих зсередини кабіни що дозволить стежити за поточним положенням транспорту.

Для роботи та обробки ШІМ сигналу який надходить с приймача радіосигналу потрібно буде використовувати функцію яка дозволяє зчитувати ШІМ сигнал який надходить на якийсь вхід.

Оскільки буде використовуватися мікроконтролер Arduino, який має вбудовану функцію, яка може зчитувати довжину імпульсів ШІМ сигналу `pulseIn` (Пін на який надходить ШІМ сигнали, Тип логічного оператора(HIGH або LOW)) завдяки якій можливо буде зчитувати поточний стан джойстика.

Для передачі декодованого сигналу буде використано функцію `Serial.println`(рядок). Рядок буде сформований після декодування та обробки ШІМ сигналу.

2.3 Архітектура системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення

Архітектура системи потрібна для визначення з принципом роботи цієї системи та для виявлення перших помилок при проектуванні цієї системи. Вона

повинна бути достатньо розгорнута для того що бути зрозумілою для подальшої розробки системи дистанційного керування транспортним засобом. Вона потрібна для того щоб визначити окремі механізми і технології за якими буде розроблятися система. Повна архітектура системи дистанційного керування складається з програмного та мехатронного модулів.

Програмний модуль являє собою мікроконтролер який отримує ШІМ сигнал з вихідних контактів приймача, обробляє сигнал та перетворює його на окремі команди для мехатронного модулю та окремих механізмів які будуть виконувати ту чи іншу роботу.

Архітектура системи дистанційного керування бульдозеру показана на рисунку 2.8.

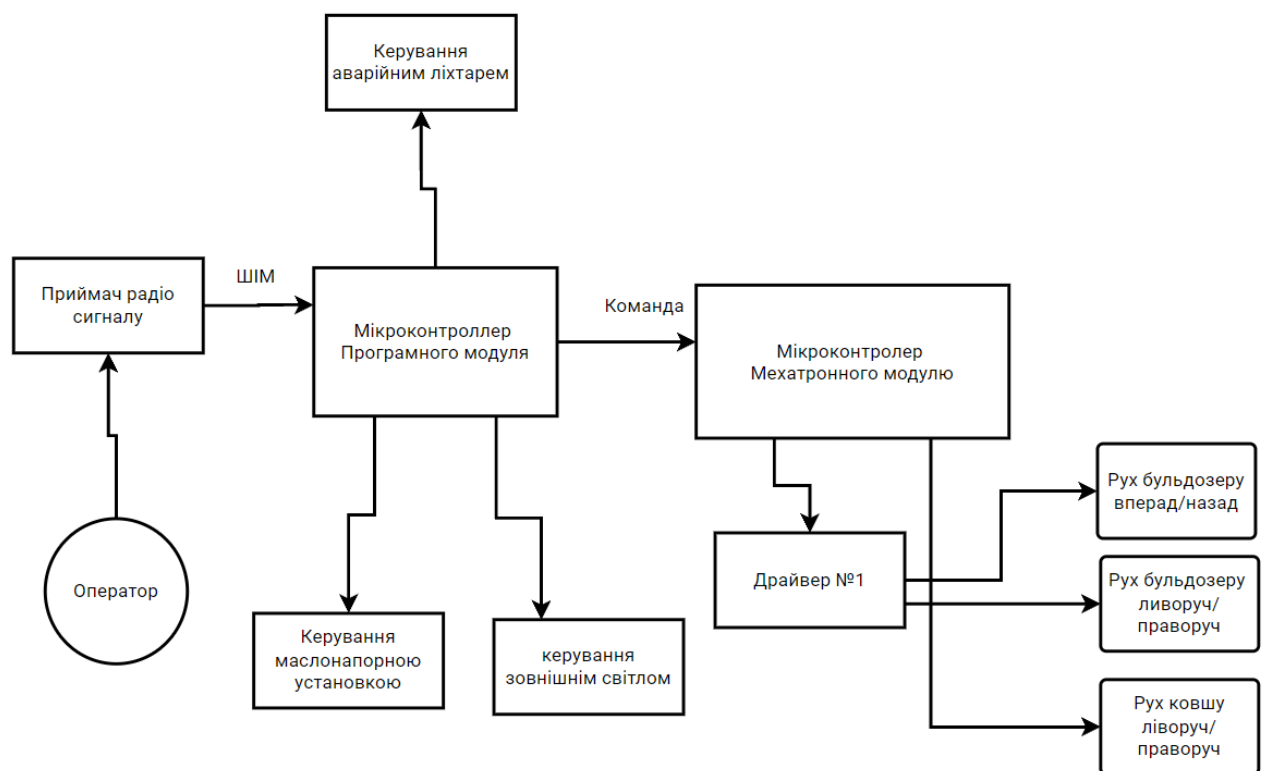


Рисунок 2.8 – Архітектура системи дистанційного керування

Оператор на відстані від бульдозера керує с пульта. Далі сигнал з пульта передається на приймач який перетворює сигнал у сигнал ШІМ який передається на мікроконтролер котрий зчитує сигнал і обробляє його і залежно від каналу і

значення мікроконтролер вирішує яку команду передавати через СОМ порт на інший мікроконтролер який відповідає за мехатронну частину. Команда складається з адреси драйвера який буде керувати джойстиком всередині кабіни, коду функції який відповідає за команду і значення розкодованого ШІМ сигналу. Значення розкодованого ШІМ сигнал передається на випадок майбутнього апгрейду так як на даний момент бульдозер не має точності так як контакти керування бульдозеру замикаються або розмикаються тож мають значення 1 або 0. Приклад команди показаний на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Приклад команди

Як зображено на рисунку, спочатку йде адреса драйвера, який буде керувати окремим джойстиком всередині кабіни. Після адреси йде код, який відповідає за конкретну команду, наприклад за команду руху бульдозеру вперед або назад. Після коду команди йде значення, яке отримано при декодування ШІМ сигналу. Воно додано на випадок апгрейду системи для підвищення точності руху, який може бути реалізованим у майбутньому.

На даний момент у схемі реалізовано 2 драйвери, де перший керує рухом бульдозеру вперед та назад, а другий керує рухом системи дистанційного керування.

Адреса 1 означає подачу команди на перший драйвер, який відповідає за рух бульдозера вперед або назад.

За адресу 2 відповідає драйвер, який керує кутом нахилу бульдозерного ковша вгору або вниз.

Код функції відповідає за конкретну команду які повинна виконатися конкретним драйвером. Загалом існує 7 кодів команд, які передаються з програмного модуля на мехатронний:

- коди 11, 12, відповідають за рух бульдозера вперед або назад;
- коди 21, 22, відповідають за рух бульдозера ліворуч або праворуч;
- код 23, відповідає за повернення положення джойстику всередині кабіни у центральне положення, коди цієї команди передаються постійно коли джойстик на пульті керування знаходиться у середньому положенні;
- коди 31, 32, відповідають за зміну кута нахилу ковша бульдозера вгору або вниз.

Значення, яке було декодовано з ШІМ сигналу, передається на мехатронний модуль для більш точного керування транспортом, але наразі більш точне керування транспортом неможливе, так як для керування джойстиками всередині кабіни замикаються чи розмикаються контакти для керування за допомогою реле.

Мікроконтролер програмного модуля також повинен буде виконувати роботу за контролю коректності виконаних команд. Після відправки повного командного рядка мікроконтролер буде очікувати у відповідь такий самий рядок від мікроконтролера мехатронного модулю, і в випадку, якщо він не отримає відповідь, він зупинить передачу всіх команд, поки не буде натиснено зовнішню кнопку, що запустить систему та вимкне зовнішній аварійний ліхтар, щоб попередити людей навколо, що система не працює.

Мікроконтролер, оброблюючи ШІМ сигнал, також дозволить ввімкнути або вимкнути зовнішнє світло, що дозволить працювати в умовах низької освітленості.

Ще мікроконтролер дозволяє вмикати або вимикати маслонапорну установку, що дозволить підвищувати або зменшувати потужність двигуна.

При екстрених випадках, якщо потрібно зупинити систему, кнопка, яка запускає систему в разі неполадок, дозволяє зупинити її, і при передачі сигналу не будуть створюватися команди керування на мехатронний модуль.

Схема архітектури програмного модулю для дистанційного керування бульдозера показана на рисунку 2.10.

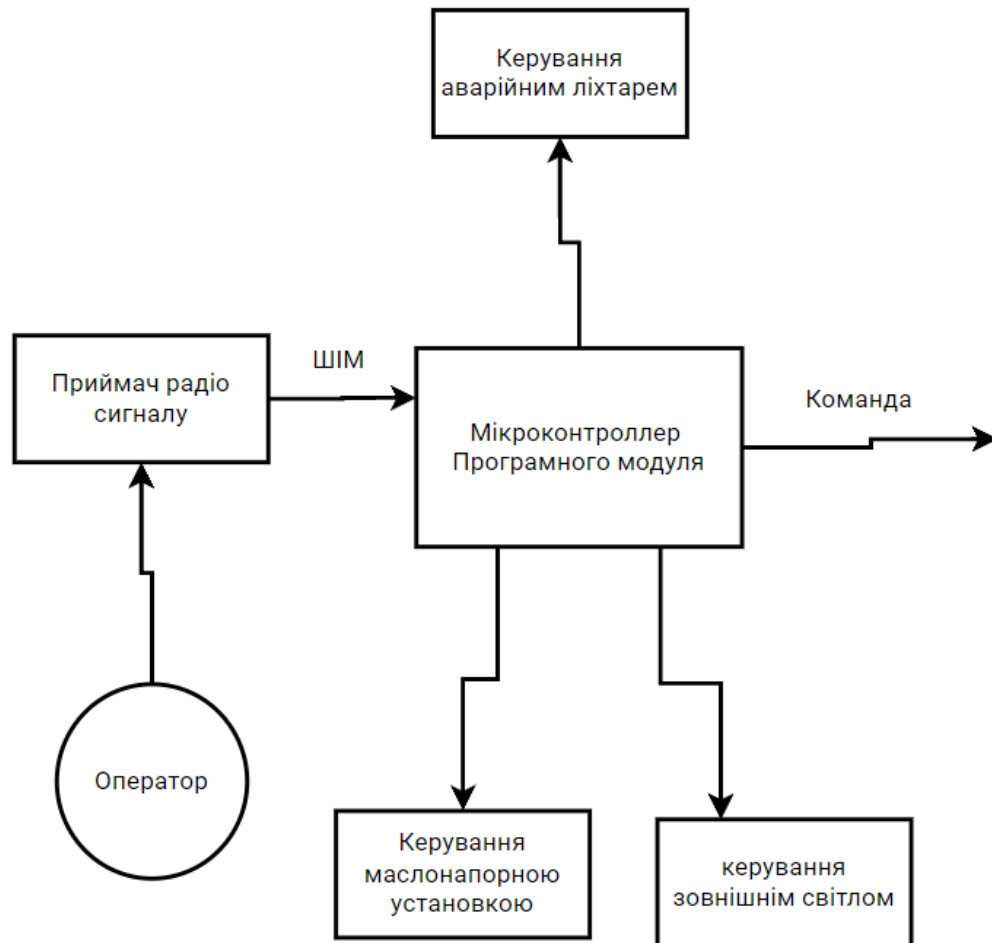


Рисунок 2.10 – Схема архітектури програмного модуля

2.4 Мехатронні засоби системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення

Мехатронні засоби в системі дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення включають різноманітні електронні, механічні та програмні компоненти, що працюють разом для забезпечення безпечного та ефективного керування.

Засоби системи дистанційного керування транспортним засобом поділяють на:

- електронні керуючі пристрої;
- датчики та вимірюючі пристрої;
- актуатори та приводи;
- камери та сенсори спостереження.

Електронні керуючі пристрої включають мікроконтролери, контролери приводів, програмовані логічні контролери та інші електронні пристрої, які відповідають за обробку сигналів та керування приводами рульового управління, гальмами, рухомими механізмами тощо. Система дистанційного керування включає мікроконтролер Arduino, декілька реле, які будуть замикати чи розмикати контакти для керування або інших дій, пульт керування та приймач радіосигналу.

Датчики та вимірюючі пристрої включають в себе датчики швидкості, тиску, температури, рівня палива, відстані та інші вимірювальні пристрої, що надають інформацію про стан транспортного засобу та його оточення.

Актуатори та приводи включають сервоприводи, гідравлічні приводи, пневматичні циліндри та інші механічні пристрої, які забезпечують фізичне переміщення елементів керування відповідно до команд від системи керування. У проєктованій системі дистанційного керування бульдозера актуатором буде серводвигун, який буде здійснювати керування бульдозером ліворуч або праворуч.

Камери та сенсори спостереження використовуються для візуального спостереження та отримання інформації про оточення транспортного засобу. Це може включати веб-камери, камери нічного бачення, радары та інші сенсори. На даний момент у проєкті не існує системи спостереження за поточним положенням бульдозера.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРНИМ ЗАСОБОМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розробка програмного забезпечення для системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення вимагає комплексного підходу, який включає як апаратну, так і програмну частини.

3.1 Розробка алгоритмічного забезпечення

Розробка алгоритмічного забезпечення для системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення передбачає створення та оптимізацію алгоритмів, які забезпечують ефективне та надійне управління транспортним засобом.

Першим етапом розробки алгоритмічного забезпечення є визначення функціональних вимог системи. Основними вимогами системи дистанційного є функції які повинна буде виконувати система. Основними функціями системи дистанційного керування бульдозера є:

- рух вперед, назад або зупинка;
- поворот бульдозера ліворуч або праворуч;
- зміна кута нахилу ковшу вгору або вниз;
- можливість керування зовнішнього освітлення;
- можливість керування маслосилової установки;
- можливість екстреної зупинки в разі необхідності.

Рух вперед або назад виконується в випадку зміни положення лівого джойстика на пульті керування вгору або вниз. Поворот бульдозера ліворуч або праворуч буде здійснюватися за допомогою керування тим самим джойстиком ліворуч або праворуч.

За зміну кута нахилу ковшу буде відповідати правий джойстик на пульті керування.

Для вмикання або вимикання зовнішнього освітлення буде використовуватися лівий тумблер зверху джойстика.

Для вмикання або вимикання зовнішнього освітлення буде використовуватися правий тумблер зверху джойстика.

Після визначення основних вимог йде етап створення алгоритмів роботи та виконання основних функцій.

Після вмикання системи пульт керування у поточному режимі використовуючи радіосигнал передає поточний стан кожного з регуляторів на радіоприймач на окремій частоті сигналу. Після отримання сигналу приймач передає стан кожного з регуляторів по виділеному для кожного регулятора каналу у вигляді ШІМ сигналу. Цей ШІМ сигнал надходить на окремі піни мікросхеми Arduino на піни, кожний з яких відповідає за окремий вихідний контакт приймача радіосигналу.

Після того як оператор на дистанції від бульдозера змінює положення джойстиків змінюється ШІМ сигнал переданий з приймача радіосигналу. Після отримання ШІМ сигналу, він декодується. Після декодування отримуються характеристики цього ШІМ сигналу і в випадку якщо ці характеристики відрізняються від характеристик за замовчуванням формується команда залежно від контакту виходу і характеристик сигналу.

3.2 Розробка програмного забезпечення системи дистанційного керування

Розробка програмного забезпечення для дистанційного керування бульдозера починається з аналізування кількості оброблених команд та розбиття на окремі блоки для керування системи дистанційного керування. Розробка програмного модулю дистанційного керування бульдозера буде виконуватися на

мові програмування C++, так як вона має досить високі можливості і сумісний майже зі всіма платформами типу Arduino [4].

Повний програмний код програмного модуля показаний у додатку А.

Функціональні блоки реалізовані в системі дистанційного керування бульдозеру описані нижче:

- блок створення змінних пінів;
- блок створення змінних для майбутнього використання;
- блок ініціалізації пінів;
- блок зчитування стану аварійної кнопки;
- блок декодування ШІМ сигналу;
- блок зчитування для створення команди руху вперед або назад;
- блок створення команди повороту ліворуч, праворуч;
- блок створення команди зміни кута нахилу ковша вгору або вниз;
- блок керування зовнішнім освітленням;
- блок керування маслonaпорною установкою.

Всередині блоку створення пінів створюються змінні які будуть відповідати за кожний номер піну на мікросхемі. Пінам вихідних контактів з приймача радіо сигналу відповідають піни 3, 5, 6, 9, 10, 11 на мікросхемі Arduino, так як тільки ці піни на мікросхемі підтримують ШІМ сигнал. Також створюються піни які будуть відповідати за передачу сигналу на реле які будуть вмикати або вимикати зовнішнє світло та маслonaпорну установку. Створені змінні та прив'язані до них піни показані на таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Створені змінні, їх тип даних та значення

Назва змінної	Тип даних змінної	Значення
MoveStBackPwmPin	int	3
MoveRtLtPwmPin	int	5
BuckedUpDnPin	int	6
LightSwitch	int	9

Продовження таблиці 3.1

Назва змінної	Тип даних змінної	Значення
OisSwPin	int	10
LightPin	int	11
OilUnitPin	int	4
warningPin	int	7
buttonPin	int	8

Всередині блоку створення змінних для майбутнього використання знаходяться такі змінні як змінні довжин імпульсів у які буде записуватися довжина імпульсів логічних 1 або 0 після декодування ШІМ сигналів з радіоприймача. Також у блоку записані змінні які будуть використовуватися для зчитування стану зовнішньої кнопки для зупинки системи та змінна які відповідає за поточний стан системи. Створені змінні та їх значення показані у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Змінні блоку змінних для майбутнього використання.

Назва змінної	Тип даних	Значення за замовчуванням
StBcH	unsigned int	0
RtLtH	unsigned int	0
BUpDnH	unsigned int	0
LightSH	unsigned int	0
OilSH	unsigned int	0
buttonState	int	0
isWorking	bool	true

У змінні StBcH, RtLtH, BUpDnH, LightSH, LightSH, OilSH будуть записуватися значення довжини імпульсів логічної 1-ці.

Змінна `buttonState` потрібна для зчитування поточного стану зовнішньої кнопки яка потрібна для екстреної зупинки системи.

Змінна `isWorking` записує в собі поточний стан системи.

Блок ініціалізації пінів складається з задання створеним пінам стану вхідних або вихідних контактів. Відношення пінів до їх стану показано на таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Ініціалізація пінів та їх стан

Змінна піна	Стан піна
<code>MoveStBackPwmPin</code>	INPUT
<code>MoveRtLtPwmPin</code>	INPUT
<code>BuckedUpDnPin</code>	INPUT
<code>LightSwitch</code>	INPUT
<code>OisSwPin</code>	INPUT
<code>LightPin</code>	OUTPUT
<code>OilUnitPin</code>	OUTPUT
<code>warningPin</code>	OUTPUT
<code>buttonPin</code>	INPUT

Піни `MoveStBackPwmPin`, `MoveRtLtPwmPin`, `BuckedUpDnPin`, `LightSwitch`, `OisSwPin` відповідають номери контактів на мікросхемі на які будуть надходити ШІМ сигнали з приймача радіосигналу. Пін `MoveStBackPwmPin` відповідає за рух бульдозера вперед або назад. Пін `MoveRtLtPwmPin` відповідає за поворот бульдозера ліворуч або праворуч. Пін `BuckedUpDnPin` відповідає за зміну кута нахилу ковша вгору або вниз. Пін `LightSwitch` та `OisSwPin` відповідають за сигнали ввімкнення або вимкнення зовнішнього освітлення та маслонапорної установки.

Піни `LightPin`, `OilUnitPin` відповідають за вихідні піни реле, які будуть керувати зовнішнім освітленням та маслонапорною установкою.

Блок зчитування стану аварійної кнопки потрібен для ситуацій коли потрібно екстрено вимкнути системи. Алгоритм цього блоку показано на рисунку 3.1.

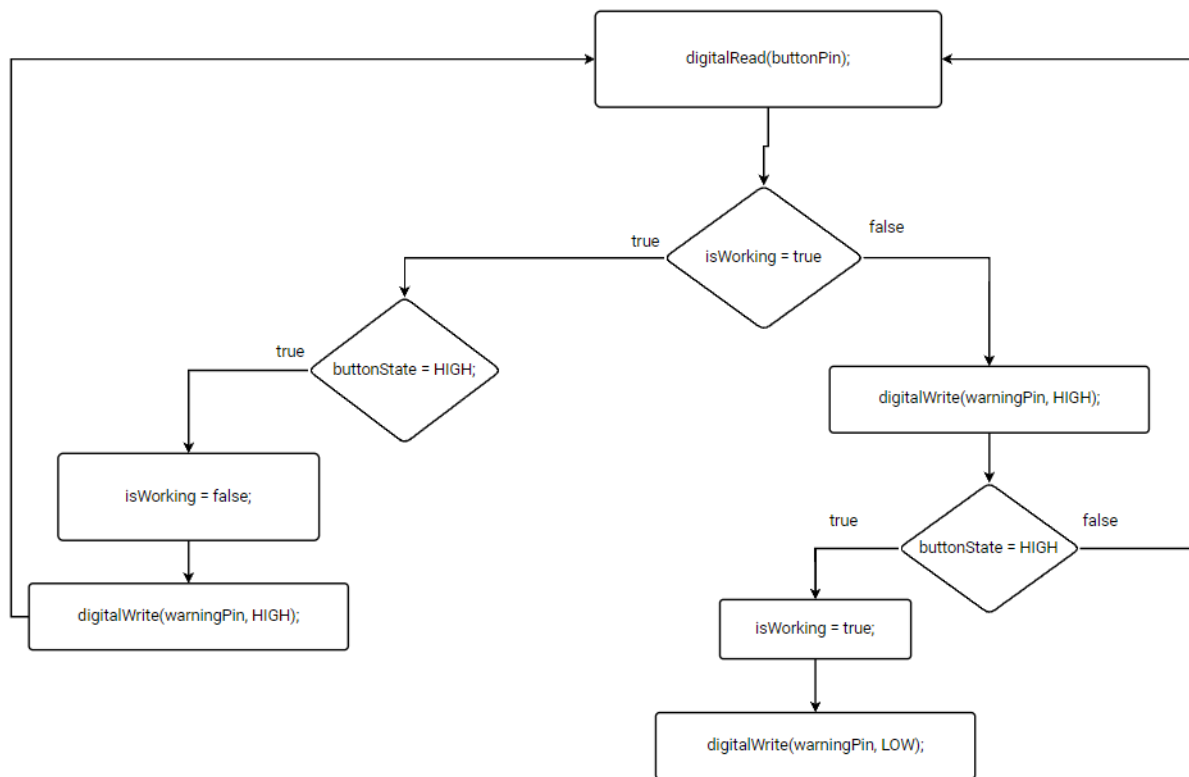


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи блоку зчитування стану кнопки

При кожному циклі роботи мікросхеми зчитується поточний стан кнопки. У випадках якщо змінився стан змінної `isWorking`, що значить що система повинна зупинитися, вмикається зовнішня лампочка, яка оповіщає оператора що система вимкнена і не працює. Далі якщо оператор підійде та ввімкне кнопку зміну стану кнопки зчитає мікросхема яка ввімкне систему дистанційного керування бульдоєру. Блок декодування ШІМ сигналу складається з виконання функцій які будуть записувати у заздалегідь створені змінні значення довжини імпульсів логічних 1 та 0. Блок зчитування для створення команди руху вперед або назад будує команду руху вперед або назад зчитуючи дані зі змінних довжини сигналу. Алгоритм роботи цього блоку показаний на рисунку 3.2.

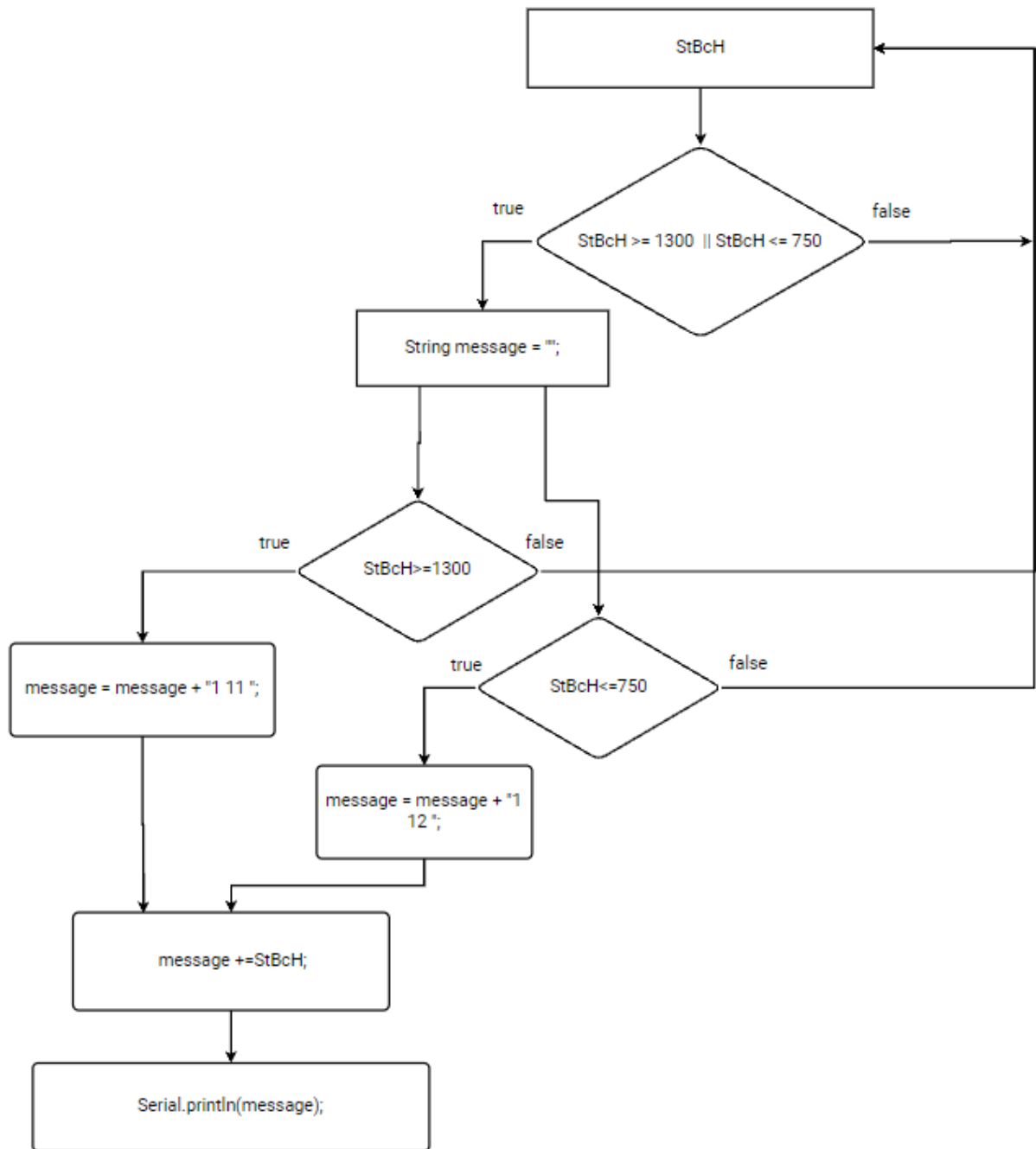


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи команди руху вперед та назад

При кожному циклу роботи програми зчитується декодовані данні з ШІМ сигналу. В разі якщо довжина імпульсів логічної 1 буде більша 1300 або менша 750 формується строка повідомлення яке буде передано до мехатронного модулю. Далі считується яка саме це команда повинна буди.

В разі якщо довжина сигналу більша 1300 це значить що повинна почати створюватися команда на рух вперед. Команда яка буде створена матиме такий вигляд: 01 11 (значення довжини імпульсів).

Аналогічно в разі якщо довжина сигналу менша 750 це значить що повинна почати створюватися команда на рух назад. . Команда яка буде створена матиме такий вигляд: 01 12 (значення довжини імпульсів).

Після початкового етапу створення команди до команди додається значення довжини імпульсів логічної 1.

Після передачі сигналу до мехатронного модуля мікросхема очікує відповідь від мехатронного модуля. У випадку коли не надійшла відповідь від мехатронного модуля змінюється значення змінної isWorking на значення false, що зупиняє оброблення команд переданих від приймача, що значить що команди до мехатронного модуля не будуть передаватись що зупину рух бульдозера.

Блок зчитування для створення команди руху вперед або назад буде команду руху вперед або назад зчитуючи дані зі змінних довжини сигналу.

В разі якщо довжина сигналу більша 1300 це значить що повинна почати створюватися команда на поворот праворуч. Команда яка буде створена матиме такий вигляд: 01 21 (значення довжини імпульсів).

Аналогічно в разі якщо довжина сигналу менша 750 це значить що повинна почати створюватися команда на рух назад. Команда яка буде створена матиме такий вигляд: 01 22 (значення довжини імпульсів).

В разі якщо значення довжини імпульсів не знаходиться в діапазоні повороту ліворуч або праворуч передається команду повернення джойстику у кабіні бульдозеру у середнє положення. Команда яка буде створена матиме такий вигляд: 01 23 (значення довжини імпульсів).

Після початкового етапу створення команди до команди додається значення довжини імпульсів логічної 1.

Алгоритм роботи цього блоку показаний на рисунку 3.3.

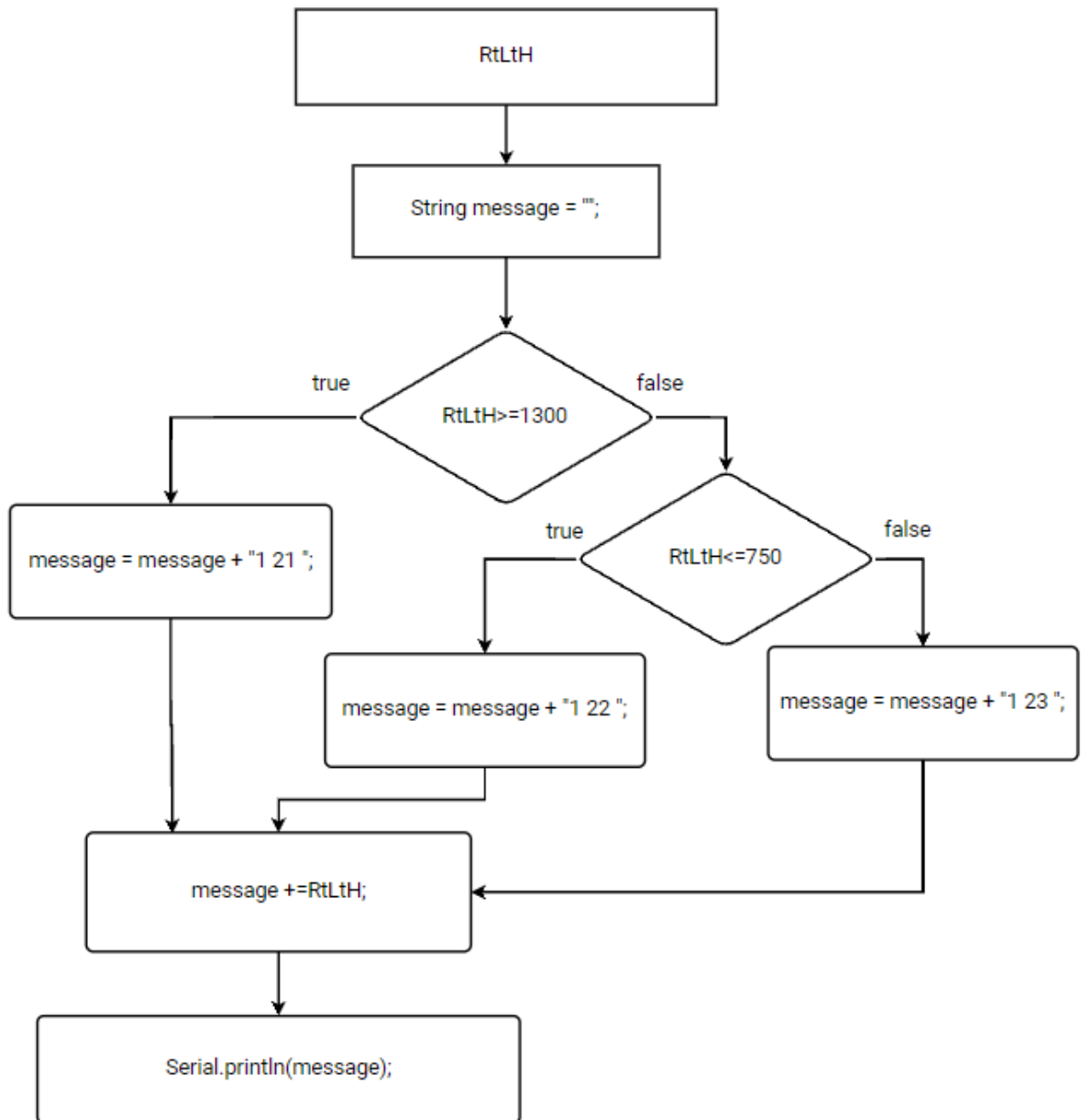


Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи блоку створення команд повороту бульдозера

У цьому блоку аналогічно блоку зчитування для створення команди руху вперед реалізована функція очікування відповіді від мехатронного модуля.

Блок створення команди зміни кута нахилу ковшу вверх або вниз працює по тому самому алгоритму роботи як і блок створення команд руху вперед або назад. Відрізняються лише змінні які застосовуються та команда яка передається на мехатронний модуль.

Команда для зміни кута нахилу ковшу вгору має такий вигнял: 02 31 (значення довжини імпульсів). Адреса 02 у цій команді значить що команда передається на 2й драйвер який керує зміною кута нахилу ковша.

Команда для зміни кута нахилу ковшу вниз має такий вигнял: 02 32 (значення довжини імпульсів). Адреса 02 у цій команді значить що команда передається на 2й драйвер який керує зміною кута нахилу ковша.

Блок керування зовнішнього освітлення під час проходження циклу перевірок перевіряє, чи знаходиться тумблер який відповідає за світло не у середньому положення. У разі якщо тумблер знаходиться у верхньому положення подається сигнал за реле яке вмикає зовнішнє світло.

Блок керування маслonaпорною установною під час проходження циклу перевірок перевіряє, чи знаходиться тумблер який відповідає за світло не у середньому положення. У разі якщо тумблер знаходиться у верхньому положення подається сигнал за реле, яке вмикає маслonaпорну установку. Аналогічно коли тумблер знаходиться у нижньому положенні на реле передається сигнал який вимикає маслonaпорну установку.

Далі було проведено тестування програмного забезпечення для системи дистанційного керування транспортом спеціального призначення, тобто бульдозера.

Тестування програмного забезпечення буде виконуватися з використанням середовища Tinker cad, як вона дозволяє змоделювати роботу програмного забезпечення для мікроконтролера Arduino Uno.

Для модулюванні ШІМ сигналу який надходить з приймача радіосигналу використовуються 5 генераторів сигналу які генерують ШІМ сигнал який зчитується та обробляється мікросхемою.

Передані команди відображаються у вкладинці Serial Monitor, який відображає команди які повинні будуть передаватися на мікроконтролер мехатронного модуля.

На рисунку 3.4 показано симуляцію передачі командного рядку на мехатронний модуль.

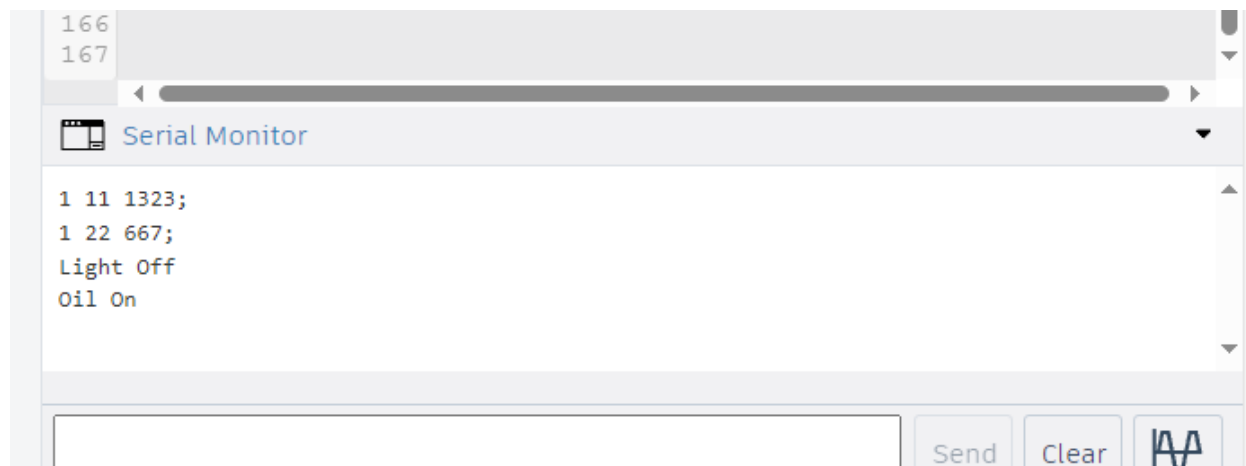


Рисунок 3.4 – Симуляція передачі командного рядка

Симулюється випадок коли потрібно передати інформацію до бульдозера рухати вперед. Після передається команда на поворот праворуч бульдозера.

Додано можливість відображення стану світла та маслонапорної установки. У даному випадку показано що зовнішнє світло вимкнене, а маслонапорна установка ввімкнена.

При можливому апгрейду можливо для підвищення точності повороту бульдозера ліворуч або праворуч потрібно розрахувати ПІД-регулятор де дані з датчику який буде зчитувати реальний кут повороту джойстика і повертати рядок на програмний модуль.

Для розрахування потрібно дізнатися основні характеристики ПІД регулятора. Він складається з 3-ох коефіцієнтів: P (пропорційний), I (інтегральний) та D (диферинційний). Від них залежать характеристики системи час її відгуку та точність. Спочатку потрібно налаштувати ці коефіцієнти.[5]

Одним із найпопулярнішим методом налаштування Під-регулятору є метод Зіглера-Ніколаса. Для налаштування параметрів потрібно задати коефіцієнти K_I та K_D рівними 0. Після потрібно поступово збільшувати K_P того моменту, поки система не почне коливатися, це значення називається критичним коефіцієнтом(K_{cr}), потім зменшуємо на 50%.

Поступово збільшуємо K_I до моменту, поки система не усуне постійну похибку.

Збільшуємо K_D до мінімального рівня, де система стане стабільною і не буде мати великих коливань. Далі потрібно розрахувати коефіцієнт ПІД-регулятора за формулами 3.1 – 3.3:

$$K_P = 0,6 \cdot K_{cr} \quad (3.1)$$

$$K_I = \frac{2 \cdot K_P}{T} \quad (3.2)$$

$$K_D = \frac{K_P \cdot T}{8} \quad (3.3)$$

Після дослідження критичний коефіцієнт $K_{cr} = 3,3$ а період коливань $T = 2$.

$$K_P = 0,6 \cdot 3,3 = 1,98$$

$$K_I = \frac{2 \cdot 1,98}{2} = 1,98$$

$$K_D = \frac{1,98 \cdot 2}{8} = 0,495$$

Отримані параметри:

$$K_P = 1,98$$

$$K_I = 1,98$$

$$K_D = 0,495$$

Для апгрейду системи з використанням цього ПІД регулятора буде змінено алгоритм роботи блоку створення команди повороту ліворуч або праворуч. Буде додано змінні які будуть відповідати за коефіцієнти ПІД регулятора та зрівнювання даних отриманих з мехатронного модуля і в разі відхилення отриманих даних від переданих буде передано додаткову команду на поворот бульдозера у потрібну сторону.

Додавання ПІД регулятора до цього блоку забезпечить високу точність та надійність керування повороту бульдозера.

Тестування апаратного забезпечення не було виконано так як не в ході роботи не було зібрано модуль.

3.3 Питання охорони праці та безпеки життєдіяльності

Охорона праці є важливим аспектом будь-якої виробничої діяльності, спрямованої на забезпечення безпечних умов праці, захисту здоров'я та життя працівників, а також на запобігання травматизму та професійним захворюванням.

Одними небезпек під час дистанційного керування бульдозером окрім чоловічого фактору або збою в роботі програми можуть бути небезпеки, які пов'язані з напрямком використання бульдозера. Наприклад у разі використання бульдозера при розгрібанні завалів потрібно знаходитися у достатньо безпечній відстані від місця роботи машини. В інших випадках застосування бульдозера можуть бути інші небезпеки, але найбільша небезпека пов'язана з відстанню оператора від системи керування що дозволяє оператору знаходитися у відносній безпеці.

Для забезпечення безпечних умов праці під час роботи з системами дистанційного керування транспортом спеціального призначення необхідно дотримуватися інженерно-технічних, організаційних заходів та використовувати індивідуальні засоби захисту. Інженерно-технічні заходи включають встановлення захисних огорож навколо зони використання бульдозера, використання кнопки аварійної зупинки у разі небезпеки. Організаційні заходи передбачають регулярне проведення інструктажів з охорони праці та спеціальних тренувань для операторів з управління бульдозером у зонах підвищеної небезпеки. Створення докладних інструкцій щодо експлуатації обладнання та алгоритмів дій у разі виникнення небезпечних ситуацій. Постійний контроль за дотриманням вимог охорони праці та регулярний моніторинг стану обладнання.

У деяких специфічних умовах праці потрібно буде проводити додаткову підготовку операторів до роботи в умовах підвищеного стресу та розвиток навичок швидкого прийняття рішень та Забезпечення регулярних медичних оглядів та підтримка фізичної форми операторів.

Забезпечення охорони праці та безпеки життєдіяльності при проектуванні модуля дистанційного керування бульдозером для розмінування територій є критично важливим елементом успішної реалізації проекту. Дотримання вищезазначених заходів дозволяє створити безпечні умови праці для персоналу та забезпечити надійну та ефективну роботу системи, що сприяє успішному виконанню завдань з розмінування.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки Харківського національного університету радіоелектроніки була проведена наукова діяльність, спрямована на розробку програмного модуля для дистанційного керування бульдозером.

За результатами обрано пульт керування та приймач та мікроконтролер, з використанням якого буде розроблено програмний модуль для дистанційного керування транспортом бульдозером. Використано середовище TinkerCad для моделювання роботи програмного модуля.

Було розроблене програмне забезпечення яке відповідає всім вимогам до керування транспортом бульдозером. Воно включало в себе можливість дистанційного керування рухом транспорту, можливість керування кутом нахилу ковшу бульдозера, можливість ввімкнення або вимкнення зовнішнього освітлення та можливість зупинки системи керування.

В результаті проведеної роботи була створена функціональна та ефективна система дистанційного керування бульдозером, яка відповідає вимогам експлуатації. Розроблене програмне забезпечення забезпечує надійне та оптимальне керування бульдозером, що дозволяє підтримувати стабільну та продуктивну роботу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, В.А. Андрусевич, О. В. Токарева, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2022. 151 с.
3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В. Токарева, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2023. 66 с.
4. Петренко О. П. Основи програмування на C++. Л.: БаК, 2017. - 256 с.
5. Марченко А.А., Гулий В.С. Теорія автоматичного керування. – Київ 2022. 30с.
6. Цільовий ринок сільськогосподарської техніки / Н. Гронська, І. Сушко, І. Шувар; Нац. ун-т «Львів. політехніка». Л., 2010. — 238 с.
7. Чернишов, П. В. Системи керування на Arduino: підручник. – Черкаси: ЧДТУ, 2021. – 270 с.
8. Титаренко, В. І. Основи програмування на Arduino: навчальний посібник. – Житомир: ЖДТУ, 2019. – 230 с.
9. Савченко І. В. Системи дистанційного керування. - Одеса: ОНАПТ, 2019. - 210 с.
10. Ушаков С. Г. Технології автоматизації: підручник. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. - 320 с.