

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення системи керування роботизованим транспортним засобом з
дистанційним керуванням та системою технічного зору

Виконав: студент

IV курсу, групи КТс-41

спеціальності

151 Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Пилипончук Р.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Микитишин А.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Микитишин А.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Микитишин А.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Пилипончуку Роману Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи керування роботизованим транспортним засобом з дистанційним керуванням та системою технічного зору

Керівник роботи Микитишин Андрій Григорович, к.т.н., доцент кафедри КТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «17» травня 2024 року № 4/7-515

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 червня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо роботизованого транспортного засобу

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

Аналітична частина

Проектна частина

Спеціальна частина

Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

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

Титульний слайд

Актуальність роботи

Завдання роботи

Основна частина

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Сенчишин В.С., доцент кафедри МТ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	20.05.2024	Виконано
2.	Підбір джерел по темі роботи	22.05.2024-24.05.2024	Виконано
3.	Опрацювання публікацій та збір даних по темі роботи	24.05.2024-27.05.2024	Виконано
4.	Виконання роботи згідно мети	27.05.2024-29.05.2024	Виконано
5.	Оформлення першого та другого розділів	29.05.2024-31.05.2024	Виконано
6.	Оформлення третього розділу	31.05.2024-11.06.2024	Виконано
7.	Оформлення четвертого розділу	11.06.2024-13.06.2024	Виконано
8.		14.06.2024-15.06.2024	Виконано
9.		16.06.2024-17.06.2024	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2024-19.06.2024	Виконано
11.	Нормоконтроль	19.06.2024-20.06.2024	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	21.06.2024	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2024	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

_____ (підпис)

Пилипончук Р.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Микитишин А.Г.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить _____.

Об'єм пояснювальної записки складає ___ друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано ___ літературних джерел.

У роботі було проведено розробку автоматизованої системи керування транспортним засобом системою технічного зору, яким можна керувати віддалено .

В результаті проведеної роботи було розроблено автономний транспортний засіб з можливістю віддаленого керування на базі мікроконтролера.

В якості прототипу було використано автономну косарку. На неї було встановлено систему керування, налаштовано алгоритми керування та проведено тестування розробленої системи.

Впровадження результатів роботи дозволить розширити галузь використання таких засобів для виконання небезпечних робіт з метою збереження операторів.

Ключові слова: КОНТРОЛЕР, АВТОМОБІЛЬ, КЕРУВАННЯ, ТЕХНІЧНИЙ ЗІР, АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	5
1.1 Аналіз аспектів розвитку мобільної робототехніки	5
1.2 Теорія зондування простору для забезпечення зору	11
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	22
2.1 Огляд прототипу для реалізації системи керування	22
2.2 Проєктування системи керування	26
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	42
3.1 Розпізнавання низького рівня.....	42
3.2. Програмне забезпечення	47
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	56
4.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням.....	56
4.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт	61
4.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування	63
4.4 Розрахунок захисного заземлення	65
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	72

ВСТУП

Автономні мобільні машини мають потенційне застосування в різноманітних галузях промисловості, включаючи гірничодобувну промисловість, обробку вантажів, лісове господарство та будівництво. Такі машини можуть підвищити продуктивність і врожайність, а також зменшити кількість випадків безпеки.

Наприклад, оператори важкої мобільної техніки піддаються вібрації всього тіла, часто з тривалими і незручними позами, що піддає їх значному ризику розвитку опорно-рухового апарату. Автоматизація такого обладнання забезпечує засіб усунення цього впливу, при цьому оператори бортових машин стають дистанційними менеджерами машин.

Іншим прикладом є робота машин у середовищах, які або є негостинними, або надто небезпечними для людей. Очевидною перевагою є усунення операторів від потенційно небезпечних робочих середовищ.

Додатковою перевагою є можливість більш повного використання цих операцій із супутнім збільшенням врожайності та продуктивності. Крім того, автономні мобільні роботи можуть відкрити двері для дослідження ворожого середовища, в тому числі на інших планетах.

Значні затримки зв'язку через величезну відстань між Землею та іншими цікавими об'єктами у Всесвіті обмежують корисність дистанційно керованих транспортних засобів. Ми вже бачили Марс очима марсохода; щоб розширити діапазон таких місій, потрібні значні вдосконалення мобільних робототехнічних технологій.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз аспектів розвитку мобільної робототехніки

Мобільна робототехніка є технічно складною галуззю досліджень, оскільки вимагає інтеграції багатьох сфер знань. Прогрес за останні три десятиліття був постійним, але аж ніяк не вражаючим, враховуючи ранні очікування як громадськості, так і дослідників. Перш ніж ми зможемо очікувати, що подібні до R2D2 зі слави «Зоряних воєн» стануть повсюдною частиною нашого життя, потрібен стрибок у розумінні автономної навігації та суміжних галузей штучного інтелекту та пізнання.

Важливим фактором, який перешкоджає розвитку технології мобільних роботів, є усвідомлена потреба в повних метричних моделях робочого простору робота та в постійних оцінках положення робота в навколишньому середовищі. Це є результатом класичного підходу до навігації, який визначає проблему в термінах.

1. Де я?
2. Де все інше?
3. Як мені дістатися до інших місць?

Це визначення навігації призводить до архітектури сенс-модель-план-дія, в якій датчики робота використовуються для оновлення та створення єдиного глобального представлення «світу» робота, з якого, у поєднанні зі специфікацією місії, мотор команди є похідними (рис. 1.1).

Створення та підтримка складних метричних представлень світу робота є складним процесом, який погано масштабується у великих середовищах. Обчислювальні витрати на послідовне абстрагування даних датчиків для оновлення моделі світу призводять до обмеження пропускнуої здатності, що часом залишає мобільного робота фактично «сліпим» для реального світу. Незважаючи на майже еквівалентність наявної на даний момент

обчислювальної потужності та потужності, доступної маленькій комах по надійності, гнучкості та продуктивності

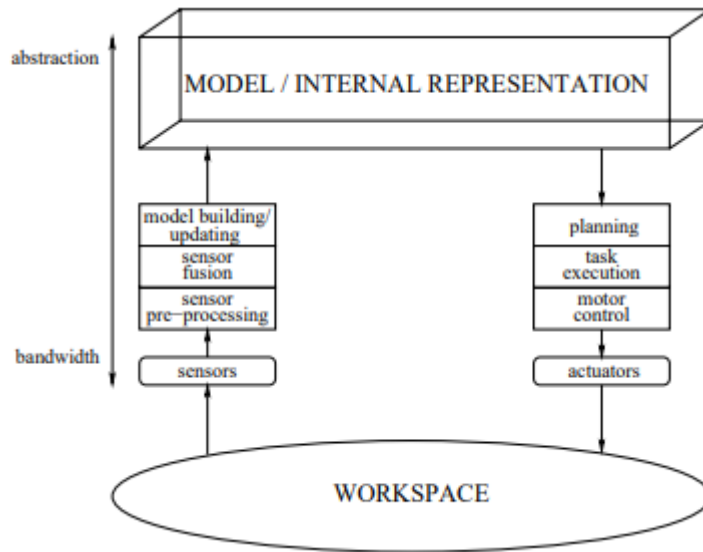


Рисунок 1.1 - Типова ієрархічна архітектура, яка використовується класичними навігаційними системами.

Дані датчиків передаються через систему, оновлюючи моделі світу та оцінку положення робота. У поєднанні зі специфікацією місії модель світу потім використовується модулем планування шляху, який порівнює очікуване положення з бажаним. Потім вказується серія завдань, і модуль виконання завдань надсилає інформацію модулю керування двигуном, який, у свою чергу, надсилає команди виконавчим механізмам робота.

Ранні спроби імітувати поведінку комах призвели до появи робототехніки, заснованої на поведінці, або реактивної робототехніки, в якій існує тісний зв'язок між відчуттям і дією використовується для обходу обчислювально інтенсивного етапу моделювання в класичному підході. Приклад реактивної архітектури показано на рис. 1.2. Замість того, щоб використовувати єдине глобальне представлення світу, реактивні системи звертаються безпосередньо до середовища для інформації; за словами Брукса «Світ справді є досить хорошою моделлю самого себе».

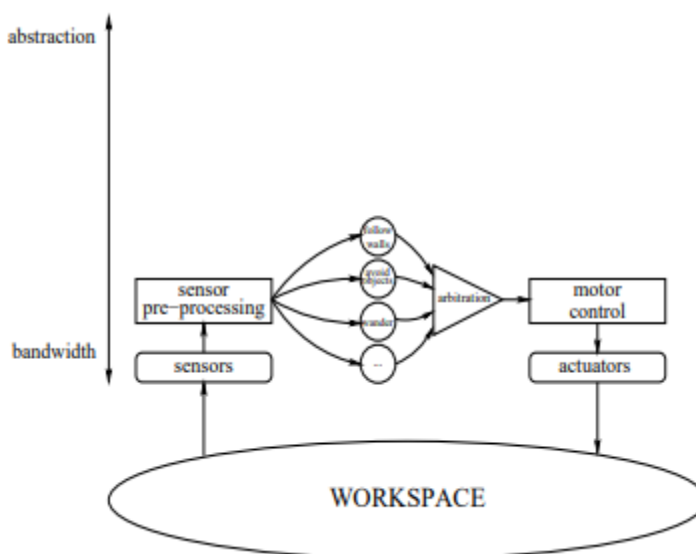


Рисунок 1.2 - Типова архітектура системи, що базується на поведінці.

У системі, заснованій на поведінці, існує більш тісний зв'язок між датчиками та виконавчими механізмами. Інформація датчиків обробляється паралельно за допомогою різних контролерів або «поведінок». Потім команди від цих поведінок об'єднуються за допомогою зваженого підсумовування та/або стратегій перемикавання та надсилаються до приводів. Зверніть увагу на різницю в структурі класичної дорадчої системи, зображеної на рис. 1.1.

Хоча роботи, засновані виключно на поведінці, були дуже успішними, вимагати від таких роботів цілеспрямованих завдань було важко. Невдовзі стало зрозуміло, що для просування вперед необхідно об'єднати класичний і поведінковий підходи. На рис. 1.3 показаний приклад гібридної системи, яка демонструє, що інтеграція реактивності та обдуманості може зменшити рівень «абстрактності», який вимагається від системи. До сьогодні майже кожна автономна навігаційна система мобільного робота має реактивний компонент на певному рівні.

Зростаюча кількість досліджень розширила підходи до навігації, натхненні комахами та тваринами, аж до рівня таксі та уникнення перешкод.

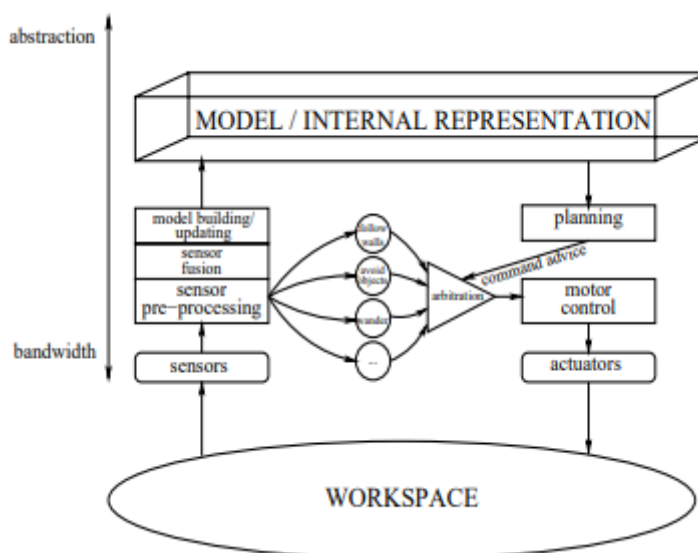


Рисунок 1.3 - Приклад гібридної архітектури. Світове моделювання використовується для впливу на поведінку реактивної системи керування, чи то шляхом вибору певної поведінки, чи надання «підказок» чи порад реактивному рівню.

Прикладом біологічно натхненого розвитку є візуальне самонаведення, при якому розбіжності між цільовим і поточним виглядом робочого простору спрямовують агента до цільового розташування, не вдаючись до складних метричних представлень. Візуальне самонаведення має кінцеву «зону водозбору», обмежену діапазоном огляду використовуваного датчика — це «локальна» техніка навігації. Однак візуальне самонаведення можна використовувати як інструмент для більш масштабної навігації за допомогою топологічних карт. Топологічна карта — це мережа вузлів і зв'язків, у якій вузли представляють відмінні локалі, а зв'язки представляють взаємозв'язки між відмінними локалями; дивіться приклад на рис. 1.4. Такі карти забезпечують засіб зменшення обчислювальних витрат на навігацію, забезпечуючи при цьому адекватне представлення знання для полегшення цілеспрямованої навігації.

Однак, як і у випадку з багатьма класичними підходами, багато біологічних методів навігації було реалізовано на мобільних роботах, які не є

репрезентативними для існуючих транспортних засобів у цивільних та промислових областях.

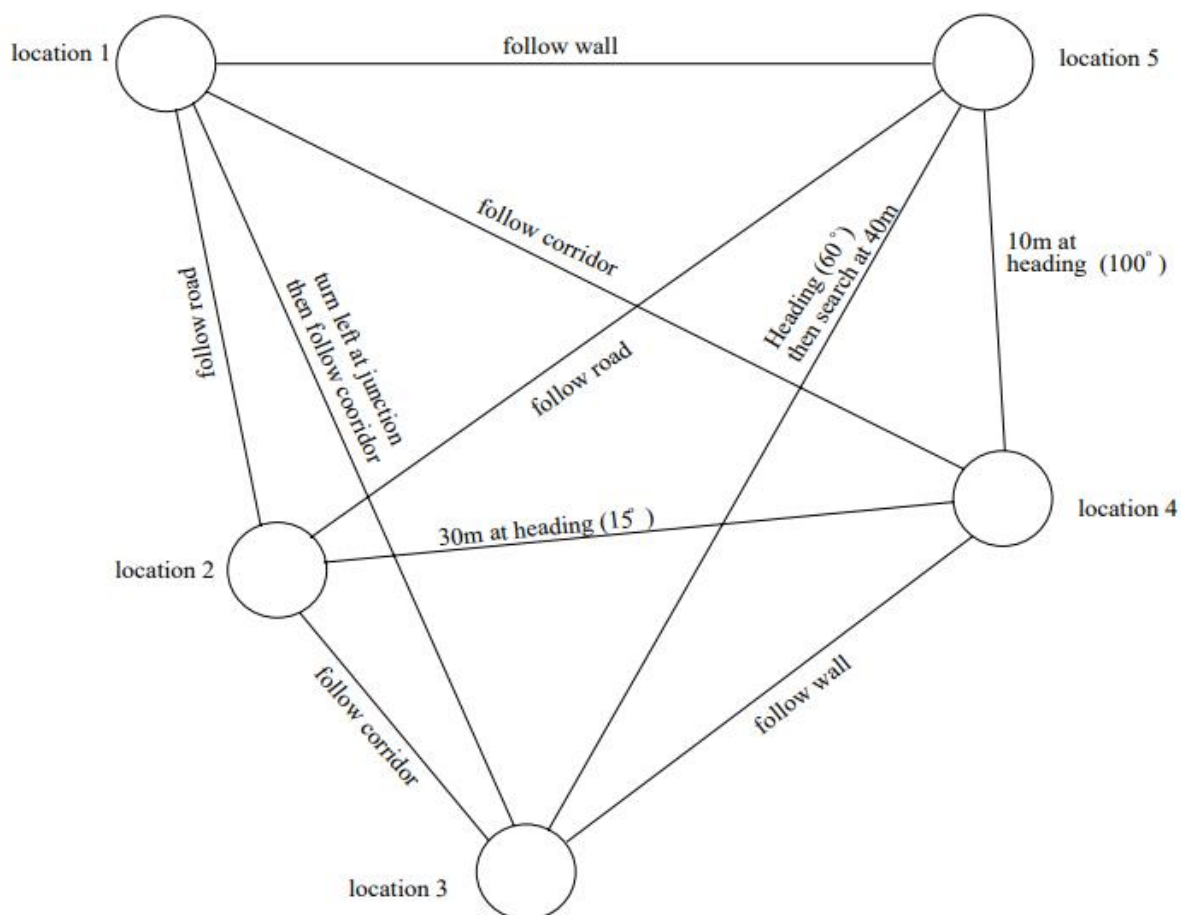


Рисунок 1.4 - Приклад топологічної карти. Вузли представляють відмінні місця, які визначаються характерними особливостями середовища. Кожен вузол або окреме місце з'єднується з іншими вузлами за допомогою посилок, які містять інформацію, що зв'язує два вузли (наприклад, стеження за стіною).

Транспортні засоби «реального світу», такі як автомобілі, вантажівки та зчленовані транспортні засоби, які використовуються в цивільній і гірничодобувній промисловості, мають значні обмеження щодо способів пересування порівняно з традиційними лабораторними мобільними роботами. Насправді, з точки зору теорії керування, керування цими

транспортними засобами «реального світу» є дуже складною проблемою нелінійного керування.

Особливо складною проблемою є стабілізація пози, тобто перехід від початкового положення та орієнтації в робочому просторі до бажаного положення та орієнтації. Паралельне паркування автомобіля є прекрасним прикладом цієї проблеми. Цю проблему можна вирішити або за допомогою стратегії розімкнутого циклу, сенс-модель-план-дія, або за допомогою реактивної стратегії замкнутого циклу. Стратегії з відкритим циклом знову потребують обчислень і чутливі до збурень у досліджуваному середовищі та моделі робота. Навпаки, стратегії зворотного зв'язку забезпечують стійкість до невизначеності в досліджуваному середовищі та мобільному роботі себе. Однак при керуванні цими транспортними засобами зазвичай передбачається, що повний стан робота доступний з пропріоцептивних і екстероцептивних давачів, тобто реконструйований з моделей навколишнього середовища та руху транспортного засобу. Ця оцінка стану може бути зіпсована пробуксовкою коліс, помилками в моделі автомобіля та шумом. Альтернативою є замикання циклу зворотного зв'язку на рівні датчика, потенційним датчиком є комп'ютерний зір.

Зір є одним із найпоширеніших і найпотужніших датчиків, що використовуються в природі, де він служить як для високого рівня пізнання, так і для низького рівня моторного контролю. Системи біологічного зору мають широке поле зору та здатність зосереджувати увагу на «цікавих» об'єктах у навколишньому середовищі. У поєднанні з нейронними та візуальними «швидкими шляхами», які розвивалися протягом мільйонів років, системи біологічного зору є вражаюче ефективними.

З перших днів робототехніки зір також був визначним датчиком. Однак бачення традиційно використовувалося в манері сенс-модель-план-дія, реконструюючи сцену в метричну модель, з якої впливає навігація. Через величезну кількість даних, які надає зір, цей реконструктивний підхід висуває величезні вимоги до комунікацій.

Таким чином, бачення було здебільшого обмежено керуванням із відкритим контуром, яке продиктоване ієрархічною структурою сенс-модель-план-дія багатьох існуючих навігаційних систем. Подібні парадигми зустрічалися з роботами-маніпуляторами. У маніпуляторах розвиток технік візуального обслуговування, в яких зір використовується як датчик зворотного зв'язку, виявився потужним методом уникнення процесу сенс-модель-план-дія. Робота в цій дипломній роботі використовує подібні процеси для локального керування автомобілем.

Поява всенаправленої камери забезпечила засіб імітації широкого поля зору, який є в багатьох біологічних системах, і, таким чином, здавалося б, це чудовий датчик для керування мобільним роботом. Насправді, всеспрямовані камери використовувалися протягом деякого часу, як правило, у контексті візуального самонаведення. Знову ж таки, ці роботи зазвичай мають набагато простішу кінематику, ніж у автомобілів.

1.2 Теорія зондування простору для забезпечення зору

Основою будь-якої навігаційної системи є здатність відчувати стан автомобіля та його оточення. Подібно до того, як у нас є органи чуття, які дають нам інформацію про навколишнє середовище, у якому ми живемо, роботам також потрібні засоби сприйняття робочого середовища. Датчики поділяються на дві категорії: внутрішні та зовнішні датчики. Внутрішні датчики контролюють стан самого робота, тоді як зовнішні датчики надають дані про робоче середовище або «світ»². У категорії зовнішніх датчиків є активні та пасивні типи. Активні датчики проєктують енергію в навколишнє середовище та інтерпретують зворотний сигнал. Наприклад, ультразвуковий датчик проєктує акустичні хвилі та інтерпретує час прольоту для зворотного сигналу. Пасивні датчики стимулюються безпосередньо середовищем. Наприклад, кольорова камера отримує інформацію про інтенсивність і

колірну структуру безпосереднього оточення, що, звичайно, залежить від умов освітлення.

Тип датчиків, доступних розробнику мобільного робота, впливає на стратегії керування, доступні для автономної навігації. Кожен тип датчика має властиві обмеження та переваги, які необхідно компенсувати та використовувати відповідно. Зазвичай дані з кількох різних датчиків «зливаються» для підвищення точності та надійності. Однак зазвичай це залежить від точної моделі кінематики автомобіля, динаміки та поведінки датчиків.

У цьому розділі коротко обговорюються різні режими датчиків і їхнє відношення до навігації. Обговорення не має на меті бути всеосяжним, воно слугує лише як вступ до типів доступних датчиків та їх відносних сильних і слабких сторін.

Внутрішні датчики

Внутрішні датчики контролюють стан робота, традиційно вимірюючи такі речі, як кути з'єднань у роботах-маніпуляторах. У мобільних роботах внутрішні датчики зазвичай використовуються для інтеграції траєкторії, також відомої як підрахунок мертвої точки або одометрія. Проте також була продемонстрована інтеграція шляху на основі комп'ютерного бачення.

Хоча методи підрахунку мертвих добре вивчені, жодна з них не може зрівнятися з деякими дивовижними досягненнями біологічних систем. Візьмемо, наприклад, пустельну мурашу *cataglyphis bi-color*, яка шукає їжу на відстані понад 200 м від свого гнізда, повертаючись до відкритого гнізда менше 5 мм. Приклад такої вилазки наведено на рис. 1.5.

Порівняйте це з наявними на даний момент високоякісними інерційними вимірювальними одиницями зі швидкістю дрейфу порядку 0,1% пройденої відстані. Звичайно, подібно до того, як мураха може компенсувати накопичені помилки у своїй системі одометрії на основі раніше побачених орієнтирів, так само інформацію від наших штучних внутрішніх датчиків можна виправити за допомогою зовнішнього посилання.

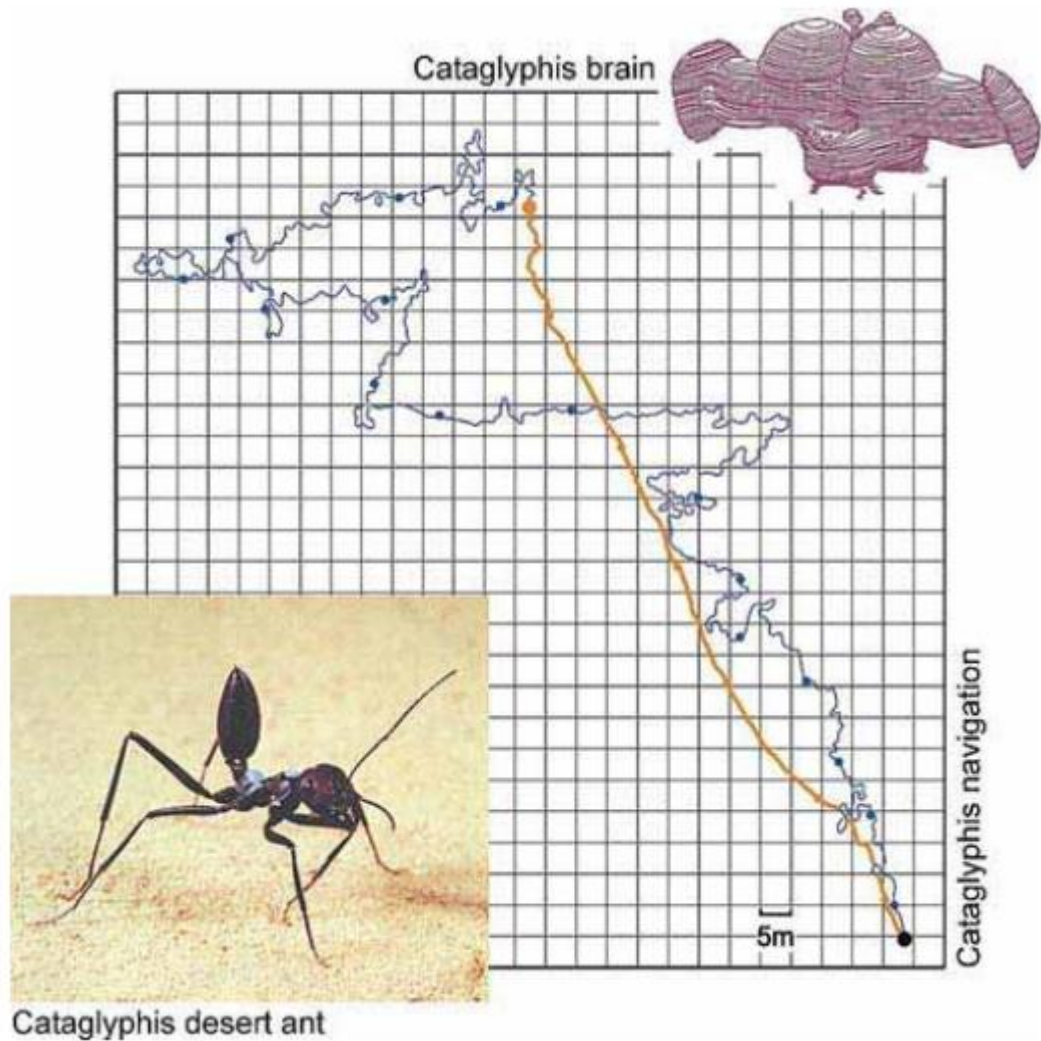


Рисунок 1.5 - Приклад дивовижних навігаційних здібностей скромної мурахи.

Одометрія та обчислення мертвих

У (колісних) мобільних роботах кодери валу можна використовувати для вимірювання обертів коліс і відносної орієнтації рульових коліс (кута повороту). За наявності методу вимірювання обертання колеса, пройденої відстані і швидкості можна обчислити, знаючи радіус колеса та приріст часу вимірювання. Такі вимірювання дуже схильні до помилок через ковзання коліс, зміни діаметра колеса, що котиться (наприклад, через знос, коливання тиску та температури або неточні вимірювання), а також неточності вимірювання колісної бази. Фундаментальною ідеєю одометрії є інтеграція в

часі інкрементної інформації про рух, що призводить до необмеженого накопичення похибок. Ці помилки можна класифікувати наступним чином:

1. Систематичний — результат кінематичних недосконалостей робота та неточних вимірювань.
2. Несистематичні — виникають в результаті взаємодії рельєфу з колесами, наприклад, пробуксовка коліс.

Систематичні похибки можна пояснити, але не повністю усунути за допомогою покращених вимірювань діаметрів коліс і більш точної моделі автомобіля та датчика. Несистематичні помилки є непередбачуваними, і їх неможливо виправити, не вдаючись до іншого способу вимірювання — як правило, зовнішнього орієнтиру, такого як орієнтири.

Одометричні датчики, такі як датчики валу, дешеві та можуть забезпечити високу частоту дискретизації. Незважаючи на широку критику, вони знайшли широке застосування.

Інерційні датчики

Інерційні датчики вимірюють або швидкість обертання, або прискорення, з яких можна отримати інформацію про положення. Що стосується одометричних датчиків, похибка також є необмеженою через накопичену похибку від інтегрування швидкості або подвійного інтегрування вимірювань прискорення. Будь-яка невелика помилка датчика посилюється процесом інтеграції.

Внутрішні датчики, як правило, хороші для коротких періодів або відстаней - багато досліджень показали орієнтовані на продовження періоду, за який вони вважаються точними. Зазвичай це робиться шляхом звернення до зовнішнього датчика для виправлення накопиченої помилки, яку також називають дрейфом.

Зовнішні датчики

Приклади зовнішніх датчиків включають магнітні компаси, системи глобального позиціонування (GPS), активні маяки, бачення та далекоміри (наприклад, ультразвукові пристрої, лазерні сканери та радари). Як правило,

зовнішні датчики набагато надійніші, ніж внутрішні датчики, оскільки вони вимірюють кут і відстань напряму, а не інтегрують швидкість і прискорення.

Однак існують проблеми під час доступу до зовнішнього середовища для сприйняття, включаючи:

- вимоги до прямої видимості;
- перешкоди через оклюзію та відбиття, або, у випадку з компасом, наявність сталевих конструкцій, закопаних труб, кабелів і навіть певних скель;
- перцептивний псевдонім.

Перцептивний накладення виникає, коли різні місця в середовищі повертають подібний датчикдані; може бути важко відрізнити одне місце від іншого.

Зовнішні датчики можуть вимірювати абсолютну величину, наприклад магнітну північ, або відносну величину, як-от відстань до іншого об'єкта. У категорії зовнішнього зондування є два режими зондування:

1. Активні датчики — активно випромінюють промінь енергії, вимірюючи певну кількість у середовищі, як правило, діапазон. Приклади включають ультразвук, лазерні далекоміри та радар.

2. Пасивні датчики — отримують інформацію з навколишнього середовища, не заважаючи йому. Приклади включають комп'ютерне бачення та GPS.

Зовнішні датчики зазвичай мають нижчу швидкість оновлення, ніж внутрішні датчики. Однак вимірювання пов'язане з навколишнім середовищем і, отже, не підлягає накопиченню помилок, які відчують внутрішні датчики.

Активні датчики Активні маяки

Активні системи маяків використовують набір маяків, встановлених у відомих місцях середовища. Ці маяки передають сигнали, які дозволяють роботу, обладнаному приймачем, оцінити свою позицію за допомогою методів трилатерації. А необхідні мінімум три маяки, принаймні три з яких

мають бути «видимими». Системи активних радіомаяків надають точну інформацію про місцезнаходження з мінімальною обробкою. Однак модифікація робочого середовища не завжди можлива, і активні системи маяків можуть бути дорогими для встановлення та обслуговування.

Далекоміри

На сьогоднішній день найпоширенішим датчиком дальності для мобільної робототехніки є ультразвукові далекоміри. Це пояснюється їхньою відносно низькою вартістю завдяки широкому розвитку фотоіндустрії. Проте лазерні далекоміри стають дешевшими та знаходять все більше застосування завдяки своїй вищій точності та радіусу дії, ніж ультразвукові.

Далекоміри працюють шляхом передачі енергетичного імпульсу та вимірювання або часу польоту, або зсуву фази променя під час його повернення. Помилкові вимірювання можуть відбуватися за наявності затемнювачів, таких як дощ або пил.

Пасивні датчики Датчики орієнтації

Помилка в орієнтації є найпідступнішою з помилок позиціонування, що призводить до великих помилок переміщення на довгих ходах. Магнітні компаси забезпечують вимірювання абсолютної орієнтації, а отже, визначення орієнтації автомобіля. Проте магнітні компаси вимірюють локальне магнітне поле Землі та сприйнятливі до коливань, спричинених штучними об'єктами, такими як чорні конструкції та динамічно індуковані поля, створені електродвигунами. Напрямок магнітного поля також змінюється на поверхні Землі. Альтернативним методом для визначення еталонного напрямку є використання поляризаційної картини, створеної атмосферним розсіюванням сонячного світла. Цей метод був розроблений на основі спостережень за поведінкою комах. Рання робота в цій дисертації показала, що ПЗС-камера з поляризаційним фільтром може бути використана для спостереження цієї моделі. По-перше, таблиця перегляду створюється середньою інтенсивністю неба при різних орієнтаціях поляризаційного фільтра, див. рис. 1.6.

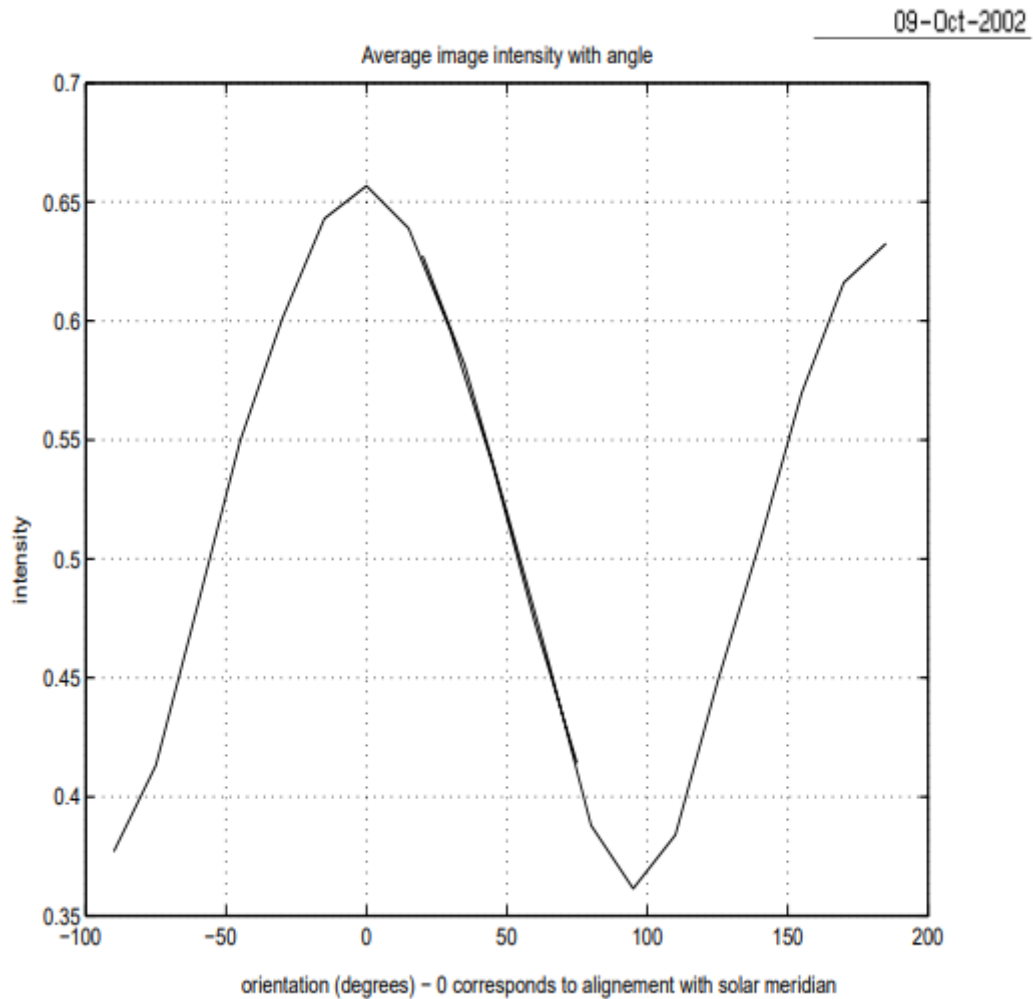


Рисунок 1.6 - Зміни середньої інтенсивності світла зі змінами в орієнтації поляризаційного фільтра, виміряні ПЗЗ-камерою, сфокусованою на небі. Порівнюючи ці значення з поточною середньою інтенсивністю світла, можна визначити орієнтацію.

Потім, порівнюючи середню інтенсивність поляризованого зображення при довільній орієнтації з пошуковою таблицею значень інтенсивності, можна оцінити поточну орієнтацію. Однак пошукова таблиця дійсна лише протягом відносно короткого періоду, і метод також залежить від видимості значної кількості блакитного неба. Крім того, симетрія поляризаційної картини дає неоднозначність при 0° і 180° відносно сонячного меридіана. Ця неоднозначність призводить до чотирьох можливих рішень для орієнтації.

В подальшому численні автори подолали цю неоднозначність, використовуючи набір із трьох фотодіодів із поляризаційними фільтрами з кутами фільтрів 120° один до одного. Вони представляють аналітичний метод визначення орієнтації на основі цих трьох вимірювань без потреби у пошуковій таблиці. Однак метод все ще крихкий щодо умов освітлення та обмежений для роботи в певний час доби.

Керуючись вимогами планетарних роверів, що працюють на інших планетах, які можуть не мати магнітного поля, NASA розробило систему вимірювання орієнтації, яка відстежує Сонце протягом дня, забезпечуючи еталонний напрямок через знання його руху. На відміну від експериментів, Сонце відстежувалося за допомогою ПЗЗ, а не за допомогою поляризаційної картини неба. Хоча було показано, що система є надійною з прийнятною кількістю хмарності, надмірна хмарність явно є проблемою, і, звичайно, така система не може працювати вночі.

Системи глобального позиціонування

GPS надає інформацію про довготу, широту та висоту за допомогою методів триангуляції з використанням сигналів від кількох відповідних супутників. Деякі пристрої також можуть надавати інформацію про швидкість і курс (за умови, що приймач GPS рухається). Системи глобального позиціонування стають все більш поширеними через споживчий попит в автомобільній та морській промисловості. Використання GPS у роботах також стало більш поширеним, але, звичайно, обмежено тими, хто працює на відкритому повітрі.

На точність GPS можуть впливати:

- кількість супутників, доступних через оклюзії будівель або відсутність супутників у цьому районі;
- багатопроменєві відображення;
- положення супутника — геометричне зниження точності;
- іоносферні та тропосферні ефекти.

Іншим недоліком GPS є їхня відносно низька швидкість оновлення (зазвичай порядку 1 Гц, хоча поточні пристрої високого класу можуть працювати на частоті до 10 Гц).

Диференціальний GPS (dGPS) має підвищену точність порівняно зі стандартним GPS завдяки співвіднесенню помилок приймача dGPS із сигналом, отриманим на фіксованій опорній станції. Однак загальна точність і надійність GPS перешкоджають його значному використанню в роботі, представлений у цій дисертації. Значний вплив на це рішення

це цільове робоче середовище, промисловий майданчик, у якому наявність будівель призводить до потенційної втрати сигналу. Наприклад, станом на листопад 1999 року менше 5% міста Токіо, Японія, було покрито GPS. Звичайно, ця цифра з часом покращиться, але вона свідчить про часто перебільшену корисність GPS для точного позиціонування.

Крім того, GPS із необхідною позиційною точністю (порядку 10 см) не входить у бюджет цього проекту. Однак на останніх етапах проекту RTK-GPS5 став доступним і використовувався, де це було можливо, для наземних цілей.

Комп'ютерний зір

За кількома винятками, усі тварини мають очі, але, як правило, мають надзвичайно складні та потужні паралельні процесори та спеціальні низькорівневі «схеми» виділення функцій, які розвивалися протягом мільйонів років, щоб справлятися зі складністю візуальної інформації. Наприклад, у людей з моменту потрапляння зображення в око низькорівневі процеси витягують «корисну» інформацію, таку як розташування країв. Ця інформація, паралельно з безліччю інших витягнутих характеристик і самого зображення, передається в мозок, де інформація використовується, наприклад, для побудови внутрішніх репрезентацій сцен, для ідентифікації та відстеження об'єктів, і, оскільки ми є дуже соціальні тварини, щоб ідентифікувати людей. Насправді в біології око незалежно еволюціонувало у форм життя, починаючи від восьминогів, комах і ссавців — у кожному

випадку значна частина мозку присвячена обробці зору та розумінню зображень. Зрозуміло, що зір є потужною навичкою для навігації та виконання завдань у царстві тварин, і, здавалося б, це хороший вибір датчика для мобільного робота.

Vision, мабуть, надає найповнішу інформацію з усіх датчиків, доступних для мобільних роботів, але через його складність і чутливість до таких факторів, як умови освітлення, його важко ефективно використовувати. Багато десятиліть досліджень дали нам деякі дуже ефективні системи зору, але, загалом, вони все ще є ембріональними, якщо порівнювати до подвигів біології.

Комп'ютерне бачення саме по собі є окремою галуззю досліджень, але зв'язки із застосуваннями в мобільній робототехніці очевидні. Останнім часом з'явився великий інтерес до систем всенаправлених камер (також відомих як паносферні), оскільки вони можуть забезпечити панорамний огляд сцени. Загалом існує три способи створення паносферного зображення:

1. Поверніть звичайну камеру навколо вертикальної осі та об'єднайте отриманий монтаж зображень.
2. Системи об'єктивів «риб'яче око» (ширококутні), які можуть забезпечити напівсферичний огляд сцени, хоча й з деякими спотвореннями.
3. Катадіоптричні системи, які складаються з камери, спрямованої на дзеркало, де дзеркало зазвичай нагадує конус або сферу.

Перший спосіб вимагає значної постобробки. Крім того, важко швидко отримати набір зображень, що обмежує корисність підходу для динамічних застосувань. Системи лінз "риб'яче око" зазвичай набагато дорожчі, оскільки їх важко виготовити з необхідною точністю. Поганий контроль допусків лінз може призвести до значного спотворення зображення. Навіть із добре виготовленою лінзою спотворення від оптичної осі є дуже значним. Катадіоптричні системи, як правило, набагато дешевші, оскільки наразі їх легше виготовити. Крім того, панорамне зображення можна отримати з одного зображення, що дає цьому методу перевагу перед обертанням

звичайної камери. Форми дзеркал для таких систем різняться, але по суті є компромісом між роздільною здатністю, полем зору та кутовим і радіальним посиленням.

Тема, яка розділяє дослідників всеспрямованого зору, полягає в тому, чи слід «розгортати» (або деформувати) всеспрямоване зображення, щоб панорамне зображення було легше інтерпретувати людьми. Процес розгортання споживає обчислювальні ресурси, які інакше можна було б присвятити більш корисним завданням, оскільки вміст зображення не змінюється. Насправді процес розгортання часто призводить до погіршення якості зображення, але, з іншого боку, він дозволяє використовувати існуючі методи обробки зображень.

Прирівняні до зору комах, всенаправлені камери виявилися потужним інструментом для мобільної робототехніки. Прикладом є використання всенаправленої камери для розрахунку мертвої точки з використанням руху зображення, яке спостерігає камера, для розрахунку пройденої відстані. Інші використовували всенаправлене бачення для візуального наведення та навігація на основі зовнішнього вигляду.

Ключова перевага всенаправлених камер перед монокулярними аналогами полягає в тому, що орієнтири або цілі завжди знаходяться в полі зору камери, якщо вони знаходяться в радіусі дії. Це особливо важливо для проблеми стабілізації пози зворотного зв'язку на основі зору, яка розглядається в цій дипломній роботі. Якщо використовується монокулярна камера, необхідно передбачити спеціальні механізми керування, щоб переконатися, що орієнтири залишаються в полі зору камери. При використанні всенаправленої камери ці обмеження перегляду послаблюються.

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Огляд прототипу для реалізації системи керування

Важливим аспектом польової робототехніки є джерело енергії для робота. Багато сучасних мобільних роботів покладаються на хімічні батареї або прив'язане до зовнішнього джерела живлення. Мобільні роботи споживають значну кількість енергії для приведення в дію важелів, живлення датчиків і роботи комунікаційних і комп'ютерних систем. У випадку роботів із живленням від батареї звичайні завдання робота швидко споживають доступну енергію, обмежуючи час роботи. У випадку прив'язаних роботів час роботи практично необмежений, але маневреність і діапазон роботи обмежені прив'язкою. Крім того, обидва методи потребують значної електричної інфраструктури заряджати батареї або забезпечити зовнішнє джерело живлення, що передається через шнур. Така інфраструктура може не існувати в бажаному операційному середовищі.

Дослідницькою платформою, розробленою та використаною в цій роботі, є косарка Того, яка є задньопривідною і керованою переднім колесом із кінематикою, схожою на автомобіль. Цей транспортний засіб є представником багатьох існуючих транспортних засобів у промисловості, але він досить малий, щоб експерименти проходили відносно безпечно. Він також приводиться в рух бензиновим двигуном, який забезпечує всю необхідну потужність для бортових систем. На рис. 2.1 зображено автоматизований транспортний засіб, який називають автономним тягачом (АТ).

Модифікований автомобіль здатний працювати в трьох режимах:

- Інструкція— транспортним засобом керує вручну особа, яка сидить на транспортному засобі.



Рисунок 2.1 - Автономний транспортний засіб.

- Дистанційний— органи керування транспортним засобом електрично приводяться в дію відповідно до запитів, що подаються особою за допомогою ручного передавача дистанційного керування.
- Автоматичний— органи керування транспортним засобом електрично приводяться в дію відповідно до вимог системою бортового комп'ютера.

Завдання на проектування автоматизації транспортного засобу передбачало мінімальну очевидність або видимість модифікація — вона має виглядати практично без змін. Крім того, важелі транспортного засобу повинні рухатися під час керування системою автоматизації, а система автоматизації не повинна перешкоджати ручному керуванню транспортним засобом.

У цій главі описано дизайн системи автоматизації, а також описано кінематичне та динамічне моделювання транспортного засобу.

Оригінальний автомобіль

Садівна косарка Toro Wheelhorse потужністю 16 к.с. керований транспортний засіб Акермана (тобто це неголономний транспортний засіб, схожий на автомобіль), здатний рухатися вперед і назад. Задні колеса транспортного засобу приводяться в дію від гідравлічного приводу (гідроприводу), який, у свою чергу, приводиться шківом від бензинового двигуна. Гідравлічний привід дозволяє пропорційно регулювати швидкість автомобіля. Максимальна швидкість у прямому напрямку становить приблизно 12 км/год. Для початкового етапу автоматизації зняті ножі косарки. Однак конструкція системи автоматизації така, що лопаті можна за бажанням встановити повторно.

На рис. 3.2 показано основні елементи керування транспортним засобом. При керуванні людиною-оператором (ручний керування транспортним засобом здійснюється за допомогою таких елементів:

- Кермо — забезпечує контроль за курсом автомобіля.
- Педаль руху вперед-назад (швидкості) — Приводиться в дію правою ногою, забезпечує контроль швидкості та напрямку руху автомобіля.
- Педаль гальма — приводиться в дію правою ногою (з міркувань безпеки ногу потрібно зняти з педалі швидкості, щоб натиснути на гальмо). Це гальмо роз'єднує ремінь який приводить в рух гідропривод, а також керує низкою фрикційних колодок на одній із задніх осей.
- Педаль стоянкового гальма — механічно фіксує педаль гальма у положенні «увімкнено» після натискання на педаль гальма.
- Дросель — важіль, що приводиться в дію лівою рукою. По суті, це трипозиційний важіль: повільний, швидкий і дросель, хоча існує обмежений діапазон пропорційності між повільним і швидким положеннями. Цей важіль керує тросом, підключеним до двигуна карбюратор і встановлює номінальну частоту обертання двигуна.
- Увімкнення леза — Цей важіль вмикає леза косарки (не автоматизовані).

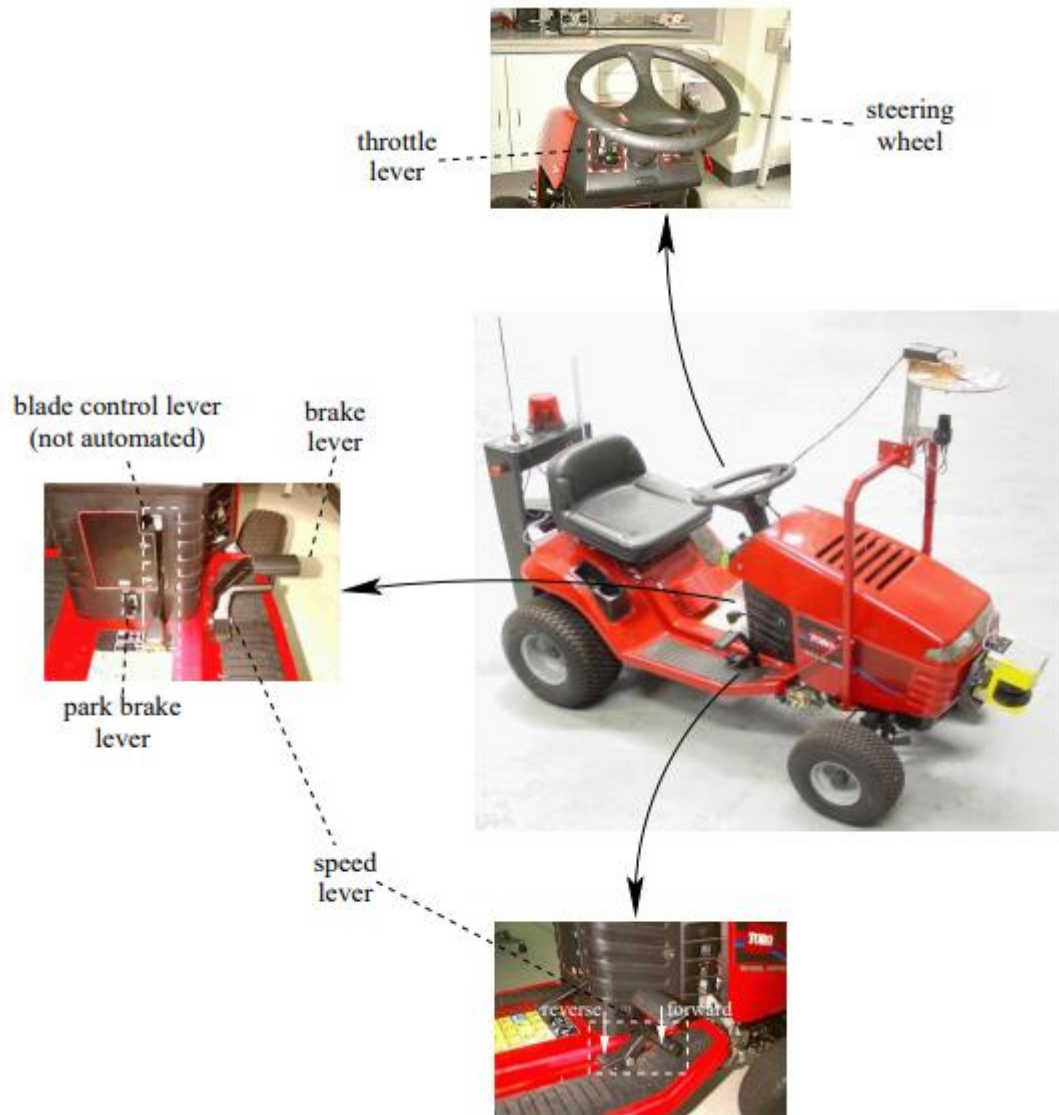


Рисунок 2.2 - Важелі керування

- Регулювання лез — цей важіль регулює висоту зрізу лез (не автоматично).

Педаль швидкості контролює напрямок вперед-назад і швидкість руху автомобіля приблизно пропорційно. Дросельна заслінка встановлює швидкість двигуна автомобіля, що впливає на кількість потужності, що передається на гідравлічний привід. Вища швидкість двигуна означає більшу потужність гідравлічного приводу, що, у свою чергу, означає вищу швидкість

автомобіля для певного положення педалі швидкості. При нормальній роботі дросельна заслінка встановлена на високий рівень.

2.2 Проектування системи керування

Автомобільний транспорт (АТ) був оснащений рядом приводів, датчиків і комп'ютерної системи, що дозволяє повністю контролювати роботу автомобіля. Щоб задовольнити вимогу не перешкоджати ручному управлінню, також було встановлено засіб відключення системи автоматизації рульового керування, що дало загалом шість осей керування.

Загальна схема всієї системи керування АТ показана на рис. 2.3.

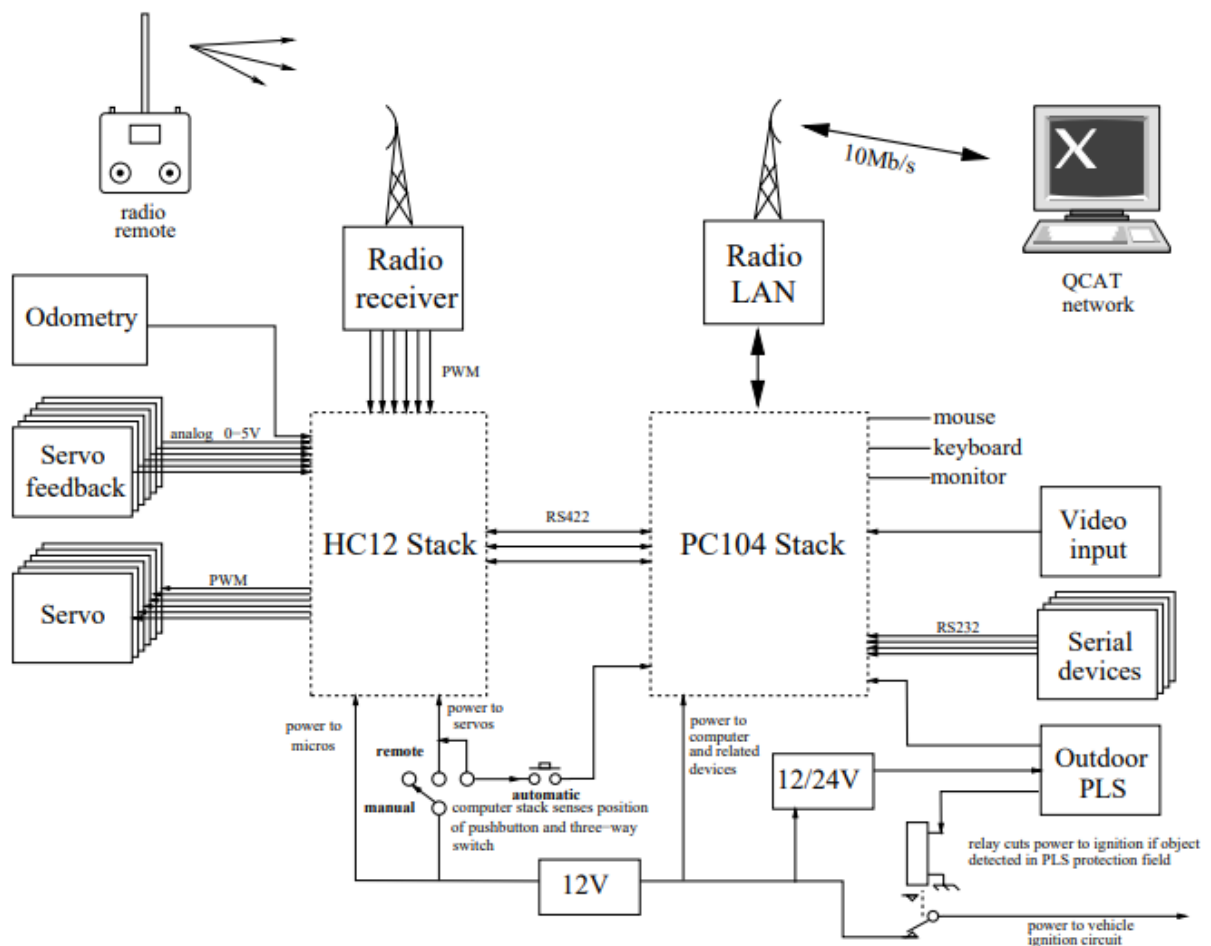


Рисунок 2.3 - Схема всієї системи керування на АТ. У комплект входить система одометрії, яка була оснащена рештою системи керування.

Система складається з набору мікропроцесорів HC12, які керують окремими приводами для кожної осі керування. Процесори HC12 можуть отримувати запити або від портативного радіопередавача, або від комп'ютерної системи. Однак вимоги комп'ютерної системи можуть бути надіслані до системи HC12, лише якщо комп'ютер відчуває, що ключ-перемикач знаходиться в режимі автоматичної готовності, автоматична кнопка була натиснута, і програмний перемикач для конкретної осі керування активовано.

Наступний опис поділено на два основні розділи. По-перше, описується система контролю низького рівня, включаючи систему HC12, приводи та датчики зворотного зв'язку низького рівня. По-друге, представлено апаратне та програмне забезпечення комп'ютерної системи.

Контроль низького рівня

Шість входів автомобіля контролюються та контролюються набором із трьох незалежних мікропроцесорів Motorola HC12D60, кожен із яких керує двома осями. Вони згруповані таким чином:

- рульове керування / включення
- педаль гальма/стоянкове гальмо
- важіль газу / педаль швидкості

На рис. 2.4 показана схема стека HC12. Кожна вісь керування має чотири спільні елементи:

1. Актуатор.
2. Датчик зворотного зв'язку (положення приводу або важеля).
3. Контролер.
4. Засіб забезпечення контрольного попиту.

Схема окремої пари мікропроцесор HC12/силовий привод показана на рис. 2.5 (а), де також показано загальні елементи кожної осі керування. Зворотній зв'язок для кожна вісь управління має форму аналогового або логічного сигналу 0 – 5В.

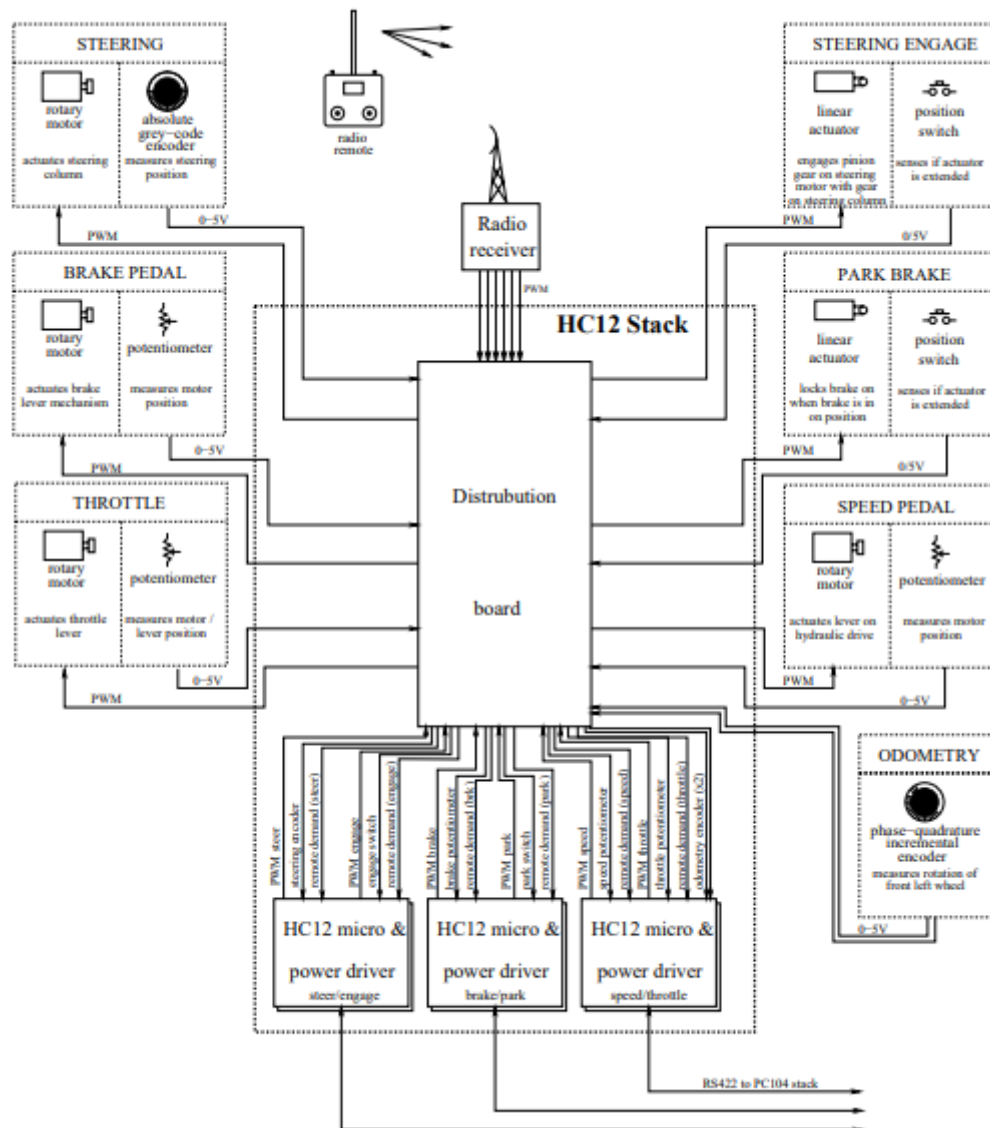
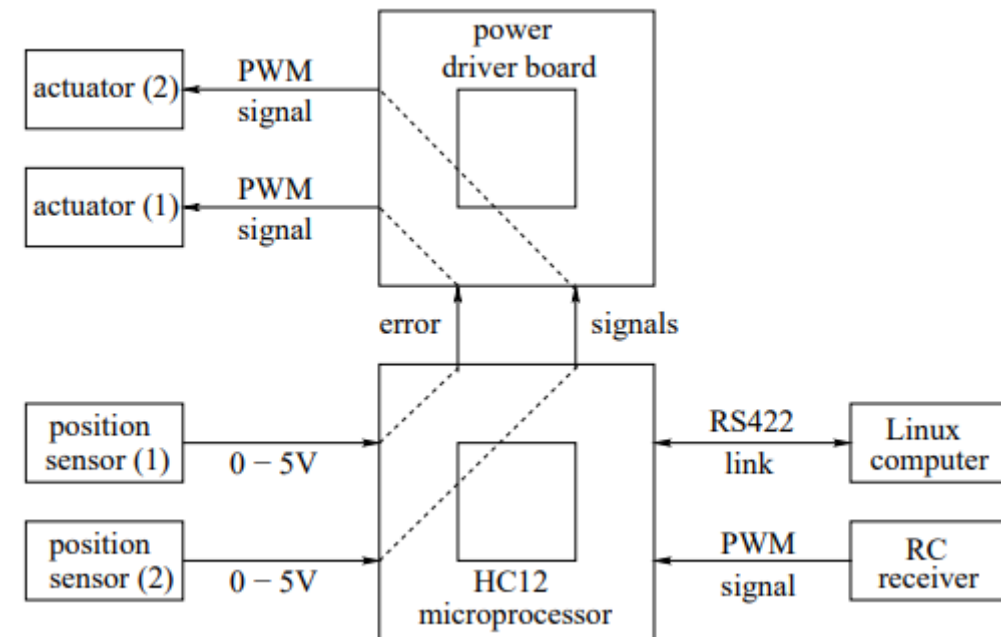


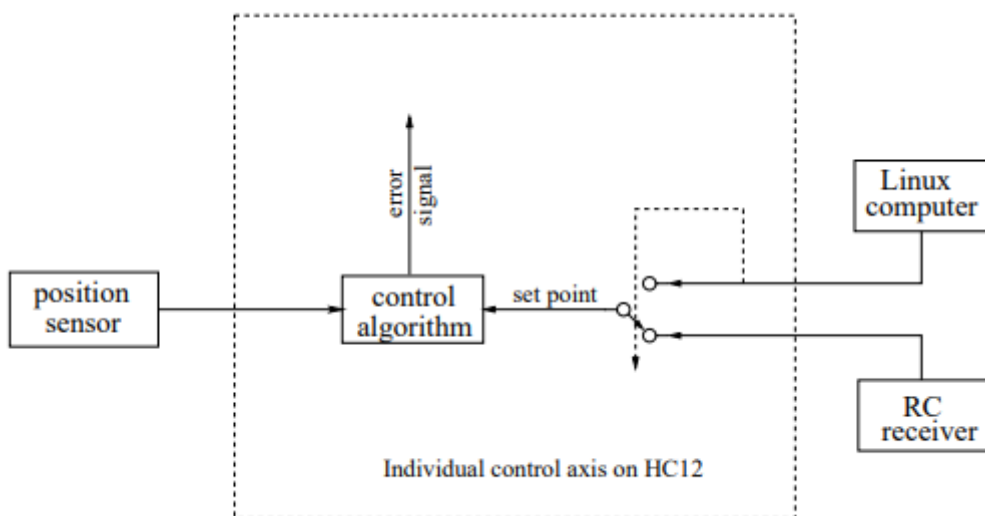
Рисунок 2.4 - Схема стека HC12. Стек складається з 3 пар мікропроцесорних і драйверних плат, кожна з яких відповідає за дві осі управління.

Контрольні вимоги до HC12 надаються за допомогою пульта дистанційного керування або через послідовне з'єднання з бортовим комп'ютером. Коли система працює у віддаленому режимі, запити надходять від ручного радіопередавача. Коли система працює в автоматичному режимі,

кожною окремою віссю керування можна керувати за допомогою комп'ютера або пульта дистанційного керування.



a)



б)

Рисунок 3.5 - Потік даних через окрему пару мікропроцесор HC12 / драйвер живлення.

Перемикання між двома джерелами попиту вибирається комп'ютером, причому джерелом за замовчуванням є пульт дистанційного керування, див.

рис. 2.5 (б). Коли АТ перебуває в дистанційному або автоматичному режимі, HC12 порівнює бажані вимоги з датчиком зворотного зв'язку, застосовуючи закон керування до отриманих сигналів помилок. Потім ці керуючі входи посилюються та перетворюються на високочастотні сигнали ШІМ (імітують змінну напругу постійного струму), які керують приводами. Усі виконавчі механізми мають номінальну напругу 12 В.

Кожна вісь керування має різні вимоги щодо типу зворотного зв'язку, виконавчого механізму та використовуваного закону керування. У наступних розділах коротко описуються окремі осі керування, включаючи розділ про інші модифікації автомобіля. Графічний огляд модифікацій транспортного засобу наведено на рис. 2.6.

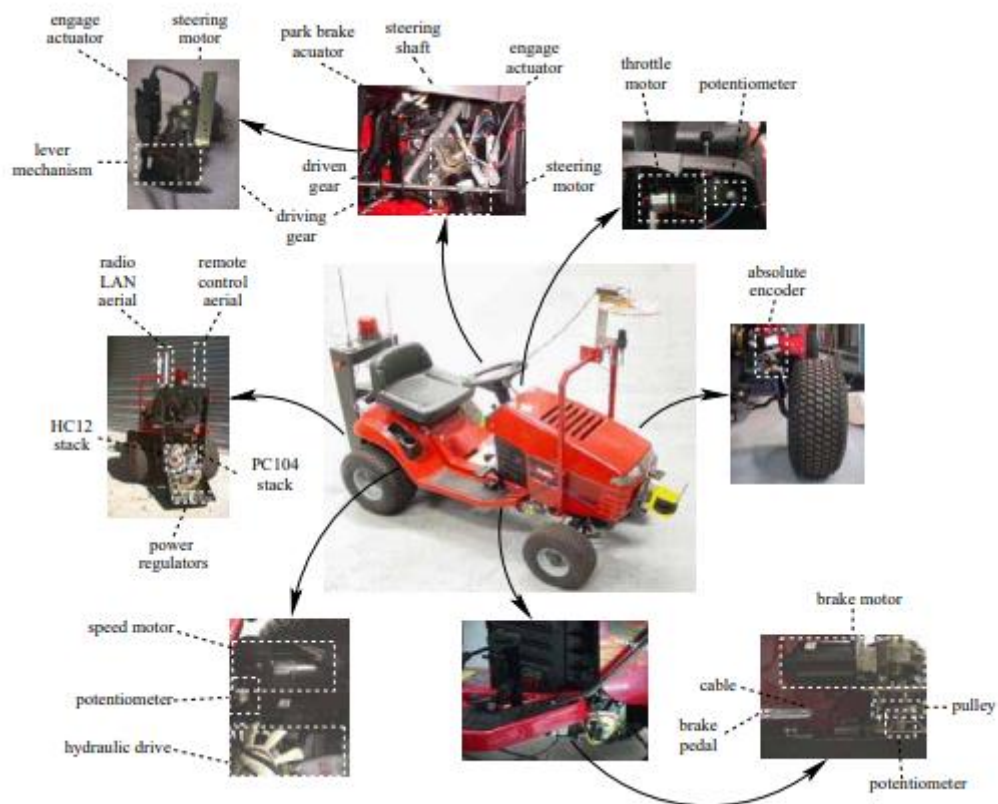


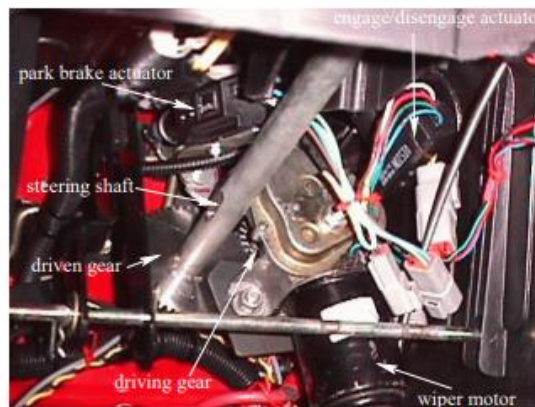
Рисунок 2.6 - Система керування, яка встановлена на АТ, ілюструє, де розташовані окремі елементи.

Рульове управління

Оригінальний рульовий механізм на АТ складався з редуктора та системи навігацій, що керувалося обертанням керма. Для автоматизації рульового керування рульову колонку було оснащено прямозубою передачею, яка приводиться в рух роторним мотор-редуктором¹, як показано на рис. 2.7. Зворотній зв'язок щодо кута повороту керма забезпечує абсолютний датчик, встановлений у точці повороту переднього лівого колеса, дивіться рис. 2.8 (а).



(а) Вид збоку на систему керування рульовим керуванням



б) вид зверху на систему керування рульовим керуванням. Також показано привід увімкнення/відключення рульового керування та привід стоянкового гальма.

Рисунок 2.7 - Система керування рульовим керуванням. Зверніть увагу, наскільки «тісною» є ця територія.

Геометрія рульової тяги така, що ліве та праве колесо обертаються однаково. Через це транспортним засобом не керується строго Акерман, і передні колеса злегка пробуксовують під час повороту автомобіля. Однак транспортний засіб здатний рухатися лише на відносно низьких швидкостях, і ковзання не було визнано значним. Діапазон кутів повороту становить приблизно $\pm 30^\circ$. Коли система керування кермом задіяна, а система перебуває в дистанційному або автоматичному режимі, кут повороту автомобіля контролюється ПД-регулятором, реалізованим на мікропроцесорі HC12.

Активація рульового приводу

Через високу передачу в системі керування рульовим управлінням утруднено ручне керування кермом, коли включений мотор-редуктор. Таким чином, було розроблено механізм, який дозволяє шестерні на двигуні «від'єднуватися» від шестерні на рульовій колонці. Включення та вимкнення ведучої шестерні досягається ковзанням шестерні вздовж шліцьового вихідного вала роторного двигуна. Рухом цієї шестерні вздовж шліцьового вала керує важіль, прикріплений до двопозиційного лінійного приводу від стандартного автомобільного центрального замка, як показано на малюнку 3.8 (b). У включеному стані пружина утримує шестерню в потрібному положенні. У роз'єданому стані набір рідкоземельних магнітів утримує ведучу шестерню на відстані від шестерні на рульовому валу. Для забезпечення зачеплення шестерні зубів, за командою ввімкнення/вимкнення лінійний привід подає імпульс, забезпечуючи відносно високочастотний рух вперед-назад шестерні вздовж вала. Одночасно привід керма подає імпульси, надаючи веденій шестерні рух вперед і назад. Ця тактика забезпечує зачеплення зубів шестерні під час зачеплення та роз'єднання при роз'єднанні.

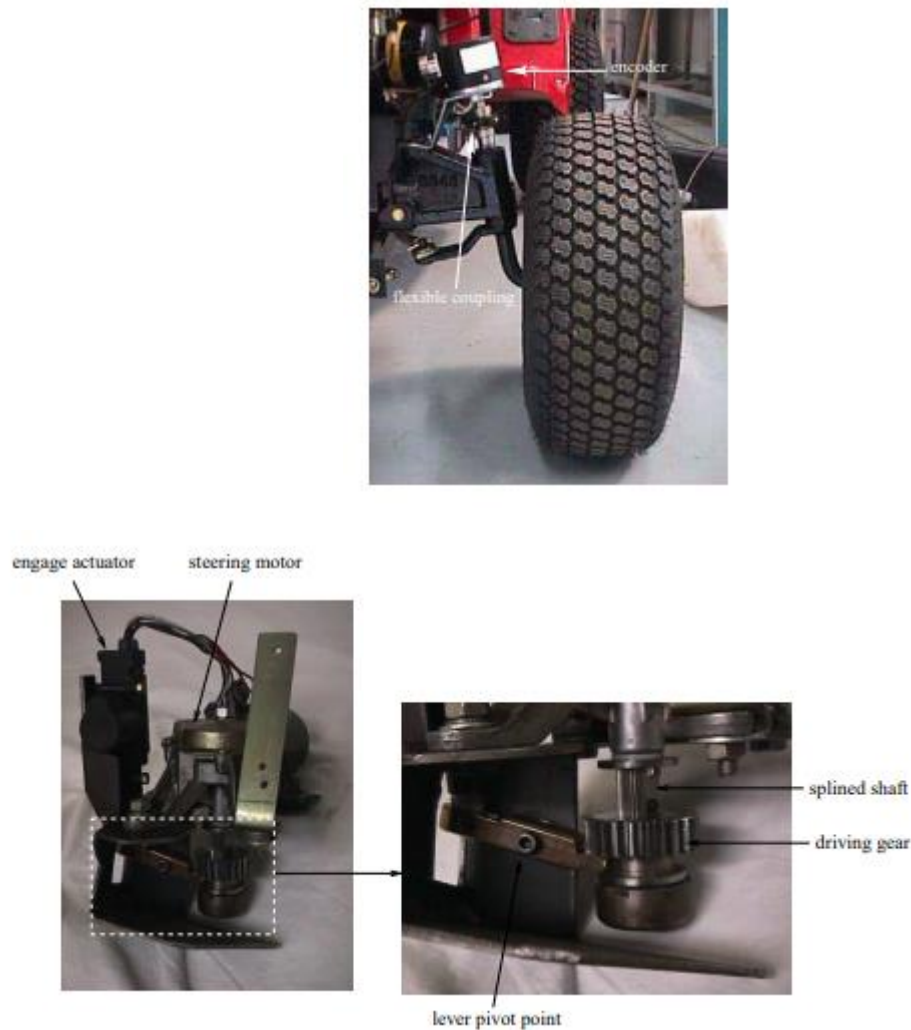


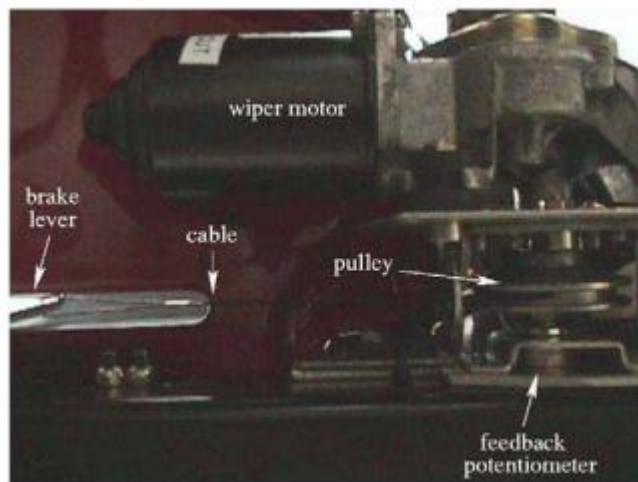
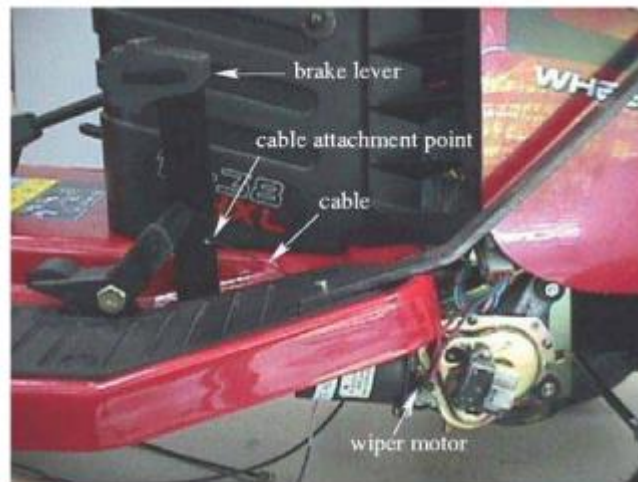
Рисунок 2.8 - Абсолютний кодер і механізми відключення рульового управління.

Зворотний зв'язок забезпечується внутрішнім перемикачем механізму приводу, який показує стан приводу, висунутий або втягнутий. У дистанційному або автоматичному режимі систему керування кермом можна ввімкнути або вимкнути за допомогою стану приводу, який контролюється автоматом стану на мікропроцесорі HC12.

Педаль гальм

Потужність передається від бензинового двигуна АТ до його коліс через систему шківів, з'єднану з гідравлічним приводом. Коли гальмо натиснуто, початкова частина ходу педалі вимикає потужність гідравлічного

приводу шляхом ослаблення приводного ремня. Остання частина ходу педалі приводить в дію механізм, який прикладає набір фрикційних накладок до одного з вихідних валів гідравлічного приводу, тобто до однієї з осей ведучого колеса. Щоб привести в дію педаль гальма, роторний двигун2 приводить в рух педаль через просту систему троса та шківів, дивіться рис. 2.9. Приведення в дію гальма не є безпечним — якщо привід або трос виходять з ладу, гальмо не буде застосовано.



Малюнок 2.9 - Тросико-шківна система, яка приводить в дію педаль гальма.

Відгук про положення педалі забезпечується потенціометром, підключеним до вихідного вала гальмівного роторного двигуна. У дистанційному або автоматичному режимі ПД-регулятор мікропроцесора HC12 контролює положення двигуна.

Стоянкове гальмо

Ручне керування важелем стоянкового гальма просто фіксує педаль гальма в положенні «ON». Цей важіль можна використовувати лише тоді, коли гальмо включено. Приведення в дію цього важеля також забезпечується двопозиційним лінійним приводом від стандартного автомобільного центрального замка.

Зворотний зв'язок забезпечується внутрішнім перемикачем механізму приводу, який показує стан приводу, висунутий або втягнутий. У дистанційному або автоматичному режимі стоянковим гальмом керує автомат стану на HC12. Цей автомат спершу активує педаль гальма, а потім застосовує стоянкове гальмо. На рис. 2.7 показано, де цей привід встановлено на АТ.

Педаль швидкості

Бензиновий двигун подає потужність через набір шківів на гідравлічний привід, який, у свою чергу, приводить в дію задні колеса. Рух вперед і назад із пропорційним керуванням швидкістю забезпечується ногою педаллю, яка за допомогою системи зв'язку переміщує важіль на гідравлічному приводі.

Привід (керування відстанню поділу гідромурфти — відстань поділу, що визначає рівень передачі потужності). На механізмі встановлено автоматичне повернення пружини, завдяки чому, коли він не використовується, гідравлічний привід повертається в нейтральне положення і автомобіль зупиняється.

Автоматизація безпосередньо педалі швидкості була неможливою через обмеження простору.

Замість цього важіль гідравлічного приводу приводиться в дію роторним двигуном³ через простий дволанковий механізм. Ця система також активує педаль швидкості. Зворотний зв'язок з двигуном забезпечується потенціометром, підключеним безпосередньо до валу двигуна, дивіться рис. 2.10. У дистанційному або автоматичному режимі ПД-регулятор мікропроцесора HC12 контролює положення двигуна.

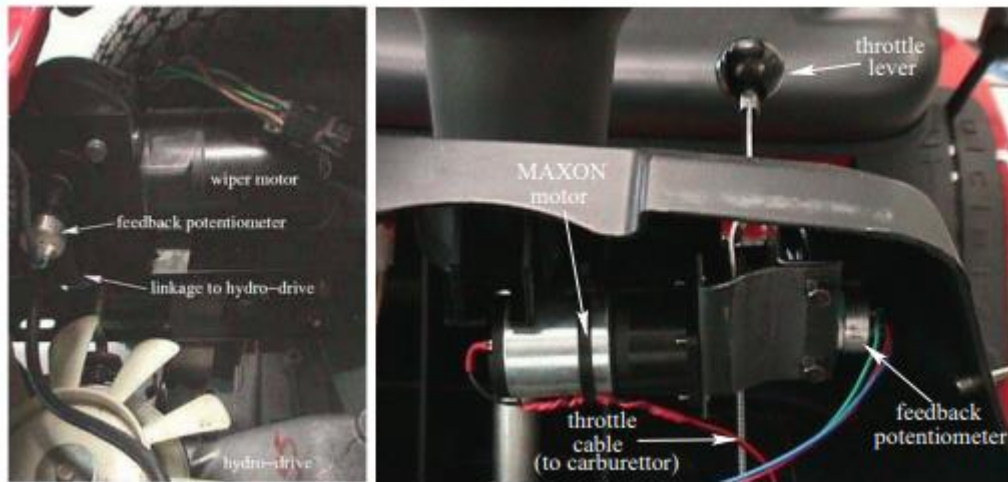


Рисунок 2.10 - Двигуни, що використовуються для керування педаллю швидкості та важелем газу.

Замість цього важіль гідравлічного приводу приводиться в дію роторним двигуном³ через простий дволанковий механізм. Ця система також активує педаль швидкості. Зворотний зв'язок з двигуном забезпечується потенціометром, підключеним безпосередньо до валу двигуна, дивіться рис. 2.10. У дистанційному або автоматичному режимі ПД-регулятор мікропроцесора HC12 контролює положення двигуна.

дросель

Важіль дросельної заслінки керує тросом, з'єднаним із дросельною заслінкою на карбюраторі. Існує три положення дросельної заслінки: повітряна заслінка, швидка і повільна. Існуючий важіль дросельної заслінки та кронштейн було замінено подібними елементами, які могли вмістити

невелику комбінацію двигуна MAXON і головки редуктора, що приводила в рух вал у точці повороту важеля дросельної заслінки. Зворотний зв'язок щодо положення важеля дросельної заслінки забезпечується потенціометром, з'єднаним із точкою повороту важеля регулювання дросельної заслінки та вихідним валом двигуна. На рис. 2.10 зображено фотографію системи керування дросельною заслінкою. У віддаленому або автоматичному режимі ПД-регулятор на HC12 мікропроцесор контролює положення важеля газу.

Системи безпеки

Першою системою безпеки є перемикач з ключем і автоматична система кнопок. Ця система дозволяє перемикатися між режимами роботи, ручним, дистанційним або автоматичним. Ключ-перемикач має три положення. У першому або ручному положенні до приводів не подається живлення, і, отже, транспортним засобом не можна керувати системою HC12. У другому, або віддаленому положенні, живлення подається на приводи, але стек HC12 може приймати лише запити від ручного радіопередавача. У третьому положенні, або положенні готовності до автоматизації, живлення знову подається на приводи, і HC12 може приймати запити від ручного радіопередавача. Карта безпеки в стеку PC104 визначає положення ключового перемикача та кнопки автоматичного керування. Якщо ключ-перемикач знаходиться в положенні готовності до автоматизації і була натиснута кнопка автоматики, то система знаходиться в автоматичному режимі. Потім запити можна надсилати до стеку HC12 з комп'ютера. Крім того, комп'ютер відстежує програмні перемикачі, які дозволяють кожній осі керування окремо перемикатися в автоматичний режим, якщо виконуються умови карти безпеки, описані раніше. Наприклад, у більшості експериментів, проведених у цьому дослідженні, коли система працювала в автоматичному режимі, керування педаллю швидкості та кермом передавалося комп'ютеру, тоді як користувач зберігав контроль над функціями гальмування транспортного засобу за допомогою ручного пульта. радіопередавач.

Лазерний сканер SICK Proximity Laser Scanner (PLS) встановлено в передній частині автомобіля. Цей датчик забезпечує розгортку діапазону 180° з інтервалом $0,5^\circ$ на відстані до 50 м. Він також має реле, які активуються, коли об'єкт потрапляє в спеціально запрограмовані «поля» в поле зору датчика. На АТ основним призначенням цього датчика є уникнення зіткнення, а його поля запрограмовано для активації реле. Це реле вимикає запалювання транспортного засобу при виявленні об'єкта в межах дуги, спрямованої вперед під кутом 120° , на відстані 1,5 м від автомобіля, як показано на рис. 2.11. Звичайно, оскільки датчик спрямований вперед, ця функція забезпечує захист лише від лобових зіткнень. Дані про дальність з цього датчика також надходять у комп'ютерну систему АТ, і до них можна отримати доступ для цілей навігації.

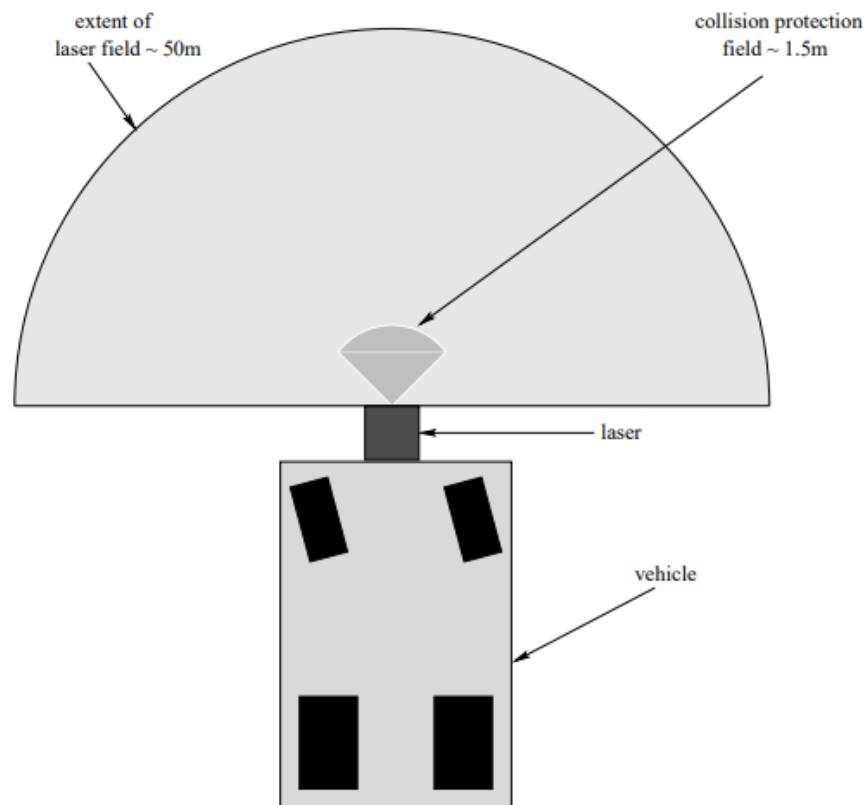


Рисунок 2.11 - Поле зору лазера SICK, що показує поле виявлення зіткнення.



Рисунок 2.12 - Одометрична система, встановлена на тракторі. За допомогою датчика абсолютного значення, встановленого на системі рульового керування, можна визначити відносний курс і інформацію про відстань.

По дві кнопки аварійної зупинки (E-Stop) встановлено з кожного боку задньої частини автомобіля, дивіться рис. 2.13. Ці кнопки також підключені до реле, яке негайно вимикає запалювання автомобіля після активації будь-якого з E-Stops. Крім того, у задній частині транспортного засобу встановлено поворотний червоний сигнальний вогонь, див. рис. 2.13. Він активується, коли перемикач з ключем, описаний раніше, знаходиться в дистанційному режимі або в режимі готовності до автоматизації.

Інші модифікації Odometry

На трактор встановлена система одометрії. Він складається з пари безконтактних перемикачів, які використовуються для контролю обертання спеціально виготовленого диска (два потрібні перемикачі, щоб визначити, у якому напрямку обертається диск). Цей диск має 40 «зубів» на лицьовій частині. Диск пристосований для обертання навколо тієї самої осі, що й переднє ліве колесо, див. рис. 2.12. Ця система, по суті, є досить грубим фазово-квадратурним інкрементальним шифратором, її основна мета в цій

роботі - забезпечити зворотний зв'язок швидкості автомобіля. Датчики наближення вимірюють висхідні та спадні краї зубів диска, що забезпечує кутову роздільну здатність 160 одиниць.

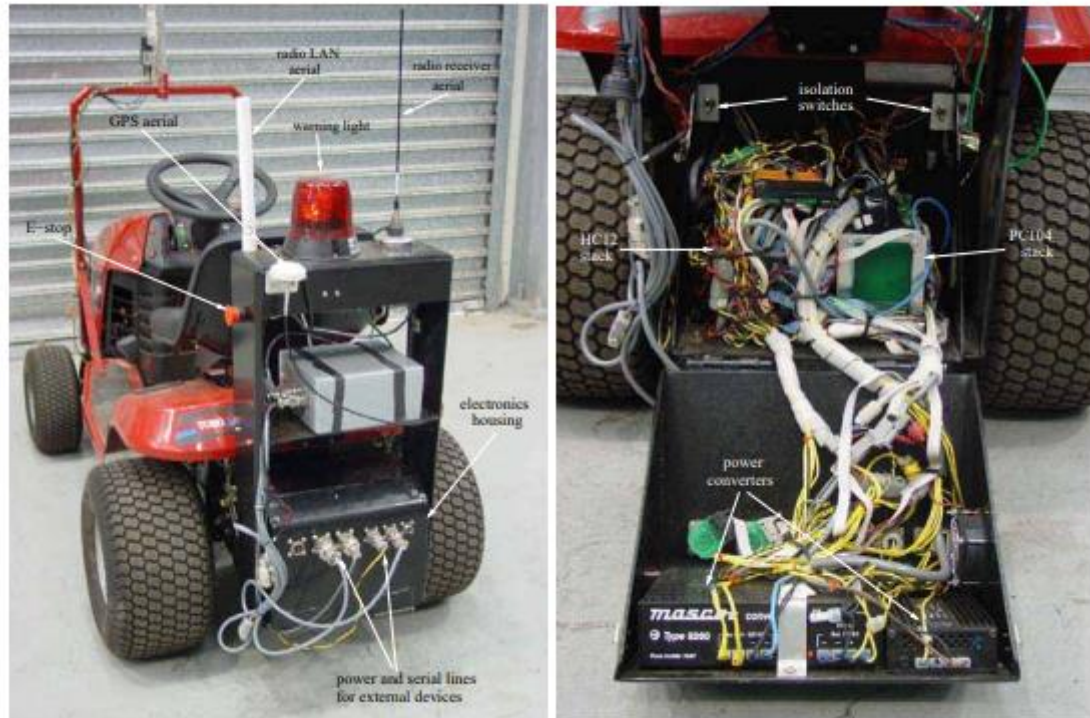


Рисунок 2.13 - Корпус електроніки та інше обладнання, встановлене в задній частині автомобіля.

Різні модифікації

Інші модифікації включають встановлення різних кронштейнів і корпусів для розміщення електроніки, а також для кріплення двигунів і датчиків, як показано на рис. 2.13. Блок електроніки, який містить стек HC12, стек PC104 та різні інші електричні елементи, був встановлений у задній частині автомобіля. Над коробкою є серія полиць, до яких встановлено радіолокацію LAN та антени дистанційного керування, а також сигнальну лампу та кнопки E-Stop.

На транспортному засобі також були встановлені різні навігаційні датчики, зокрема:

- Всеспрямована камера EyeSee 360: основний навігаційний датчик у цій роботі.
- Високошвидкісний датчик орієнтації АРБАЛЕТА: використовується для орієнтації за компасом.
- Кінематичний GPS у реальному часі (RTK): використовується для базової правди в цій роботі.

Антенна для додаткового GPS прикріплена до корпусу електроніки, як показано на рис. 2.13, а модуль GPS розміщено на полиці (сіре поле на рис. 2.13). Камера та датчик орієнтації виконують основне вимірювання для роботи.

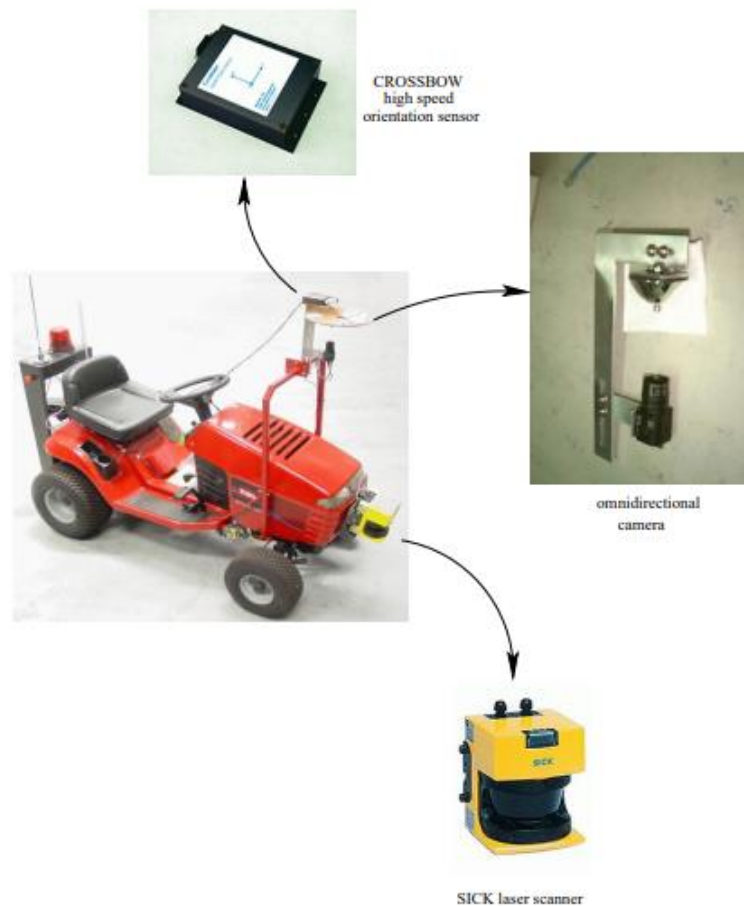


Рисунок 2.14 - Точки кріплення PLS, всенаправленої камери та датчика орієнтації.

Їхні місця встановлення показані на рис. 2.14 разом із розташуванням SICK PLS.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Розпізнавання низького рівня

Стек HC12 отримує відгуки про:

- положення приводу педалі гальма: потенціометр з роздільною здатністю 1024 кроків
- положення приводу стоянкового гальма: двопозиційний перемикач, ON або OFF
- положення приводу педалі швидкості: потенціометр з роздільною здатністю 1024 кроків
- положення дросельної заслінки: потенціометр з роздільною здатністю 1024 кроків
- кут повороту: абсолютний датчик з роздільною здатністю 4096 відліків
- Положення включення рульового механізму: двопозиційний перемикач, ON або OFF
- обертання переднього лівого колеса (одометрія): фазово-квадратурний кодер з роздільною здатністю 160 кроків.

Усі вони надсилаються на комп'ютер.

У цій роботі обертання кермових коліс проти годинникової стрілки визначається як позитивне, для якого транспортний засіб повертатиметься ліворуч під час руху вперед, а обертання за годинниковою стрілкою визначається як негативне, для якого транспортний засіб повертатиметься праворуч, коли подорожі вперед.

Конфігурація Ackerman на транспортному засобі призначена для обмеження ковзання передніх коліс під час повороту автомобіля шляхом злегка обертання внутрішнього переднього колеса на повороті більше, ніж зовнішнє переднє колесо. Транспортні засоби, схожі на автомобілі, зазвичай

моделюються так званою моделлю велосипеда, в якій колеса на передній і задній осях згорнуті до одного «віртуального» колеса на кожній осі. Оскільки вимірювання швидкості автомобіля та керування стосуються переднього лівого колеса, потрібно внести корективи для розрахунку кута повороту в середній точці передньої осі та швидкості автомобіля в середній точці задньої осі. вісь. Наприклад, якщо автомобіль повертає ліворуч, виміряна швидкість переднього лівого колеса буде трохи нижчою, ніж справжню швидкість транспортного засобу. Так само для правостороннього повороту виміряна швидкість буде трохи вищою за фактичну швидкість автомобіля.

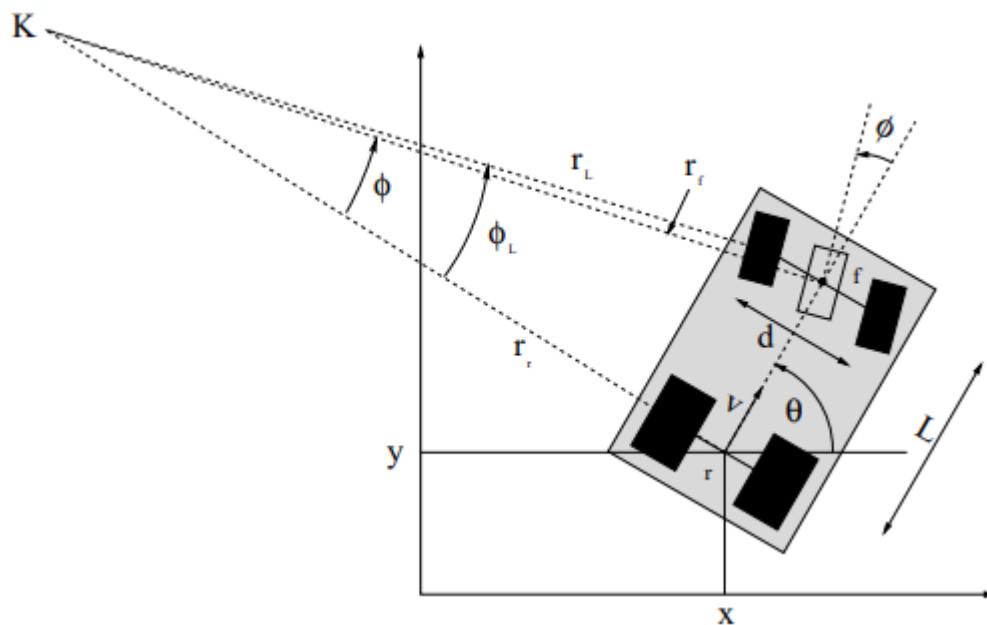


Рисунок 3.1 - Геометрія рульового керування АТ.

Вимірювання рульового керування спочатку перетворюється з показань кодера на кут у радіанах, прив'язаний до попередньо визначеного центрального положення:

$$\phi_L = \frac{(\text{encoder}_{\text{centre}} - \text{encoder}_{\text{current}})2\pi}{4096} \quad (3.1)$$

з поворотом проти годинникової стрілки, визначеним як позитивний. Ця система датчиків дає роздільну здатність кута повороту $\pm 0,0879^\circ$.

Вимірювання рульового керування на лівому колесі перекладається на середню точку передньої осі за допомогою відомого рівняння Акермана (нагадуючи, що поворот коліс ліворуч визначається як позитивний кут повороту):

$$\phi = \arctan \left(\frac{1}{\cot \phi_L + \frac{d}{2L}} \right) \quad (3.2)$$

де ϕ_L означає кут, виміряний на лівому колесі, $d = 0,74$ м — відстань між коліс на передній осі, а $L = 1,2$ м — відстань між передньою та задньою віссю.

Одометрія дозволяє розрахувати швидкість автомобіля та відносну пройдену відстань. Одометрія вимірює обертання переднього лівого колеса та перетворюється на пройдену відстань через знання діаметра колеса:

$$distance = \frac{(encoder_{current} - encoder_{ref})2\pi r_w}{160} \quad (3.3)$$

де $r_w = 0,175$ м – радіус колеса кочення. Швидкість можна обчислити, знаючи приріст часу вимірювання між $encoder_{ref}$ і $encoder_{current}$:

$$v_L = \frac{distance}{\Delta t} \quad (3.4)$$

На частоті 1 Гц роздільна здатність за швидкістю становить $\pm 0,0069$ мс⁻¹. Однак для цілей контролю швидкість потрібно вимірювати на вищій частоті, що призводить до гіршої роздільної здатності. Виявилось, що частота 2 Гц є хорошим компромісом, забезпечуючи роздільну здатність за швидкістю $\pm 0,0137$ мс⁻¹.

Вимірювання швидкості також вимагає корекції для перекладу вимірювання середина задньої осі. Знову посилаючись на рис. 3.1 використовуючи той факт, що під час повороту кожна точка транспортного засобу має однакову кутову швидкість:

$$v_f = \frac{\sin \phi}{\sin \phi_L} v_L \quad (3.5)$$

де v_f означає швидкість «віртуального» колеса в середині передньої осі, а v_L означає швидкість, виміряну на лівому передньому колесі, а ϕ є ефективним кутом повороту, розрахованим за допомогою рівняння 3.2.

Швидкість середньої точки задньої осі, показаної як точка «r» на рис. 2.15, легко обчислити, знову визнавши, що кожна точка на транспортному засобі обертається навколо точки К з однаковою кутовою швидкістю:

$$v_r = v = v_f \cos \phi \quad (3.6)$$

На рис. 3.2 порівнюється виміряна швидкість і кут повороту лівого колеса з виправленими значеннями, показуючи, що важливість поправки досить обмежена для більшості діапазонів роботи для цих вхідних даних автомобіля. На практиці ці виправлення було виявлено, що вони мало впливають на керування транспортним засобом, оскільки метою дисертації є використання контролю зі зворотним зв'язком, який, якщо він ефективний, компенсує неточності в оцінці заводу.

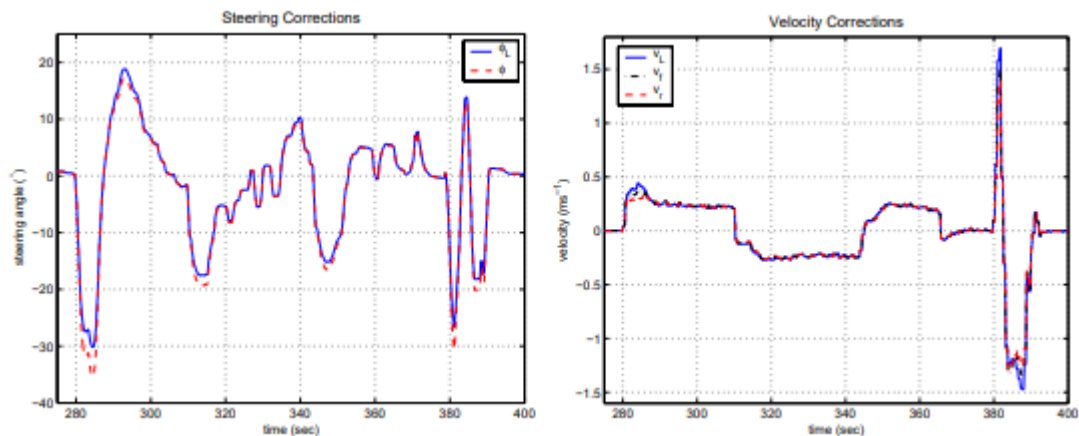


Рисунок 3.2 - Корекція кута повороту та швидкості. Зверніть увагу, що виправлення є відносно незначними, за винятком випадків великих вхідних даних.

Обчислювальна техніка

Стек PC104 — це мініатюрний персональний комп'ютер, створений для роботи в складних умовах. Це «мозок» навігаційної системи, який передає інструкції стеку HC12, який, у свою чергу, керує виконавчими механізмами автомобіля.

Обладнання

Стек PC104 з'єднаний за допомогою радіоLAN з обчислювальною мережею CSIRO Pinjarra Hills, що забезпечує віддалений зв'язок із комп'ютерною системою AT. Комп'ютер AT працює під управлінням операційної системи Linux. На рис. 3.3 показана схема комп'ютерної системи разом із її підключенням до стеку HC12. Основні компоненти комп'ютерного стека є:

- Центральний процесор — процесор Crusoe 800 МГц.
- жорсткий диск — флешка на 256 Мб (твердотільний жорсткий диск).
- захоплювач кадрів — дозволяє підключити дві камери.
- плата послідовного порту — дозволяє підключати до восьми послідовних пристроїв.
- адаптерна плата – дозволяє підключати клавіатуру та монітор до стеку PC104

Наразі три послідовних порти на 8-канальній послідовній платі використовуються для зв'язку зі стеком HC12 (тобто по одному для кожного процесора HC12 у стеку). Решта портів доступні для підключення датчиків, наразі датчика орієнтації та GPS. Всенаправлена камера підключена до кадр-граббера, а дані з лазера SICK також доступні для комп'ютера.

3.2. Програмне забезпечення

В основі програмної системи АТ лежить магазин. Сховище надає спільний блок пам'яті, який використовується як сховище даних. Клієнтські процеси можуть створювати структури даних у цьому сховищі, а потім читати або записувати дані в ці структури. Це дозволяє спілкуватися між окремими запущеними процесами, за умови, що кожен з процесів підключається до сховища та реєструє змінну того самого типу з тим же дескриптором. Клієнтський процес реєстратора дозволяє записувати дані, записані в сховище, із міткою часу.

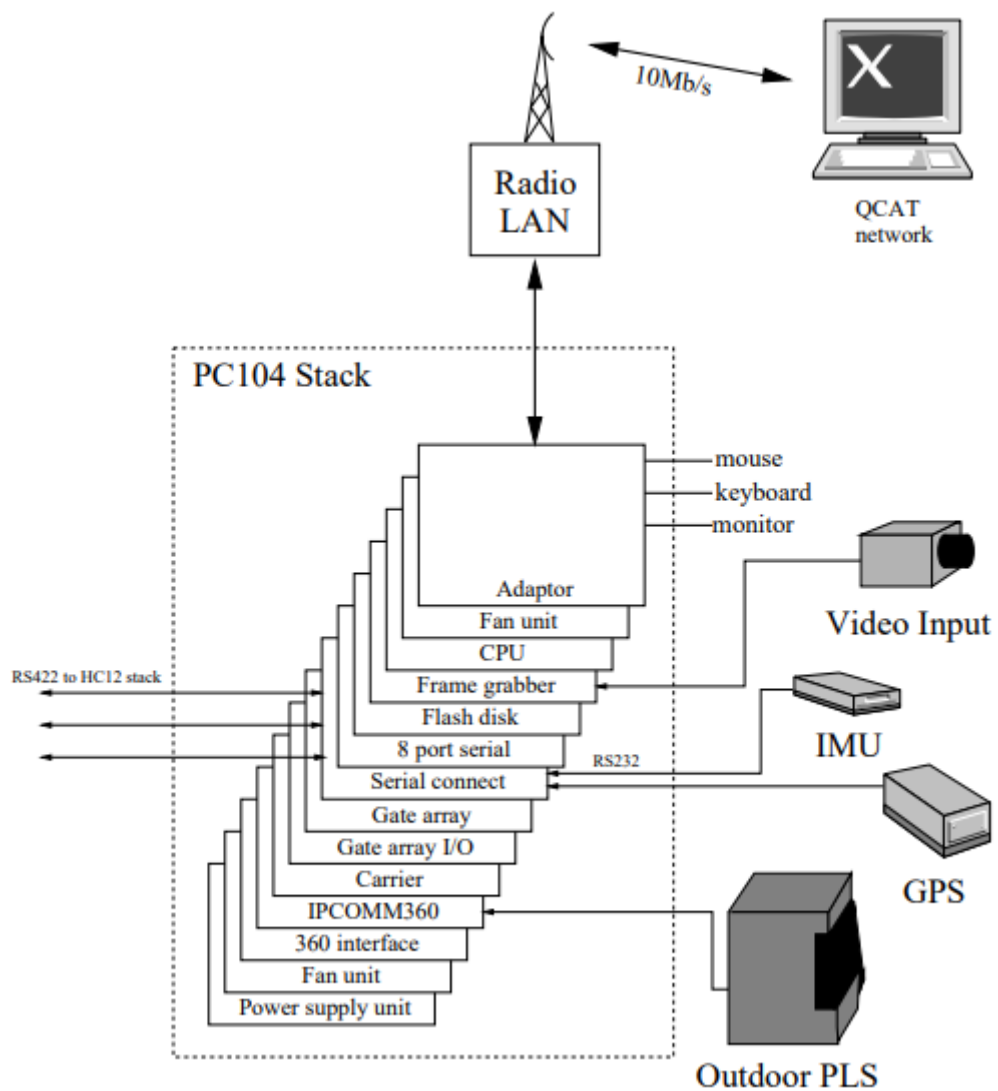


Рисунок 3.3 - Схема стека PC104 АТ.

Рис. 3.4 ілюструє механізми зв'язку, доступні клієнтським процесам. Для зв'язку з НС12 сервер трактора зчитує дані, що надходять із НС12, за потреби застосовує масштабування та розміщує його у відповідній структурі, яка тут називається `tr pos`, яка потім записується в сховище для використання іншими процесами. Клієнтські процеси можуть прочитати стан НС12s, отримавши доступ до `tr pos` у сховищі. Потім ці процеси можуть приймати командні рішення та записувати вимоги до сховища у відповідній структурі, яка тут називається `tr demand`. Потім структура попиту в свою чергу зчитується тракторним сервером, масштабується та передається команди стеку НС12.

Хоча бортовий комп'ютер АТ має можливість підключити монітор і клавіатуру, за нормальної роботи це недоступно. Дані можна імпортувати та експортувати з комп'ютера АТ на віддалений комп'ютер за допомогою засобу Remote Tool Control, `rtc-export`. Ця функція дозволяє взаємодіяти з віддаленими комп'ютерами через сценарії Tcl/Tk, що дозволяє контролювати змінні та коригувати параметри в межах процесів, що виконуються в стеку РС104 АТ. Приклад такого графічного інтерфейсу користувача, що працює на віддаленій машині, показано на рис. 3.5.

Типовий набір процесів, що виконуються на комп'ютері АТ, показаний на рис. 3.5. У цьому випадку дані датчика зчитуються та обробляються процесами сервера зору та орієнтації та записуються в сховище. Програма керування зчитує ці оброблені дані, приймаючи командні рішення на основі цих даних і, можливо, поточного стану НС12s, який також зчитується зі сховища. Про прийняття командних рішень, програма управління розміщує дані в структурі попиту, яка записується в магазин. `tractor-server` зчитує ці дані попиту, масштабує їх і видає команди до відповідних плат у стеку НС12. Усі дані, записані в сховище, також можна записати на диск.

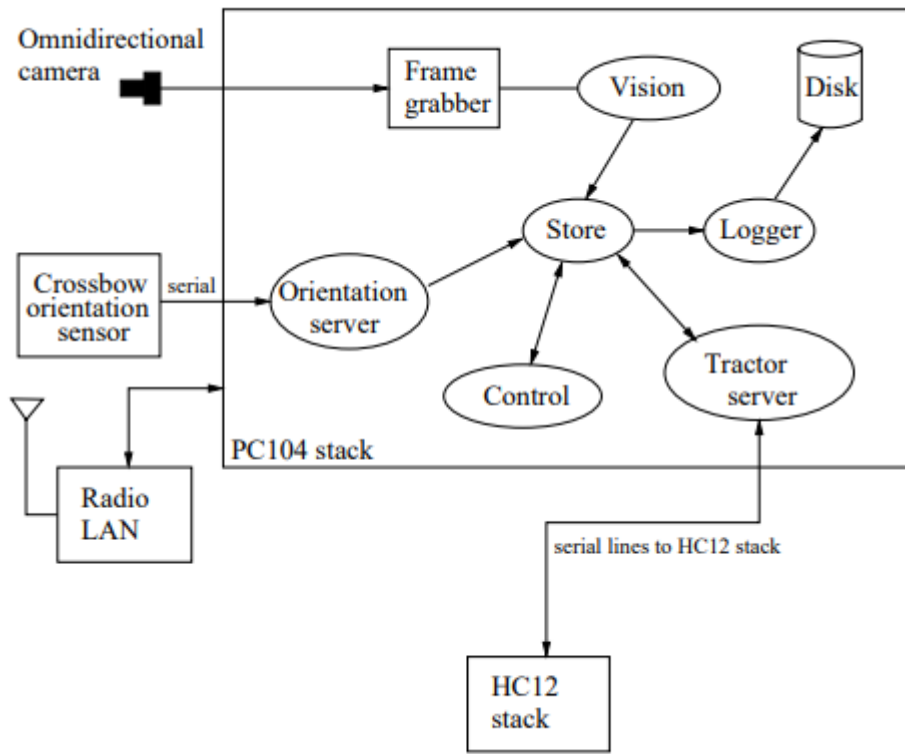
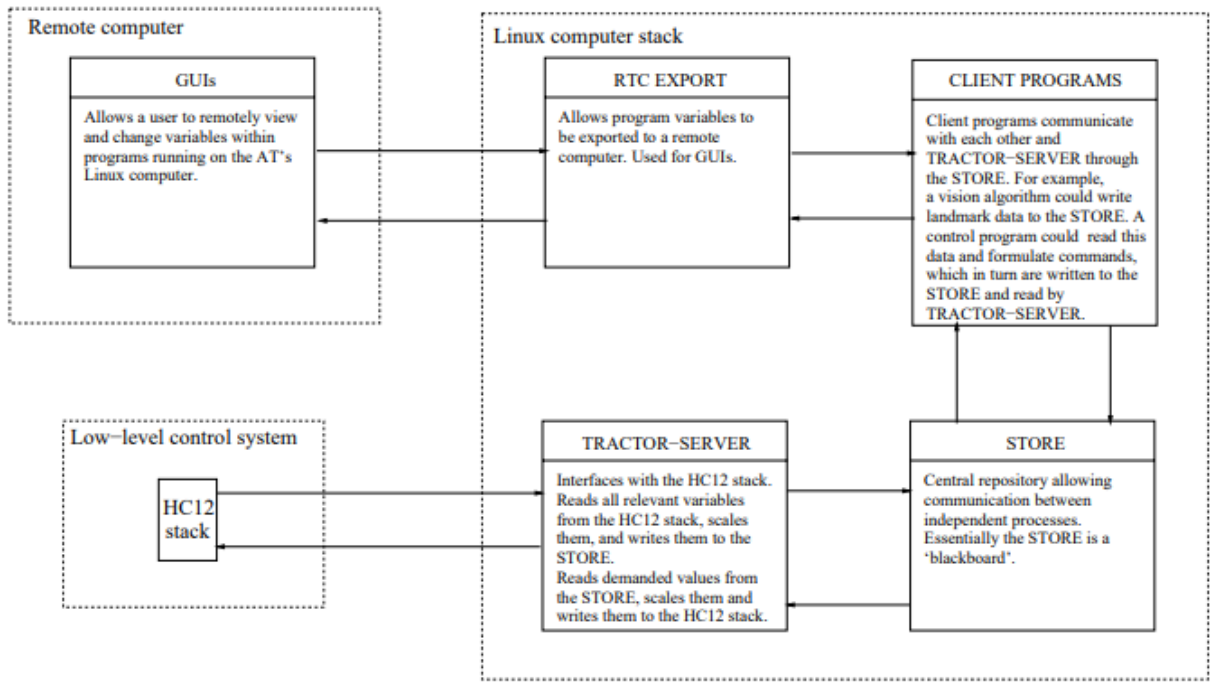


Рисунок 3.4 - Огляд систем програмного забезпечення АТ.

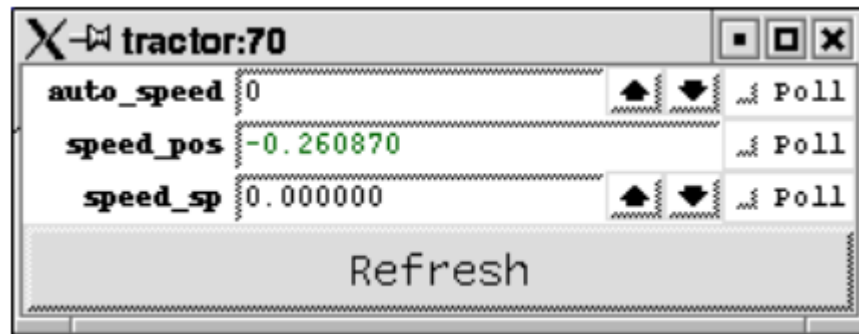


Рисунок 3.5 - Приклад GUI, що працює на віддаленій машині.

Трактор-сервер

Окрім полегшення зв'язку між комп'ютером і HC12, трактор-сервертакож контролює положення трипозиційного перемикача та кнопки на приладовій панелі АТ, що визначає стан системи (тобто ручний, дистанційний або автоматичний). Коли стан системи є автоматичним, система керування може приймати запити від комп'ютера. У структурі попиту, записаній у магазин, міститься програмний перемикач для кожної окремої осі керування. Якщо цей програмний перемикач активований, сервер трактора може надіслати відповідний запит до стеку HC12.

Як зазначалося раніше, після того, як дані зчитуються з HC12s, вони масштабуються перед записом у сховище. Наприклад, справжньою вимогою для керування кермом є значення кодера в діапазоні від 0 до 4096 відліків⁵. Однак користувачам АТ не обов'язково знати положення енкодера, радше кут повороту в радіанах є більш корисним. Так само, коли вимоги зчитуються зі сховища, їх потрібно масштабувати до оригінальної форми HC12, перш ніж вони будуть записані в HC12. По суті, трактор-сервер піклується про деталі зв'язку з HC12s, що дозволяє користувачеві вимагати та читати наступні стани автомобіля:

- кут повороту: пропорційний в діапазоні $[-0,52, 0,52]$ рад]
- увімкнення керма: УВІМК. або ВІМК

- гальма: УВИМК. або ВИМК
- стоянкове гальмо: УВИМКНЕНО або ВИМКНЕНО (також застосовує гальмо, якщо гальмо вимкнено)
- дросель: СНОКЕ, HIGH або LOW
- педаль швидкості
- швидкість автомобіля: пропорційна в діапазоні $[-1, 2 \text{ мс}^{-1}]$ або
- положення педалі швидкості: пропорційне в діапазоні $[-1, 1]$

На рис 3.6 (а) наведено приклад структури, що містить дані, зчитані з НС12, масштабовані та записані в сховище. На рис. 3.6 показано структуру попиту, яка зчитується зі сховища тракторним сервером і згодом масштабується до форми, необхідної для НС12.

Також серверний модуль тягача розраховує швидкість автомобіля, виходячи з показань одометрії. У випадку педалі швидкості важливо зазначити, що трактор-сервер встановлює положення цього важеля, яке потім підтримується контуром PID на НС12, а не спеціально встановлює швидкість автомобіля. Програмний перемикач дозволяє процесу трактора-сервера перемикатися між прямим керуванням швидкістю автомобіля або положенням педалі швидкості (у структурі попиту цей програмний перемикач є змінною *vel pid*). Контур швидкості реалізований за допомогою циклу PID, що працює на рівні трактор-сервер. Вихідним сигналом цього контуру ПІД є задане значення положення педалі швидкості, яке записується в НС12.

Контроль швидкості

Контури керування швидкістю для інших механічно подібних транспортних засобів спиралися на підходи нечіткої логіки та контроль PD за допомогою а термін переривчастого перемикування ON-OFF. Наш підхід подібний до підходу Liubakka, які використовують PI-регулювання з посиленням на основі швидкості автомобіля (серед інших параметрів). Однак для керування АТ використовується додатковий термін прямого зв'язку, який

допомагає затиснути педаль швидкості, особливо на низькій швидкості ($|v| < 0,1 \text{ мс}^{-1}$). Блок-схема контуру керування швидкістю проілюстрована на рис. 3.7. Хоча це не показано на діаграмі, значення посилення адаптовано до попиту. Контрольні підсилення були налаштовані експериментально і наведені в таблиці 3.1.

The image shows two MATLAB command windows side-by-side. The left window shows the definition of a structure variable 'tr_pos' and its assignment with numerical values. The right window shows the definition of a structure variable 'tr_demand' and its assignment with numerical values.

```

asok{ush003}74:%ddxsh -s tractor
store@tractor: value tr_pos
struct {
    double speed;
    int throttle;
    double steer;
    int engage;
    double brake;
    int park;
    double speed_sp;
    double throttle_sp;
    double steer_sp;
    int engage_sp;
    double brake_sp;
    int park_sp;
    int enc;
    int auto_speed;
    int auto_throttle;
    int auto_steer;
    int auto_engage;
    int auto_brake;
    int auto_park;
    double velocity;
    double distance;
};
1073021289.12578000 [41948]
struct {
    double speed = -0.052632;
    int throttle = 0;
    double steer = 0.223961;
    int engage = 1;
    double brake = 0.000000;
    int park = 0;
    double speed_sp = 0.000000;
    double throttle_sp = 0.000000;
    double steer_sp = 0.000000;
    int engage_sp = 1;
    double brake_sp = 1.000000;
    int park_sp = 1;
    int enc = -1;
    int auto_speed = 0;
    int auto_throttle = 0;
    int auto_steer = 0;
    int auto_engage = 0;
    int auto_brake = 0;
    int auto_park = 0;
    double velocity = 0.000000;
    double distance = 0.000000;
} tr_pos;
store@tractor:

asok{ush003}78:%ddxsh -s tractor
store@tractor: value tr_demand
struct {
    double speed;
    int throttle;
    double steer;
    int engage;
    double brake;
    int park;
    int auto_speed;
    int auto_throttle;
    int auto_steer;
    int auto_engage;
    int auto_brake;
    int auto_park;
    double velocity_sp;
    int vel_pid;
};
0.0 [0]
struct {
    double speed = 0.000000;
    int throttle = 0;
    double steer = 0.000000;
    int engage = 0;
    double brake = 0.000000;
    int park = 0;
    int auto_speed = 0;
    int auto_throttle = 0;
    int auto_steer = 0;
    int auto_engage = 0;
    int auto_brake = 0;
    int auto_park = 0;
    double velocity_sp = 0.000000;
    int vel_pid = 0;
} tr_demand;
store@tractor:
  
```

Рисунок 3.6 - Приклади змінних зберігання, що використовуються для читання з НС12 і запису в нього.

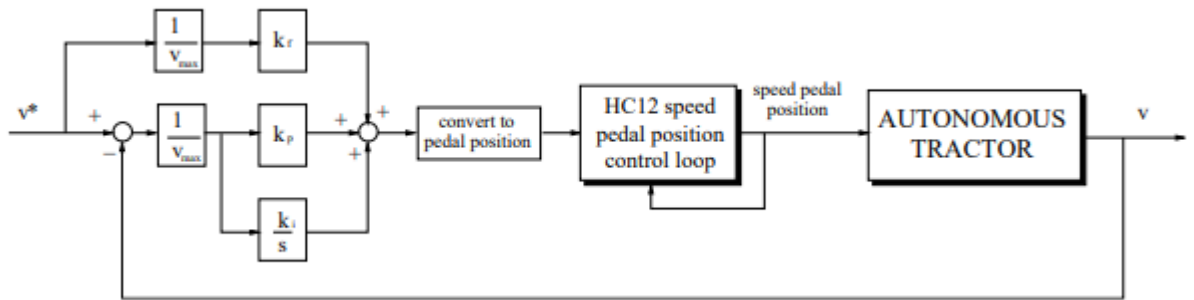


Рисунок 3.7 - Контур регулювання швидкості.

Таблиця 3.1 - Налаштовані вручну підсилення для контуру регулювання швидкості.

Швидкість (мс^{-1})	k_f	$k_{\text{стоп}}$	k_i
$ v > 0,13$	0,0	0,25	0,45
$0 < v \leq 0,13$	0,05	0,25	0,85
$-0,13 < v \leq 0$	0,1	0,25	0,85

Відповіді на різні покрокові введення для низьких і високих вимог швидкості показано на рис. 3.8. Відстеження є хорошим для попиту $\pm 1 \text{ мс}^{-1}$ з невеликим перевищенням. Для вимоги $\pm 0,1 \text{ мс}^{-1}$ відстеження є коливальним. Це пов'язано з квантуванням визначення швидкості, як описано в розділі 3.3.2. Дискретизація з частотою 1 Гц дає роздільну здатність швидкості $0,0069 \text{ мс}^{-1}$. Однак ця частота дискретизації занадто низька, щоб забезпечити адекватний контроль, і її було збільшено до 2 Гц, для якої роздільна здатність на швидкості становить $0,0137 \text{ мс}^{-1}$ — отже, коливальна поведінка навколо заданого значення швидкості. Крім того, обидві відповіді демонструють велику затримку, порядку 1 секунди для першого запиту та 3 секунд для другого. Цю затримку можна пояснити відносно низькою частотою дискретизації та низькою роздільною здатністю і затримки зв'язку між поданням запиту на комп'ютері та зчитуванням із HC12. Також сприяє

ефект затиску на педалі швидкості — це особливо важливо для низьких вимог до швидкості і є причиною, по якій потрібен термін подачі вперед.

Незважаючи на обмеження, цей підхід є достатнім для цілей роботи в цій дипломній роботі. Однак кодер з вищою роздільною здатністю для вимірювання швидкості, безумовно, покращить легкість керування транспортним засобом.

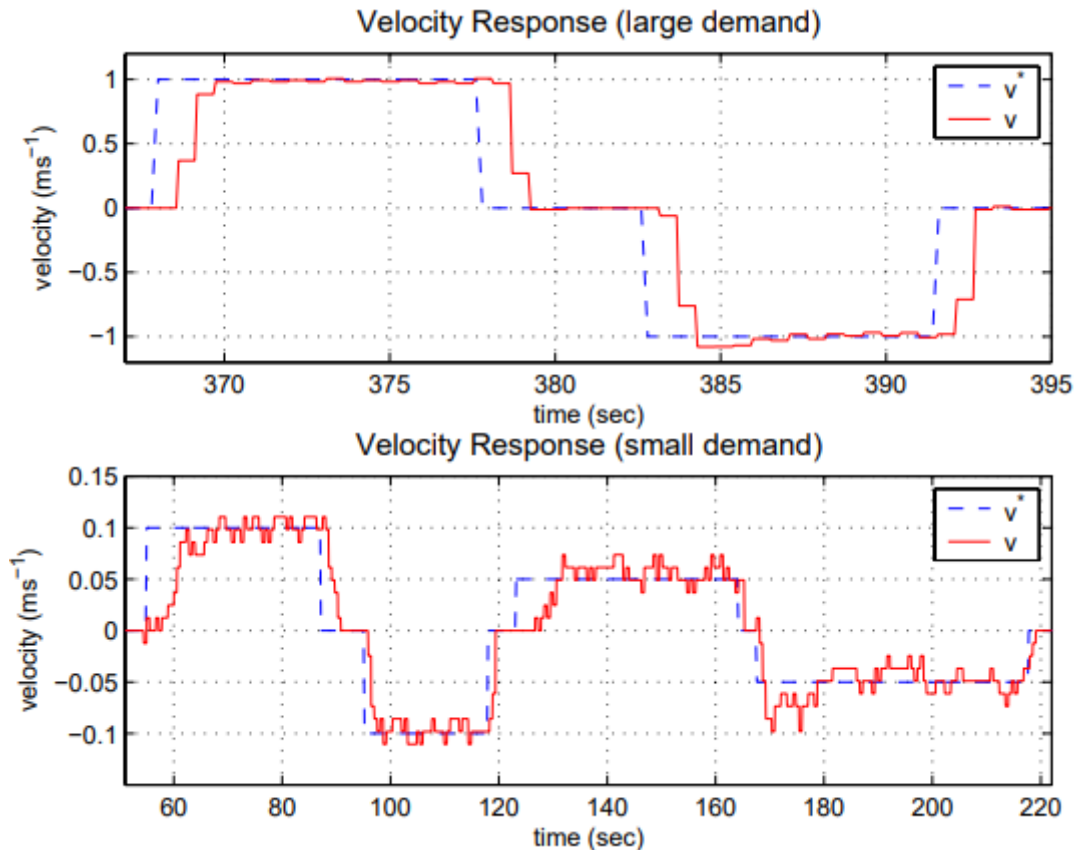


Рисунок 3.8 - Результати циклу керування швидкістю, попит – v^* , а відповідь – v . Зверніть увагу, що коливання в основному пов'язані з квантуванням вимірювання швидкості.

Моделювання транспортного засобу

Для полегшення розробки різноманітних алгоритмів керування та навігації, математичних моделей кінематичної та динамічної реакції транспортного засобу на вимоги комп'ютера системи були розроблені. Стандартна кінематична модель для задньопривідного транспортного засобу,

подібного до автомобіля, була представлена вище. Цю модель можна використовувати для інтеграції шляху та для імітації руху транспортного засобу. Динамічні моделі транспортного засобу є специфічними для цього автомобіля, враховуючи унікальність системи автоматизації та самої платформи — ці динамічні моделі були отримані шляхом експерименту. Як кінематичні, так і динамічні аспекти моделювання використовуються в MATLAB і SIMULINK для розробки та аналізу, контролю та навігаційних алгоритмів, що прискорюють фізичні експерименти на АТ.

Загальну модель транспортного засобу показано на рис. 3.9. Він складається з динамічного блоку, який моделює реакцію рульового управління та контурів швидкості, і кінематичного блоку, який моделює геометрію та рух автомобіля. Модель дозволяє нам оцінювати продуктивність різних контролерів у реалістичному, але зручному середовищі. У більшості випадків контролер також повертає змінну перемикача STOP SIMULATION, яка зупиняє моделювання, коли сталася певна подія, наприклад, коли транспортний засіб знаходиться в межах допустимої відстані від пози воріт.

Під час реалізації програмного забезпечення для АТ більшість процесів були написані таким чином, щоб їх можна було запускати в режимі онлайн або офлайн. Он-лайн стосується процесу з використанням реальних даних у режимі реального часу, тоді як офлайн-обробка використовується для тестування процесів із змодельованими даними або даними, зібраними в режимі онлайн. Зокрема, в коді керування еквівалентна версія моделі MATLAB / SIMULINK інтегрована в код для автономного тестування. Це забезпечує точний переклад контролерів, розроблених у MATLAB, у код C на транспортному засобі.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням

Загальні положення

Інструкція з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ) в редакції від 20.01.2018 р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 01 вересня 2017 року, з урахуванням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», затвердженими наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 13.02.2012 р. №91, «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів», затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України 09.01.1998 р. № 4.

Всі положення даної інструкції з охорони праці поширюються на електриків освітньої установи, які виконують роботи з ремонту та обслуговування електроустаткування.

До самостійного виконання робіт з ремонту та обслуговування електричного обладнання допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання за фахом, а також:

- медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я до виконання даної роботи;

- вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці;

- навчання безпечним методам і прийомам праці;

перевірку знань правил улаштування електроустановок, правил безпеки при експлуатації електроустановок, вимог охорони праці;

при ремонті і обслуговуванні електрообладнання напругою до 1000В мають групу з електробезпеки не нижче III, а понад 1000В - не нижче IV.

Електрику необхідно знати і виконувати вимоги інструкції з охорони праці при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, інструкцій по роботі з ручним інструментом, електричним інструментом і драбинами.

Електрику при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування слід дотримуватися вимог Правил безпечної експлуатації електричних установок споживачів і Правил технічної експлуатації електричних установок споживачів, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з вимогами цих Правил.

Виконуючи роботи з ремонту та обслуговування електричного обладнання, може спостерігатися вплив нижчеперелічених шкідливих і небезпечних виробничих факторів:

- падіння з висоти;
- ураження електричним струмом;
- підвищена напруженість електричного поля;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищений рівень вібрації;
- недостатня освітленість робочої зони;
- фізичні перевантаження;
- нервово-психічні перевантаження.

Електрику при виконанні ремонту і обслуговування електроустаткування необхідно використовувати наведені нижче ЗІЗ:

- напівкомбінезон бавовняний - на 12 місяців;
- рукавички на - 3 місяці;

черевики шкіряні на - 24 місяці;
калоші діелектричні - чергові;
рукавиці діелектричні - чергові;
килимки діелектричні - чергові.

Електрик при ремонті і обслуговуванні електрообладнання зобов'язаний:

тримати у чистоті і порядку своє робоче місце;
дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку;
вміти застосовувати засоби індивідуального, колективного захисту, засоби пожежогасіння;

вміти надавати першу допомогу потерпілим від нещасних випадків;

знати і виконувати всі вимоги нормативних актів з охорони праці, правил протипожежного захисту та виробничої санітарії.

негайно повідомляти своєму безпосередньому керівнику про будь-який нещасний випадок, що трапився на виробництві, про ознаки професійного захворювання, а також про ситуацію, яка створює загрозу життю і здоров'ю людей;

знати терміни випробування захисних засобів і пристосувань, правила експлуатації, догляду та користування ними. Не дозволяється використовувати захисні засоби і пристосування з простроченим терміном перевірки;

виконувати тільки доручену роботу;

дотримуватися вимог інструкцій з експлуатації обладнання;

знати, де знаходяться засоби надання допомоги, первинні засоби пожежогасіння, головний і запасні виходи, шляхи евакуації в разі аварії або пожежі;

знати номери телефонів медичної установи (103) і пожежної охорони (101).

Електрик може відмовитися від виконання дорученої йому роботи, якщо виникла виробнича ситуація, яка становить загрозу для його життя і здоров'я оточуючих, або для навколишнього середовища, і доповісти про це своєму прямому керівнику.

На робочому місці заборонено курити, вживати алкогольні напої та інші речовини, які надають наркотичну дію на організм людини.

З метою запобігання отримання травм і виникнення травмонебезпечних ситуацій слід дотримуватися нижчеперелічених вимог: не можна залучати до роботи сторонніх осіб;

не починати роботу в разі відсутності умов для її безпечного виконання;

виконувати роботу тільки на справному обладнанні, зі справними пристроями та інструментом;

виявивши несправність терміново доповісти безпосередньому керівнику або усунути їх власними силами, якщо це відноситься до посадових обов'язків;

не торкатися неізольованих або пошкоджених проводів;

не виконувати роботу, яка не входить до професійних обов'язків.

Вміти надавати першу допомогу при кровотечах, переломах, опіках, ураженнях електричним струмом, раптовому захворюванні або отруєнні.

Дотримуватися правил особистої гігієни:

верхній одяг, головний убір і інші особисті речі слід залишати в гардеробі;

працювати в чистому спецодязі;

приймати їжу в призначеному для цього місці.

Вміти правильно користуватися ЗІЗ та засобами колективного захисту, первинними засобами пожежогасіння, протипожежним інвентарем, знати, де вони знаходяться.

Особи, які порушили цю інструкцію з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну і кримінальну відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Одягти спецодяг, провести огляд і підготовку робочого місця, прибрати зайві предмети.

Видалити із зони проведення робіт сторонніх осіб і звільнити робоче місце від сторонніх матеріалів та інших предметів, обгородити робочу зону і встановити знаки безпеки.

Переконатися в достатньому освітленні робочого місця, відсутність електричної напруги на відремонтованому обладнанні.

Оглянути на справність вимикачі, розетки електричної мережі, електровілок, електричних проводів, з'єднувальних кабелів, переконатися в наявності і справності ЗІЗ (засобів індивідуального захисту) і попереджувальних пристроїв (рукавичок діелектричних, окулярів захисних, калош, килимків і т. п.).

Виконуючи роботи з інструментом необхідно упевнитися в його справності, в відсутності механічних пошкоджень ізоляційного покриття і в своєчасності проходження випробувань інструменту.

Провести перевірку робочого місця на відповідність вимогам пожежної безпеки, на достатність освітлення робочого місця.

Виявивши недоліки і порушення з питань електричної і пожежної безпеки, негайно доповісти своєму безпосередньому керівнику.

4.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Виконуючи посадові обов'язки, електрик зобов'язаний мати при собі посвідчення перевірки знань з питань охорони праці. За відсутності посвідчення або наявності посвідчення з терміном перевірки, працівник не отримує допуск до роботи.

Роботи в електричних установках щодо заходів безпеки поділяються на 3 категорії:

- зі зняттям напруги;

- без зняття напруги на струмопровідних частинах або біля них;

- без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

Працівники, які виконують спеціальні види робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, повинні бути навчені безпечному проведенню таких робіт і мати про це відповідний запис в посвідченні про перевірку знань.

Працівникові, який обслуговує закріплені за ним електричні установки напругою до 1000 В одноосібно, необхідно мати III групу з електробезпеки.

Виконуючи роботи в електричних установках потрібно проводити організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт:

- оформляти роботи нарядом-допуском, розпорядженням відповідно до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;

- проводити підготовку робочих місць;

- допуск до роботи;

- здійснювати контроль над виконанням робіт;

- переводити на інше робоче місце;

- установлювати перерви в роботі та її закінчення.

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, необхідно застосувати, в певному порядку, наведені нижче технічні заходи:

виконати необхідні відключення і вжити всіх заходів, що виключають помилкове або самовільне включення комутаційної апаратури;

розвісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;

провести перевірку на відсутність напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом;

встановити заземлення (включити заземлюючі ножі, застосувати переносні заземлення);

встановити огорожі, якщо необхідно, близько робочих місць або струмоведучих частин, що залишилися під напругою, а також вивісити на даних огорожах плакати безпеки.

в залежності від місцевих умов, струмовідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

Працювати без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них слід як мінімум двом працівникам, одному з них, керівнику робіт, необхідно мати групу IV; іншим групу III з обов'язковим оформленням роботи нарядам-допуском або розпорядженням.

При знятті і встановленні запобіжників під напругою в електроустановках напругою до 1000 В слід заздалегідь відключити всі навантаження, які підключені до зазначених запобіжників; використовувати при цьому ізолюючі кліщі або діелектричні рукавички, а якщо є відкриті плавкі вставки, то і захисні окуляри.

Роботу з використанням драбин потрібно проводити вдвох, один з працівників повинен перебувати знизу. Стояти на ящиках або інших предметах забороняється. При установці приставних драбин на балках,

елементах металевих конструкцій і т. п. слід надійно закріпити верхню і нижню частину драбини на конструкціях.

Під час обслуговування та ремонту електричних установок користуватися металевими драбинами забороняється.

4.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування

Відключити (від'єднати) необхідне електрообладнання, електроінструмент від мережі.

Навести порядок на робочому місці, прибрати в спеціальні місця деталі, матеріал, сміття і відходи.

Прибрати у відведене місце весь інструмент і пристосування.

Зняти і прибрати спецодяг, ЗІЗ, ретельно помити руки.

Провести огляд робочого місця на відповідність його всім вимогам протипожежного захисту.

Повідомити своєму безпосередньому керівнику про недоліки і несправності, які були під час виконання роботи. Зафіксувати це в оперативному журналі.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пожежі:

вимкнути електричне обладнання, припливно-витяжну вентиляцію, якщо вона є;

повідомити в пожежну частину за телефоном 101 і доповісти про це своєму керівнику, а при його відсутності іншій посадовій особі;

приступити до ліквідації осередка загоряння, застосовуючи передбачені для цього засоби пожежогасіння. Виконувати гасіння електричного обладнання, що знаходиться під напругою, можна тільки

вуглекислотними вогнегасниками типу ОУ або піском. Гасити їх водою або пінним вогнегасником забороняється.

Електрик повинен пам'ятати, що при раптовому відключенні напруги, вона може бути подана знову без попередження.

Слід швидко відключити механізми і пристрої:

в разі раптового відключення електроенергії,;

якщо подальша їх робота загрожує безпеці працівників;

в разі відчуття дії електричного струму при торканні металевих частин пускової апаратури;

в разі іскріння;

при найменших ознаках загоряння, появи диму, запаху гару;

якщо з'явився незнайомий шум.

У разі короткого замикання в мережі електроживлення необхідно знеструмити обладнання і повідомити своєму прямому керівнику.

Якщо сталося ураження електричним струмом, слід звільнити потерпілого від дії електричного струму, для чого відключити електричну мережу або від'єднати потерпілого від струмопровідних частин за допомогою діелектричних захисних засобів та інших ізолюючих речей і предметів (сухий одяг, суха жердина, прогумований матеріал і т. п.), або перерізати (перерубати) провід будь-яким інструментом з ізолюючою рукояткою, обережно, без додаткового нанесення травм потерпілому. До прибуття медпрацівника необхідно надати потерпілому першу допомогу.

При нещасних випадках (травмуванні людини) негайно повідомити про це безпосереднього керівника.

4.4 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику при замиканні на корпус до відносно безпечних значень шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання, вирівнювання потенціалів підвищенням потенціалів місця, на якому стоїть людина, до значень, що близькі до потенціалу заземлених конструктивних частин обладнання.

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначення основних параметрів заземлення – кількість, розміри та порядок розміщення одиночних заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга дотику та кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Розрахунок захисного заземлення здійснюється для випадку розташування заземлювача в однорідній землі. При цьому враховується опір верхнього шару землі (шар сезонних змін), який обумовлений замерзанням або засухою ґрунту. Розрахунок, який заснований на коефіцієнтах використання провідності заземлювача називається способом коефіцієнтів використання. Його виконують, як при простих, так і при складних конструкціях групових заземлювачів.

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 7237:2011. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення. Воно повинно захищати людей від уражень електричним струмом у випадку дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, це досягається з'єднанням металевих частин електроустановок з землею, або її еквівалентом.

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ 1.1.6.), приміщення в якому проводяться всі роботи відноситься до першого класу (без підвищеної небезпеки). Під час

роботи використовуються електроустановки з напругою живлення 36 В, 220 В, та 360 В. Опір контура заземлення повинен мати не більше 4 Ом.

Розрахунок проводять за допомогою методу коефіцієнта використання (екранування) електродів. Коефіцієнт використання групового заземлювача η – це відношення діючої провідності цього заземлювача до найбільш можливої його провідності за нескінченно великих відстаней між його електродами.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі способом коефіцієнтів використання значення опору R захисного заземлення визначаємо в наступному порядку:

обчислюємо опір пристрою заземлення R_3 . Згідно правил улаштування електроустановок (ПУЕ) найбільш припустимі значення R_3 , складають для установок до 1000 В:

10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВА;

4 Ом у всіх інших випадках.

- визначаємо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3}, \quad (4.1)$$

де R_e – опір розтікання природного заземлювача, Ом; R_3 – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

- обчислюємо кількість вертикальних і довжину горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a'}, \quad (4.2)$$

де n – кількість вертикальних електродів, штук; S – площа цеху, m^2 ; a' – задана відстань між електродами, м.

$$l_r = 2a + 2b, \quad (4.3)$$

де l_2 – сумарна довжина горизонтальних електродів, м; a – ширина сторони цеху, м; b – довжина сторони цеху, м.

- розраховуємо опори розтікання вертикального R_B та горизонтального R_G електродів:

$$R_B = \frac{\rho_{роз.в}}{2 \cdot \pi \cdot l_B} \left(\ln \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_B}{4t - l_B} \right), \quad (4.4)$$

де $\rho_{роз.в}$ – розрахунковий питомий опір землі для вертикального електрода, Ом·м;

l_B – довжина вертикальних стрижневих електродів, м; d – діаметр електрода, мм;

t – глибина занурення в землю верхнього кінця електрода, м;

$$R_G = \frac{\rho_{роз.г}}{2 \cdot \pi \cdot l_G} \cdot \ln \frac{2l_G}{0,5 \cdot b' \cdot t}, \quad (4.5)$$

де $\rho_{роз.г}$ – розрахунковий питомий опір для горизонтального електрода, Ом·м;

l_G – довжина горизонтальних електродів, м; b' – товщина горизонтального електрода, м.

- за даними таблиці 4.1 та таблиці 4.2 визначаємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів η_B та η_G та з їх врахуванням обчислюємо розрахунковий опір заземлювача за виразом:

$$R_G = \frac{R_B \cdot R_G}{R_B \cdot \eta_G + R_G \cdot \eta_B \cdot n}, \quad (4.6)$$

Для розрахунку заземлювача задаємось такими вихідними даними: виробничий цех площею $S=5000$ м² і з понижуючою підстанцією 10/0,4 кВ. Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів довжиною $l_B=5$ м, діаметром $d=12$ мм і відстанню між ними $a'=5$ м та горизонтальних електродів (сталева смуга перетином 440 мм) на глибині $t=0,8$ м. Розрахункова величина питомого опору ґрунту у місці спорудження захисного заземлення береться з таблиці 6.3 (для чорнозема $c=20$ Ом/м). Коефіцієнти вертикальної прокладки K_B і горизонтальної прокладки K_G приймаються з таблиці 6.4 (для третього кліматичного району $K_B=1,3$, $K_G=2,5$).

Талиця 4.1 – Коефіцієнт використання горизонтального стрічкового електрода, що з'єднує вертикальні електроди (труби, кутики і ін.) групового заземлювача

Відношення відстані між вертикальним і електродами до їх довжин	Число вертикальних електродів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальні електроди розміщені в ряд								
1.	0,8 5	0,7 7	0,7 2	0,6 2	0,4 2	-	-	-
2.	0,9 4	0,8 0	0,8 4	0,7 5	0,5	-	-	-
3.	0,9 6	0,9 2	0,8 8	0,8 2	0,6 8	-	-	-
Вертикальні електроди розміщені по контуру								
1.	-	0,4 5	0,4 0	0,3 4	0,2 7	0,2 2	0,2 0	0,1 9
2.	-	0,5 5	0,4 8	0,4 0	0,3 2	0,2 9	0,2 7	0,2 3
3.	-	0,7 0	0,6 4	0,5 6	0,4 5	0,3 9	0,3 6	0,3 3

Талиця 4.2 – Коефіцієнт використання вертикальних електродів групового заземлювача (труб, кутиків, і т. ін.) без урахування впливу стрічки зв'язку

Число заземлювачів	Число вертикальних електродів					
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
	Електроди, розміщені в ряд			Електроди, розміщені по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблиця 4.3 – Розрахункові значення питомих електричних опорів ґрунтів

Ґрунт	Значення, які рекомендуються для розрахунків, Ом/м
Пісок	700
Супісок	300
Суглинок	100
Глина	40
Чорнозем	20
Торф	20

Таблиця 4.4 – Значення підвищувальних коефіцієнтів K_r , K_v за кліматичними зонами

Кліматична зона	Тип заземлювачів	
	Горизонтально прокладені заземлювачі (смугові та ін.) при глибині від поверхні ґрунту $t=0,8$ м, K_r	Стрижневі вертикально встановлені заземлювачі при глибині від поверхні землі $t=0,5-0,8$ м, K_v
I	4,5–7	1,8–2
II	3,5–4,5	1,6–1,8
III	2,5–4	1,4–1,6
IV	1,5–2	1,2–1,4

Розрахункові питомі опори ґрунту для вертикальних і горизонтальних заземлювачів визначаються відповідно так:

$$\rho_{роз.в} = K_v \cdot \rho, \text{ Ом/м}, \quad (6.7)$$

$$\rho_{роз.г} = K_r \cdot \rho, \text{ Ом/м} \quad (6.8)$$

Таким чином за формулами (6.7), (6.8), для чорнозему:

$$\rho_{роз.в} = 1,3 \cdot 20 = 26, \text{ Ом/м};$$

$$\rho_{роз.г} = 2,5 \cdot 20 = 50, \text{ Ом/м}.$$

У якості природного заземлювача використовуємо металеву технологічну конструкцію з опором розтікання природного заземлювача

$$R_e = 15 \text{ Ом}.$$

Здійснюємо розрахунок у відповідності з зазначеною послідовністю:

- згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою складає:

$$R_3 = 4 \text{ Ом};$$

за формулою (6.1) визначимо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \text{ Ом};$$

за формулами (4.2), (4.3) обчислюємо кількість вертикальних та довжин горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{5000}}{5} = 5 \text{ штук},$$

$$l_r = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 100 = 300 \text{ м};$$

за формулами (4.4), (4.5) розраховуємо опори розтікання вертикального R_B та горизонтального R_r електродів:

$$R_B = \frac{26}{2 \cdot \pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 5,7 \text{ Ом},$$

$$R_r = \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 300} \cdot \ln \frac{2 \cdot 300}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 0,3 \text{ Ом};$$

за даними таблиць (4.10, (4.11) обираємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $K_B=0,4$ та $K_r=0,21$;

обчислюємо розрахунковий опір заземлювача R за формулою (4.6):

$$R = \frac{5,7 \cdot 0,3}{5,7 \cdot 0,21 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 56} = 0,22 \text{ Ом}.$$

Таким чином, проєктований заземлювач є контурним, складається з 56 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5 м і діаметром 12 мм та горизонтального електрода у вигляді сталевий смуги довжиною 300 м, перетином 440 мм^2 , занурених у землю на 0,8.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У роботі було проведено розробку автоматизованої системи керування транспортним засобом системою технічного зору, яким можна керувати віддалено .

В результаті проведеної роботи було розроблено автономний транспортний засіб з можливістю віддаленого керування на базі мікроконтролера.

В якості прототипу було використано автономну косарку. На неї було встановлено систему керування, налаштовано алгоритми керування та проведено тестування розробленої системи.

Впровадження результатів роботи дозволить розширити галузь використання таких засобів для виконання небезпечних робіт з метою збереження операторів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Tim Bailey and Eduardo Nebot. Localisation in large scale environments. *Robotics and Autonomous Systems*, 2001. 37(4). p. 261–281.
2. J. Batlle, A. Casals, J. Freixenet, and J. Martí. A review on strategies for recognizing objects in colour images of outdoor scenes. *Image and Vision Computing*, 2000. 18. p. 515–530.
3. A. M. Bloch and N. H. McClamroch. Control of mechanical systems with classical nonholonomic constraints. In *Proceedings of the 28th IEEE Conference on Decision and Control*, 1989. p. 201–205.
4. A. Bloch, M. Reyhanoglu, and N. H. McClamroch. Control and stabilization of nonholonomic dynamic systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1992. 37(11). p. 1746–1757
5. G. Buskey, J. Roberts, P. Corke, P. Ridley, and G. Wyeth. Sensing and control for a small-size helicopter. In B. Siciliano and P. Dario, editors, *Experimental Robotics*, volume VIII, 2003. p. 476–487.
6. Howie Choset and Joel Burdick. Sensor-based exploration: The hierarchical generalized voronoi graph. *International Journal of Robotics Research*, 2000. 19(2). p. 96–125.
7. Hakyoung Chung, Laura Ojeda, and Johann Borenstein. Accurate mobile robot dead-reckoning with a precision calibrated fiber-optic gyroscope. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 2001. 17(1). p. 80–84.
8. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
9. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.

10. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
11. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
12. Введення в компютерну графіку та дизайн: Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 "Автоматизація, компютерно-інтегровані технології та робототехніка"/Укладачі: О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий - Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023 - 304с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41166>.
13. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.