

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Розроблення системи позиціонування автономної роботизованої платформи у
виробничому просторі

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КТРСм-22-1
Бердник Ю.А.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

освітньої програми Комп'ютеризовані та
робототехнічні системи

(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-

професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Замірець М.В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2023 р.

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

19.12.2023 р.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized loop above the name 'Бердник' written in a cursive script.

Бердник Ю.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютеризовані та робототехнічні системи (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____

Бердник Юрію Анаталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи позиціонування автономної роботизованої платформи у виробничому просторі

затверджена наказом по університету від 03.11.2023 р. № 1288 Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 12.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Напруга живлення 3.3 В - 12 В

3.2 Плата керування Arduino NANO

3.3 Середовище розробки Arduino IDE

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ

4.2 Провести аналіз сучасних технологічних рішень

4.3 Обрати компоненти та засоби для розробки системи позиціонування

4.4 Розробити схему підключення електронних компонентів

4.5 Провести експериментальні дослідження

4.6 Розробити алгоритм перерахунку отриманих даних з датчиків

4.7 Висновки

4.8 Додатки

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

Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 15 с. формату А4

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

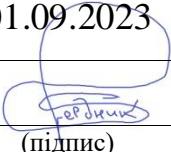
Найменування розділу	Керівник (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	01.09.22 – 05.09.23	виконано
2	Аналіз сучасних технологічних рішень	06.09.23 – 11.09.23	виконано
3	Обрання компонентів та засобів	12.09.23 – 14.09.23	виконано
4	Дослідження датчиків та особливостей їх роботи.	15.09.23 – 07.10.23	виконано
5	Проведення експериментальних досліджень	08.10.23 – 30.11.23	виконано
6	Розробка системи позиціонування	01.12.23 – 20.12.23	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	23.12.23 – 31.12.23	виконано
8	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	04.01.24 – 06.01.24	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	10.01.24 – 11.01.24	виконано
10	Подання атестаційної роботи в ЕК	12.01.23	виконано

Дата видачі завдання 01.09.2023

Студент


(підпис)

Бердник Ю.А.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

проф. Замірець М.В.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 76 с., 11 табл., 48 рис., 3 дод., 22 джерела.

МОБІЛЬНА ПЛАТФОРМА, РОБОТИЗОВАНА ПЛАТФОРМА, СИСТЕМА ПОЗИЦІОНУВАННЯ, РОБОТОТЕХНІКА, ПЕРЕМІЩЕННЯ.

Мета роботи – підвищення точності позиціонування мобільної платформи у просторі за рахунок розробки системи позиціонування роботизованої платформи.

Об'єкт дослідження – процес переміщення автономної роботизованої платформи.

Предмет дослідження – система позиціонування роботизованої платформи у просторі.

Методи дослідження – методи групування, кореляційний аналіз, методи емпіричного дослідження, спостереження, порівняння, експеримент, прогнозування.

Проведено аналіз сучасних технологічних рішень для автономних роботизованих платформ.

Проведено аналіз технічних особливостей автономних роботизованих платформ, аналіз існуючих рішень та їх порівняння.

Обрані компоненти та засоби для розробки системи позиціонування. Розроблено схему підключення електронних компонентів та алгоритм перерахунку отриманих даних з датчиків. Проведено експериментальні дослідження для покращення точності позиціонування.

Розроблено систему безпеки на основі лідару. Розглянуто питання охорони праці.

ABSTRACT

Explanatory note: 76 p., 11 tables, 48 pict., 3 adj., 22 sources.

MOBILE PLATFORM, ROBOTIC PLATFORM, POSITIONING SYSTEM, ROBOTICS, MOVEMENT.

The aim of the work is to increase the positioning accuracy of the mobile platform in space due to the development of the positioning system of the robotic platform.

The object of research is the process of moving an autonomous robotic platform.

The subject of the research is the positioning system of the robotic platform in space.

Research methods – methods of grouping, correlation analysis, methods of empirical research, observation, comparison, experiment, forecasting.

An analysis of modern technological solutions for autonomous robotic platforms has been carried out.

An analysis of the technical features of autonomous robotic platforms, an analysis of existing solutions and their comparison was carried out.

Selected components and tools for the development of the positioning system. The circuit for connecting electronic components to the algorithm for recalculating the data received from the sensors was developed. Experimental studies have been conducted to improve positioning accuracy.

A lidar-based security system has been developed. The issue of labor protection was considered.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	7
Вступ.....	8
1 Аналіз методів позиціонування автономної роботизованої платформи	11
1.1 Існуючі рішення	11
1.2 Датчики та їх принцип роботи.....	17
1.3 Інфрачервоні датчики ліній.....	18
1.4 Магнітні датчики ліній	20
1.5 Лідар.....	21
1.6 Камери.....	28
1.7 Висновки до першого розділу.....	28
2 Дослідження відстеження лінії інфрачервоними датчиками.....	30
2.1 Відстеження лінії за допомогою одного датчика.....	30
2.2 Відстеження лінії за допомогою двох датчиків	32
2.3 Відстеження лінії за допомогою трьох датчиків.....	33
2.4 Відстеження лінії за допомогою чотирьох та більше датчиків.....	35
2.2 Висновки до другого розділу	37
3 Розробка системи позиціонування з використання декількох датчиків лінії	38
3.1 Вибір необхідних компонентів	38
3.2 Розробка системи позиціонування.....	40
3.3 Розрахунок помилки для ПІД-регулятора при розташуванні світлодіодів та фотодіодів один за одним.....	56
3.4 Система безпеки на основі лідара.....	62
3.5 Питання охорони праці.....	66
3.6 Висновки до третього розділу.....	69
Висновки.....	70
Перелік джерел посилання	71

Додаток А Програма для роботи з лідаром	74
Додаток Б Апробація наукових результатів	77
Додаток В Демонстраційний матеріал	86

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ІЧ – інфрачервоний;

ПД – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор;

GPS – Global Positioning System;

LIDAR – light identification, detection and ranging;

WiFi – Wireless Fidelity;

ВСТУП

Ми живемо у суспільстві, яке характеризується бурхливим розвитком науки та технологій. Історично склалося так, що технологічні досягнення завжди відігравали значну роль і сигналізували про серйозні зміни для людства. Останнім часом розвиток нових технологій швидко прискорюється, що призводить до більш широкого використання робототехніки та роботизованих автономних систем. Без сумніву, всі в промисловості та приватному секторі повинні впроваджувати нові технології, використовувати досягнення, взаємозв'язок та нові алгоритми оптимізації, якщо вони хочуть бути конкурентоспроможними у нову епоху.

Склади та складські приміщення є однією з областей застосування, в якій робототехніка та роботизовані автономні системи займають не останнє місце. Складські та виробничі приміщення вже давно є потенційною ареною для завдань робототехніки та автоматизації, які допомагають людям отримувати більш якісні та швидкі результати. Склади є одним із найважливіших аспектів логістики, оскільки вони широко використовуються для зберігання або буферизації товарів між двома точками споживання. Прийом, переміщення, розміщення, зберігання, комплектація замовлень та доставка є основними складськими операціями.

Більшість менеджерів складів розраховують на те, що роботи та автономні роботизовані системи скоротять кількість часових. Але переваги виходять далеко за межі економії праці. Мобільна робототехніка також може знизити компенсацію працівникам та проблеми з безпекою на об'єкті, відокремивши переміщення людини від переміщення великих транспортних засобів.

Власне, стрімкий розвиток автономних транспортних засобів не такий і дивовижний, оскільки їх застосування дозволяє значно скоротити витрати компаній і виключити ряд людських факторів.

Тому створення мобільних роботів для складування та логістики поступово стало актуальним в поточному напрямку інтелектуальних досліджень і широко використовуються в багатьох сферах повсякденного життя людей, промисловості та виробництва. У свою чергу, економічні вигоди різних галузей можуть постійно збільшуватися.

Мобільні роботи поступово почали замінювати ручне сортування та обробку у складській логістиці. Тому забезпечення ефективної та точної роботи мобільних роботів в автоматизованому складському господарстві та логістиці стало актуальною проблемою, яка потребує вирішення.

У міру того, як ці машини стають все більш ефективними, вони також стають більш доступними та гнучкими, оскільки їх можна адаптувати та масштабувати практично у будь-якому складському середовищі. Технології значно покращали за останнє десятиліття. Витрати знижуються і дозволяють кожному брати участь у розробці та просуванні автоматизації загалом.

Розробка роботів та автоматизованих систем для складування та логістики є одним із пріоритетних напрямків робототехніки на даний момент. В основному на складах та підприємствах виконуються однотипні дії, де завжди потрібно переміщати різні вантажі чи предмети з одного місця на інше. Впровадження роботів та систем для таких однотипних дій збільшує продуктивність, збільшує безпеку персоналу та зменшує витрати на оплату праці, що у свою чергу дозволяє значно економити час та ресурси компанії чи виробництва тому тема є актуальною.

Метою магістерської роботи є підвищення точності позиціонування мобільної платформи у просторі за рахунок розробки системи позиціонування роботизовано платформи.

Об'єкт дослідження – процес переміщення автономної роботизованої платформи.

Предмет дослідження – система позиціонування роботизованої платформи у просторі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних технологічних рішень для автономних роботизованих платформ;
- провести аналіз технічних особливостей автономних роботизованих платформ, аналіз існуючих рішень та їх порівняння;
- обрати компоненти та засоби для розробки системи позиціонування;
- розробити схему підключення електронних компонентів;
- провести експериментальні дослідження для покращення точності позиціонування;
- розробити алгоритм перерахунку отриманих даних з датчиків.;
- розробити систему безпеки на основі лідару;
- оформити пояснювальну записку згідно з вимогами ДСТУ 3008:2015 [1] та рекомендаціями [2-3].

Опубліковано статтю «Аналіз сучасних автономних роботизованих платформ» [4].

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ АВТОНОМНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ

1.1 Існуючі рішення

1.1.1 Роботи-сортувальники

Даний вид роботів розпізнає та сортує предмети та товари в залежності від поставленого йому завдання. Такий тип роботів дуже корисний на складах, які працюють, наприклад, у системах онлайн-торгівлі. Роботи-сортувальники повинні вміти справлятися з розбором предметів, а також вміти точно їх ідентифікувати. Із цим їм допомагає справлятися використання штучного інтелекту. Під штучним інтелектом розуміється програма, яка здатна самонавчати. Робот використовує кілька камер і машинний зір, який виконує аналіз предметів та дій робота, і передає всю інформацію до алгоритму програми [5]. На рисунку 1.1 можна побачити один із таких роботів-сортувальників від компанії Covariant [6].



Рисунок 1.1 – Робот-сортирувальник від компанії Covariant

1.1.2 Дрони або безпілотники

Дрони і безпілотні літальні апарати, на даний момент, є сферою робототехніки, що розвивається. Тому на сьогоднішній день у логістичній галузі вони знайшли своє застосування поки що лише для вирішення задачі інвентаризації на складах [7].

Інвентаризація проводиться для того, щоб завжди бути в курсі актуальної інформації щодо наявності різної продукції та вантажів на складі. Як правило, працівники складів роблять її вручну із застосуванням вантажопідійомника, без якого неможливо дістатися високих полиць складських стелажів. Тому інвентаризація проходить повільно та нудно. Увага працівників складу до всіх нюансів знижується, через що зростає ймовірність помилок унаслідок людського чинника.

Тому інвентаризація із застосуванням дронів у рази швидше та безпечніше. Принцип роботи такого дрона показаний рисунку 1.2.

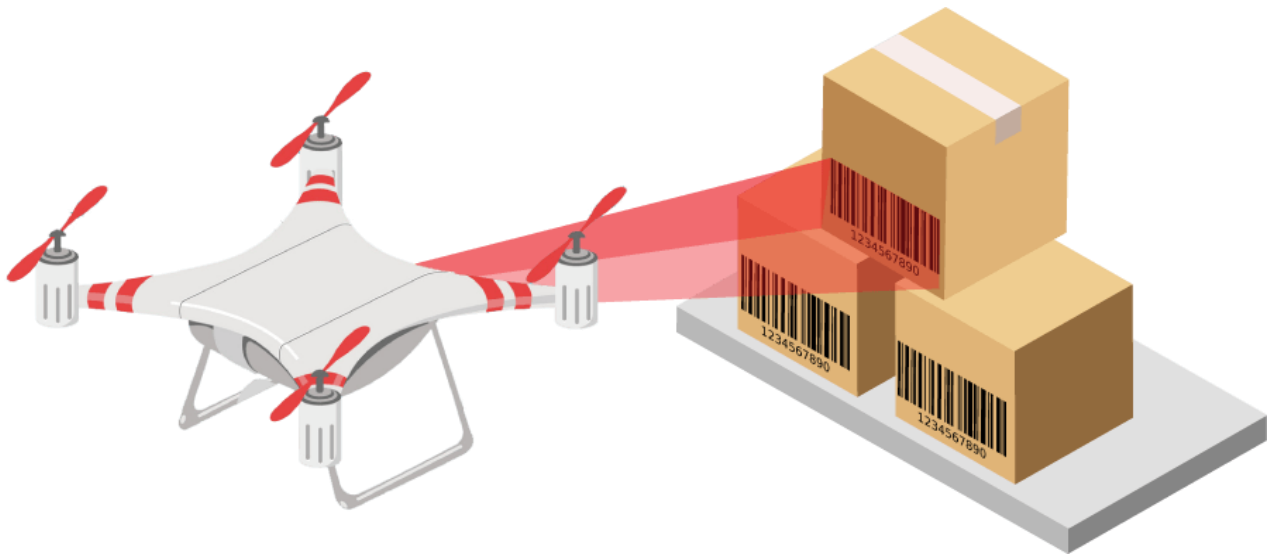


Рисунок 1.2 – Принцип роботи дрону для інвентаризації

Дрон, керований оператором чи самостійно, підлітає до вантажу на стелажі, зчитує інформацію з етикетки, і передає її працівникові складу чи у систему [8].

Плюсів використання дронів для інвентаризації безліч. Не потрібно застосовувати навантажувачі або підійомники, а також не потрібно

отримувати додаткові дозволи для працівників для виконання висотних робіт. Крім того, запуск дрона екологічніший, ніж використання потужного вантажопідійомника, на роботу якого витрачається в середньому близько 72 кВт/год, тоді як дрон витрачає в 100 разів менше електроенергії.

На рисунку 1.3 можна побачити один із таких дронів від компанії Aeriu.

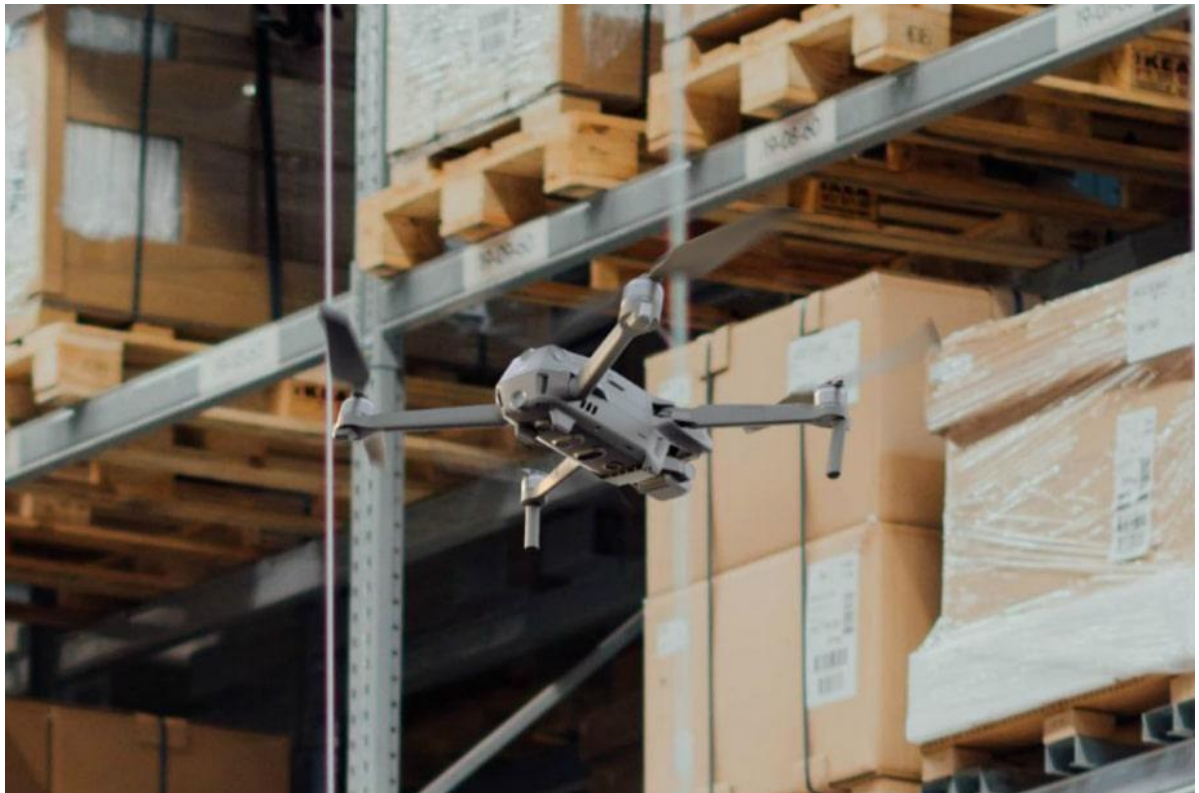


Рисунок 1.3 – Дрон від компанії Aeriu

Даний дрон має камеру високої роздільної здатності, яка зчитує або фотографує етикетку на вантажі та відправляє до хмарного сховища або системи обробки даних.

За підрахунками фахівців з Aeriu, інвентаризація за допомогою дронів відбувається на 30% швидше, а вартість самого дрону становить менше 10% вартості вантажопідійомної системи [9].

1.1.3 Палетайзери

Роботи-палетайзери, як правило, є промисловим маніпулятором, який призначений для автоматичного захоплення та укладання продукції на палети або піддони. Плюсами таких роботів є велика точність,

вантажопідйомність та швидкість. Дані роботи можуть використовувати функціональні захоплення, що сприятливо позначається на їх універсальності [10]. На рисунку 1.4 можна побачити один із таких роботів від компанії Kuka.



Рисунок 1.4 – Робот-палетайзер від компанії Kuka

1.1.4 Роботи візки та буксирувальники

Вони забезпечують переміщення вантажів та предметів на значні відстані за певною заданою програмою. Найбільш відомим представником таких роботів є робот компанії Amazon Robotics, який показаний на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Робот від компанії Amazon Robotics

Ця компанія є однією з перших, хто почав впроваджувати у себе роботизовані системи автоматизації. Вона показала успішний результат використання роботів усьому світу, після чого багато компаній почали також автоматизувати свої процеси.

Робот являє собою невеликий візок, що рухається на колесах, який переміщається по розмітці, нанесеній на підлогу. Зверху візка знаходиться платформа, яка за допомогою вбудованого механізму здатна підніматися і тим самим піднімати різні вантажі.

Саме в компанії Amazon Robotics ці роботи піднімають і переміщують великі багаторівневі стелажі або, інакше, палети, на яких розташовані різні предмети. Сама концепція системи розумного складу компанії Amazon Robotics дуже проста. Людина не ходить складом у пошуках предметів. Він стоїть на місці, а палет з необхідним предметом йому підвозить робот-візок, як це показано на рисунку 1.6. За підрахунками підприємства, використання цієї системи з роботами візками збільшило показники продуктивності вдвічі [11].



Рисунок 1.6 – Робот з палетом від компанії Amazon Robotics

Ще одним видом таких роботів є робот буксирувальник від компанії Renault, представлений на рисунку 1.7. Дані роботи являють собою автоматичні візки, які рухаються заданою траєкторією, відстежуючи магнітну стрічку наклеєну на підлогу.

Робот із закріпленим оснащенням у вигляді причепа з різними комплектуючими автоматично переміщується між зоною комплектування та робочими місцями операторів, забезпечуючи постачання комплектуючих на лінію збирання конвеєра. Після цього робот забирає порожнє оснащення і йде назад у зону комплектування за новою партією комплектуючих.

У компанії зазначили, що продуктивність роботи операторів на лінії, а також швидкість та ефективність операцій у зоні комплектування збільшилася. Також завдяки цим роботам на ділянках їх застосування вдалося відмовитися від використання навантажувачів, що у свою чергу позитивно позначилося на ефективності та безпеці [12].



Рисунок 1.7 – Робот від компанії Renault , що переміщує комплектуючі

З усіх вищезгаданих роботів найбільшого поширення набули роботи візки та буксирувальники. За інформацією з різних джерел, середньостатистичний працівник складу витрачає майже сім тижнів на рік на непотрібні переміщення.

Це негативно впливає на продуктивність та доходи компаній. Тому роботи візка і буксирувальника найпершими впроваджувалися до роботи на складах і виробництвах [13]. Як вже було сказано раніше, їх основне призначення – це переміщення та транспортування різних предметів або вантажів з одного місця розташування на інше. Завдяки цьому можна використовувати прості програми управління, що не вимагають використання серйозних алгоритмів роботи та обчислювальних потужностей із застосуванням штучного інтелекту чи машинного зору [14].

1.2 Датчики та їх принцип роботи

Як було згадано вище, роботи візки та буксирувальники на сьогоднішній день є найпоширенішими та затребуваними у сфері складської логістики та виробництва.

Вони функціонують як перевізники матеріалів для доставки продукції та предметів з одного місця виробництва на інше, де неможливо використовувати рейкові, конвеєрні та порталні рішення.

У порівнянні з іншими роботами та системами, для роботів візків не потрібні складні програми та алгоритми. Така ж ситуація і з конструкцією цих роботів. Звичайно, для покращення роботи візків можна удосконалити алгоритми та конструкцію, використовувати різні датчики та великі обчислювальні потужності для обробки інформації. Зрештою конфігурація роботів залежатиме від призначення та бажаної точності [15]. Загальна структурна схема таких роботів показана на рисунку 1.8.

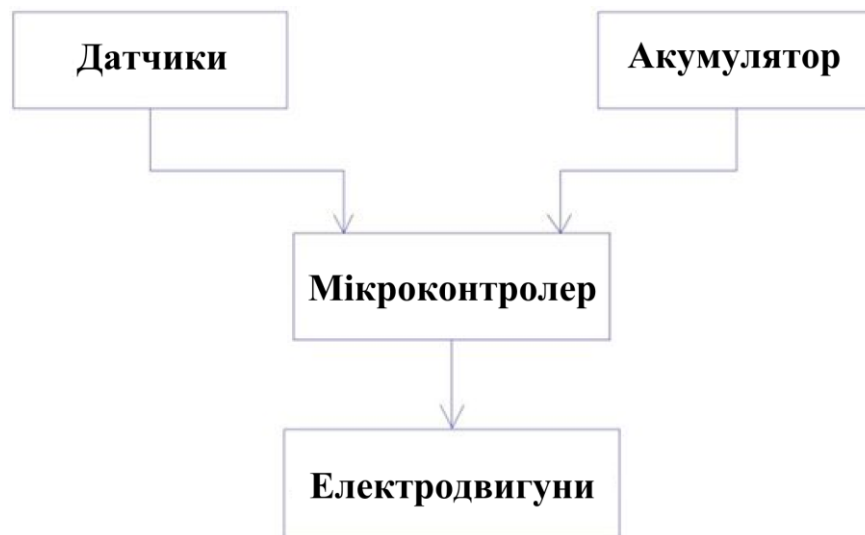


Рисунок 1.8 – Загальна структурна схема роботів візків та буксирувальників

Важливим питанням у створенні таких роботів є позиціонування та навігація.

Для успішної навігації у просторі система робота повинна вміти будувати маршрут, керувати параметрами руху, задавати кут повороту коліс і швидкість їх обертання, правильно інтерпретувати відомості про оточуюче середовище, отримані від датчиків, і відстежувати власні координати. Для цих цілей підійдуть такі системи та датчики:

- інфрачервоні датчики лінії;
- магнітні датчики лінії;
- компаси або гіроскопи;
- навігація за допомогою GPS;
- навігація за допомогою стільникового зв'язку або wifi;
- комп'ютерний або машинний зір на основі камери;
- лазерний далекомір або лідар.

Розглянемо докладніше деякі з них.

1.3 Інфрачервоні датчики лінії

Інфрачервоні технології використовуються для різних цілей вже дуже великий проміжок часу як у повсякденному житті, так і в промисловості.

Основними перевагами інфрачервоних датчиків є низьке енергоспоживання, проста конструкція та зручні функції. Залежно від діапазону інфрачервоні сигнали можуть бути непомітні людському оку [16].

Інфрачервоний датчик – це один із видів електронних компонентів, що використовується для виявлення певних характеристик у його оточенні за допомогою виявлення інфрачервоного випромінювання. Інфрачервоний датчик може вимірювати тепло об'єкта, а також виявляти рух. Ці типи датчиків вимірюють тільки інфрачервоне випромінювання, але не випромінюють його. Такий тип датчика називається пасивним.

Існує активний інфрачервоний датчик. На відміну від пасивного, активний датчик включає як передавач або випромінювач, так і приймач або детектор. У більшості випадків випромінювач є інфрачервоним світлодіодом, а детектор являє собою інфрачервоний фотодіод, чутливий до інфрачервоного випромінювання тієї ж довжини хвилі, що і світлодіод. Таку пару узгоджених світлодіодів та фотодіодів називають оптопарою [17]. Принцип роботи оптопари показаний на рисунку 1.9. Він заснований на детектуванні інфрачервоного світла, відбитого від поверхні. Коли світло падає на білу поверхню, воно майже повністю відбивається і детектується датчиком. У випадку чорної поверхні світло повністю поглинається, і випромінювання не відбиваються назад, тому фотодіод не реєструє ніякого випромінювання [18].

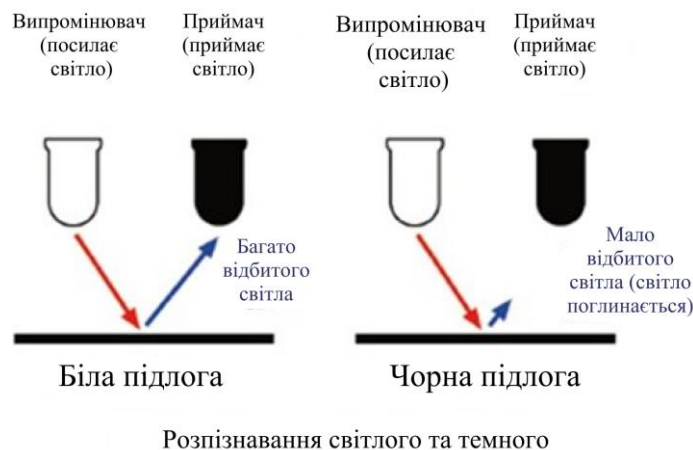


Рисунок 1.9 – Принцип роботи оптопари

Приклад оптичного датчика лінії показаний на рисунку 1.10.

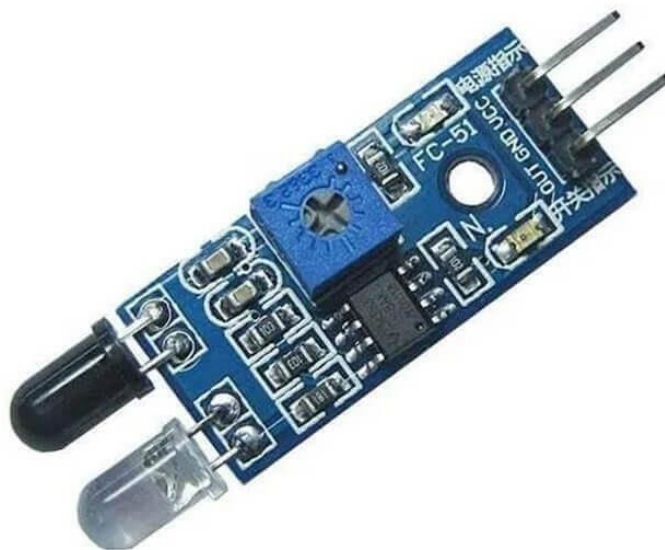


Рисунок 1.10 – Приклад оптичного датчика лінії

Як вже було сказано раніше, перевагами інфрачервоних датчиків є низьке енергоспоживання, проста конструкція та дуже мала вартість. Мінусами є перешкоди від засвічення сторонніх інфрачервоних джерел випромінювання [19].

1.4 Магнітні датчики лінії

Магнітний датчик побудовано на основі датчика Холла, який реагує на магнітне поле. Під підлогою приміщення, в якому використовуються такі візки, на невеликій глибині прокладено провід, яким тече струм, що наводить навколо нього електромагнітне поле. Це поле реєструється спеціальним магнітним датчиком, приклад якого показаний на рисунку 1.11 [20]. Замість дроту також можна використовувати магнітну стрічку.



Рисунок 1.11 – Приклад магнітного датчика лінії

Перевагами такого датчика є висока надійність та точність. До мінусів можна віднести високу вартість, як самого датчика так і магнітної стрічки. Ще одним мінусом є неможливість роботи такого датчика при сильних сторонніх електромагнітних перешкодах.

1.5Лідар

Лідар - це технологія далекоміра, який вимірює відстань до об'єкта, спрямовуючи промені світла на об'єкт, і використовує час і довжину хвилі відбитого променя світла з метою оцінки відстані. Приклад лідара представлений на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Приклад лідара

Ця технологія дуже схожа на технологію радара, в якій використовується радіохвильова навігація для кораблів і літаків, та сонара де використовується звукова навігація для підводних човнів. Ці технології використовують принцип відбиття хвиль для виявлення об'єктів і визначення відстані. Однак у той час як радар заснований на радіохвилях, а сонар заснований на звуках, лідар заснований на світлових променях.

Лідар використовує світло з різними довжинами хвиль, у тому числі в ультрафіолетовому, видимому чи інфрачервоному діапазоні. Але здебільшого, нині, використовується лазер [21].

Лідар здатний виявляти всі види складів матеріалів, у тому числі неметали, каміння, дощ, хімічні сполуки, аерозолі, хмари та навіть окремі молекули. Системи лідара можуть запускати до 1000000 світлових імпульсів на секунду, що дозволяє точніше визначити структуру та розміри об'єктів.

У більшості програм, крім простого дистанційного вимірювання, створюється 3D-карта навколишнього середовища або об'єкта, на який був

спрямований світловий промінь. Це робиться шляхом безперервного впливу лазерним променем на об'єкт або довкілля.

Лідар зазвичай складається з 4 елементів, які повинні бути присутніми незалежно від змін, пов'язаних із застосуванням. До таких основних елементів відносяться:

- лазерний випромінювач;
- сканер та оптична система;
- процесор;
- точна електроніка часу для синхронізації.

1.5.1 Лазерний випромінювач

Лазер є джерелом енергії для світлових імпульсів. Довжина хвилі лазера, що використовується в системах лідара, відрізняється від однієї версії до іншої через специфічні вимоги певних версій. Наприклад, бортові системи лідара використовують YAG-лазери з діодним накачуванням 1064 нм, у той час як батиметричні системи використовують YAG-лазери з подвійним діодним накачуванням 532 нм, які проникають у воду з набагато меншим загасанням, ніж бортова версія 1064 нм. Проте, з метою забезпечення безпеки та незалежно від версій, використовувані лазери зазвичай мають низьку енергію.

1.5.2 Сканер та оптика

Сканери є важливою частиною будь-якої системи лідарів. Вони відповідають за проектування лазерних імпульсів на поверхні та отримання назад відбитих імпульсів від поверхні. Швидкість, з якою зображення створюються системою лідара, залежить від швидкості, з якою сканери захоплюють розсіяні промені. Незалежно від версій, оптика, яка використовується в системі лідара, повинна бути високої точності та якості, щоб отримати найкращі результати, особливо для картографування. Тип лінз, вибір конкретного скла, а також оптичні покриття, що використовуються, є

основними факторами, що визначають роздільну здатність і дальність дії лідара.

1.5.3 Процесори

Процесор високої продуктивності зазвичай є основою будь-якої системи лідара. Він використовується для синхронізації та координації дій всіх окремих компонентів лідара, гарантуючи, що всі компоненти працюють так, як вони повинні. Процесор об'єднує дані зі сканера та таймера для отримання даних про виміряні точки. Ці дані про точки потім використовуються для створення карт. У безпілотних автомобілях точкові дані використовуються для надання карти навколишнього середовища в реальному часі, щоб допомогти автомобілям уникати перешкод та виконувати загальну навігацію. Оскільки світло рухається зі швидкістю близько 0,3 метра в наносекунду, а тисячі променів зазвичай відбиваються назад у сканер, для їх обробки потрібен високошвидкісний процесор з високими обчислювальними можливостями. Таким чином, підвищення обчислювальної потужності обчислювальних елементів стало однією з основних рушійних сил технології лідарів.

1.5.4 Електроніка часу

Точний час має важливе значення у системах лідара, оскільки всі операції та обчислення побудовані на часі. Електроніка часу або синхронізації є підсистемою лідара, яка записує точний час, коли лазерний імпульс йде, і точний час, коли він повертається в сканер.

Його точність неможливо переоцінити. Через розсіяне відображення відправлені імпульси зазвичай мають кілька повернень, кожен з яких повинен бути точно розрахований за часом для забезпечення точності даних.

Існує три основні типи лідарів:

- далекомірний лідар;
- лідар з диференціальним поглинанням;
- доплерівський лідар.

1.5.5 Лідар-далекомір

Це найпростіший вид лідарних систем. Вони використовуються для визначення відстані від сканера лідара до об'єкта чи поверхні. Використовуючи принцип часу прольоту, час, необхідний відбитому променю для досягнення сканера, використовується визначення відстані між лідаром і об'єктом. Лідар із диференціальним поглинанням.

Системи лідара з диференціальним поглинанням, які іноді називають DIAL, зазвичай використовуються при дослідженні присутності певних молекул або матеріалів. Системи DIAL зазвичай випускають лазерні промені з двома довжинами хвиль, які вибираються таким чином, що одна з довжин хвиль буде поглинатися молекулою, що цікавить, а інша довжина хвилі - ні. Поглинання одного з променів призводить до різниці інтенсивності зворотних променів, що приймаються сканером. Ця різниця потім використовується визначення рівня присутності досліджуваної молекули. DIAL використовується також для вимірювання концентрації хімічних речовин в атмосфері.

1.5.6 Доплерівський лідар

Доплерівський лідар використовується для вимірювання швидкості об'єкту. Коли світлові промені, що випускаються лідаром, потрапляють на об'єкт, що рухається до лідара або від нього, довжина хвилі світла, відбитого або розсіяного від об'єкту, трохи змінюється. Це явище відоме як доплерівське зрушення. Якщо об'єкт віддаляється від лідара, відбите світло матиме довшу довжину хвилі, якщо рухається до лідара, відбите світло матиме більш коротку довжину хвилі.

1.5.7 Застосування лідара

Залежно від середовища використання, лідари можна розділити на чотири типи:

- наземний лідар;
- бортовий лідар;
- космічний лідар;
- лідар руху.

Ці лідари відрізняються конструкцією, матеріалами, довжиною хвилі, зовнішнім виглядом та іншими факторами, які зазвичай обираються відповідно до того, що працює в середовищі, в якому вони мають бути розгорнуті.

Завдяки своїй винятковій точності та гнучкості лідар має широкий спектр застосувань, зокрема виробництво карт високої роздільної здатності. Крім геодезії, лідар використовується у сільському господарстві, археології та в робототехніці, оскільки в даний час він є одним з основних факторів, що сприяють гонці автономних транспортних засобів. Лідар є основним датчиком, який використовується в більшості автономних транспортних засобів, і виконує роль, аналогічну ролі очей для транспортних засобів.

Є сотні інших галузей, де використовується лідар. Ось лише деякі з них:

- автономні транспортні засоби;
- 3D візуалізація;
- землеустрій;
- огляд лінії електропередач;
- управління туризмом та парками;
- екологічна оцінка захисту лісу;
- моделювання повеней;
- екологічна та земельна класифікація;
- моделювання забруднення;
- розвідка нафти та газу;
- метеорологія;
- океанографія;
- військова промисловість;
- планування стільникової мережі.

1.5.8 Обмеження лідара

Лідар, як і будь-яка інша технологія, має недоліки. Дальність дії та точність систем лідара сильно погіршуються у поганих погодних умовах. Наприклад, в умовах туману генерується значна кількість хибних сигналів через відображення променів туманом. Зазвичай це призводить до ефекту розсіювання, і тому більшість випущеного променя не повертається назад у сканер. Аналогічне явище відбувається з дощем, оскільки частки дощу викликають хибні відбиття.

Окрім погоди, лідарні системи можна обдурити, щоб вони думали, що об'єкт існує. Миготіння простої лазерної вказівки у зоні роботи лідара, встановленого на автономних транспортних засобах, може дезорієнтувати навігаційні системи транспортного засобу, створюючи враження існування об'єкта там, де його немає. Цей недолік, особливо у застосуванні лазерів у безпілотних автомобілях, викликає безліч проблем із безпекою, оскільки викрадачам не потрібно багато часу, щоб удосконалити принцип використання для крадіжок. Це також може призвести до аварій, коли автомобілі раптово зупиняться посеред дороги, подумавши, що переднім є інший, автомобіль, пішохід чи перешкода.

1.5.9 Переваги та недоліки LIDAR

Переваги лідара:

- висока швидкість та точність збору даних;
- висока проникаюча здатність;
- не залежить від інтенсивності світла у навколишньому середовищі та може використовуватися вночі чи на сонці;
- візуалізація з високою роздільною здатністю порівняно з іншими методами;
- відсутність геометричних спотворень;
- легко інтегрується з іншими способами збору даних;

– лідар має мінімальну залежність від людини, що добре в тих випадках, де людська помилка може вплинути на надійність даних.

Недоліки лідача:

- дуже висока вартість;
- системи лідача погано працюють за умов сильного дощу, туману чи снігу;
- системи лідача генерують великі набори даних, для обробки яких потрібні великі обчислювальні ресурси;
- залежно від прийнятої довжини хвилі продуктивність лідарних систем обмежена висотою, оскільки імпульси, які запускає лідари певного типу, стають неефективними на певних висотах.

1.6 Камери

Використання камер неможливе без використання машинного та комп'ютерного зору разом із програмою штучного інтелекту. Завдяки їм можна дуже точно ідентифікувати навколишній простір та предмети довкола. Але для цього потрібні дуже великі обчислювальні потужності, а також складні алгоритми обробки зображення. Через всі ці фактори використання систем з камерами є дуже дорогим, і в деяких випадках недоцільним. До того ж використання камер на даний момент є новою сферою робототехніки та програмування, через що потребує подальших доопрацювань та досліджень.

1.7 Висновки до першого розділу

Розробка роботів та автоматизованих систем для складування та логістики є одним із пріоритетних напрямків робототехніки. Застосування роботів та автоматизованих систем збільшує продуктивність та ефективність, зменшує витрати на оплату праці та економить час та ресурси компаній.

Роботи візки та буксирувальники є найбільш поширеним рішенням при автоматизації складів та складських логістичних процесів.

Для того, щоб почати використовувати роботи візки та буксирувальники у промислових масштабах на різних виробництвах для виконання примітивних функцій переміщення предметів, не потрібні складні алгоритми та витрати великих обчислювальних потужностей.

Використання інфрачервоних датчиків лінії є найбільш простим, доступним та дешевим методом. Використання лідара або камер вимагає великих витрат обчислювальних потужностей, через що їхня вартість стає вкрай високою. Будь-які датчики мають як позитивні так і негативні боки, їх застосування залежить від конкретних поставлених завдань.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДСТЕЖЕННЯ ЛІНІЇ ІНФРАЧЕРВОНИМИ ДАТЧИКАМИ

Як вже було згадано вище, відстеження автономною мобільною платформою лінії за допомогою інфрачервоних датчиків є практичним, дешевим і простим методом. Саме про цей спосіб і йтиметься далі.

Для того, щоб платформа почала рухатися, мікроконтролер повинен подати сигнал певного рівня на електродвигуни. Рівень цього сигналу залежатиме від значень, отриманих із датчиків. Якщо нам потрібно повернути ліворуч, мікроконтролер подасть менший сигнал на лівий електродвигун, тим самим загальмувавши його і платформа почне повертати ліворуч. Така сама ситуація відбувається з поворотом праворуч. Для різкіших поворотів і маневрів можна керувати відразу двома електродвигунами, прискорюючи перший і уповільнюючи другий.

Щоб мікроконтролер розумів, який рівень сигналу подавати на електродвигуни, чи, іншими словами, куди платформі далі рухатися, він має проаналізувати значення з датчиків.

Різна кількість датчиків по-різному впливає на здатність робота слідувати по лінії.

2.1 Відстеження лінії за допомогою одного датчика

Найпростіший варіант полягає у використанні всього одного датчика, розташованого з однієї із сторін лінії. Принцип роботи робота з одним датчиком лінії досить простий і показаний на рисунку 2.1. Коли датчик бачить лінію, лівий двигун перестає обертатися, а правий навпаки починає обертання. Тим самим платформа повертає від лінії ліворуч. Коли датчик не бачить лінію, лівий двигун пришвидшується, а правий навпаки сповільнюється, тим самим повертаючи назад до лінії. Таким чином, платформа рухається вперед з боку в бік вздовж кордону лінії. Це

найпростіша логіка програмування, оскільки вона перевіряє лише одну умову: виявлено лінію чи ні.

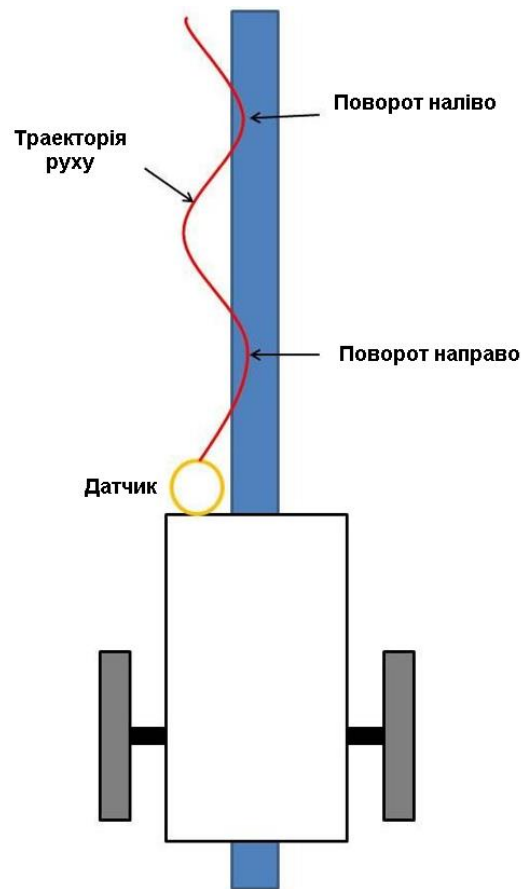


Рисунок 2.1 – Відстеження лінії платформою за допомогою одного датчика

Плюси цього рішення:

- проста схема;
- легко програмувати.

Мінуси:

- дуже повільна швидкість пересування платформи;
- якщо платформа випадково перетне лінію, то вона поїде у зворотний бік по іншій межі лінії;
- якщо платформа повністю втратить лінію, вона буде крутитися одному місці у пошуку лінії.

Такий метод має ще один недолік. У тому випадку, коли платформа відстежує ліву межу лінії, то на правих поворотах вона не одразу визначить

викривлення траси і через це витратить більше часу на пошук лінії та поворот. І чим крутішим буде поворот, тим довше часу знадобиться платформі на пошук лінії.

2.2 Відстеження лінії за допомогою двох датчиків

Щоб уникнути недоліків першого методу з використанням всього одного датчика, можна використовувати два датчики, розташованих по обидва краї лінії, як це показано на рисунку 2.2. Чим менше зазор між лінією і датчиком, тим плавніше і акуратніше робот слідуватиме по лінії. У такому разі кожен датчик відповідатиме за власний електродвигун. Такий спосіб допоможе платформі оперативніше реагувати на зміну траєкторії траси, і швидше підлаштовувати рухи платформи під неї, особливо на поворотах. Відповідно, на великій швидкості даний метод з двома датчиками працюватиме краще, ніж перший метод з одним датчиком. Але якщо платформа втратить лінію, то робот почне їздити хаотично.

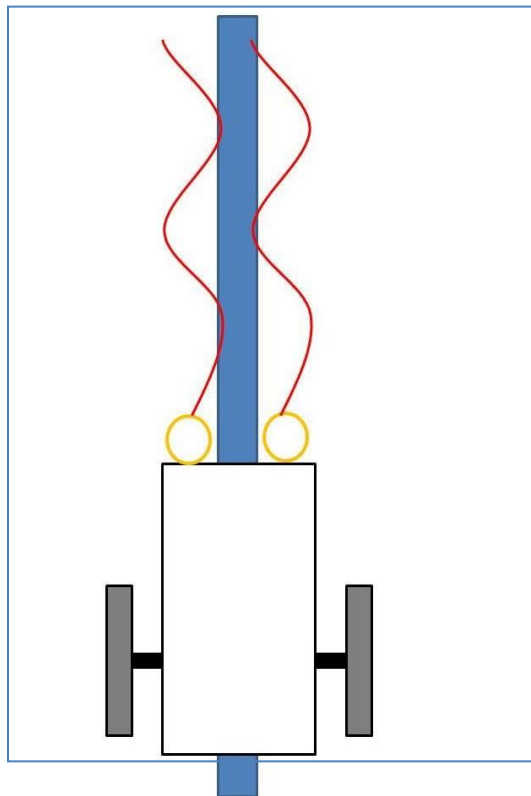


Рисунок 2.2 – Відстеження лінії платформою за допомогою двох датчиків

Плюси даного методу такі ж, як і в попереднього:

- проста схема;
- легко програмувати.

Мінуси:

- не підходить для високих швидкостей пересування;
- час витрачається марно, рухаючись із боку на бік;
- якщо платформа повністю втратить лінію, назад повернутися на неї не буде можливості.

2.3 Відстеження лінії за допомогою трьох датчиків

Щоб покращити метод з використанням двох датчиків, до них можна встановити третій датчик лінії, як це показано на рисунку 2.3, щоб центральний третій датчик встановлювався рівно над лінією, а два бічні датчики встановлювалися зі зміщенням з обох боків лінії. У цьому методі, як тільки центральний датчик не виявить лінію, а один із бічних датчиків виявить лінію, робот повернеться, щоб повернути лінію під центральний датчик.

Основна перевага набору із трьох датчиків лінії в порівнянні з парою датчиків полягає в тому, що якщо всі три датчики не виявляють лінію, робота можна запрограмувати на зупинку. Як тільки робот зупинився, він може почати сканування вперед та назад, намагаючись знову знайти лінію.

Ще одним плюсом є більш тонке налаштування керування двигунами, що додасть плавність руху платформі. Будемо вважати, що якщо датчик бачить лінію, такий датчик показує одиницю або 1, якщо не бачить, то нуль або 0. Нижче наведені приклади показань трьох датчиків під час руху платформи по лінії:

- 001 – лінія праворуч;
- 010 – лінія по центру;
- 100 – лінія зліва;

- 011 – лінія пішла трохи праворуч;
- 110 – лінія пішла трохи вліво.

Очевидно, що якщо у нас є комбінація, наприклад, 001, коли тільки правий датчик бачить лінію, то нам треба сильно повернути платформу назад, щоб вона не зїхала з лінії.

А якщо у нас комбінація 011, коли і центральний і правий датчик бачать лінію, це означає, що лінія не сильно змістилася від центру платформи, відповідно можна повернути платформу назад до лінії більш плавно, тому що це не такий критичний режим як при комбінації 001.

Плюси даного методу:

- найнадійніший простий метод прямування за лінією;
- здатний визначити, чи втрачена лінія;
- можливість налаштування з поступовим регулюванням руху;
- легко програмувати.

Мінуси:

- досі їздить з непотрібними переміщеннями з боку на бік;
- все також не підходить для високих швидкостей.

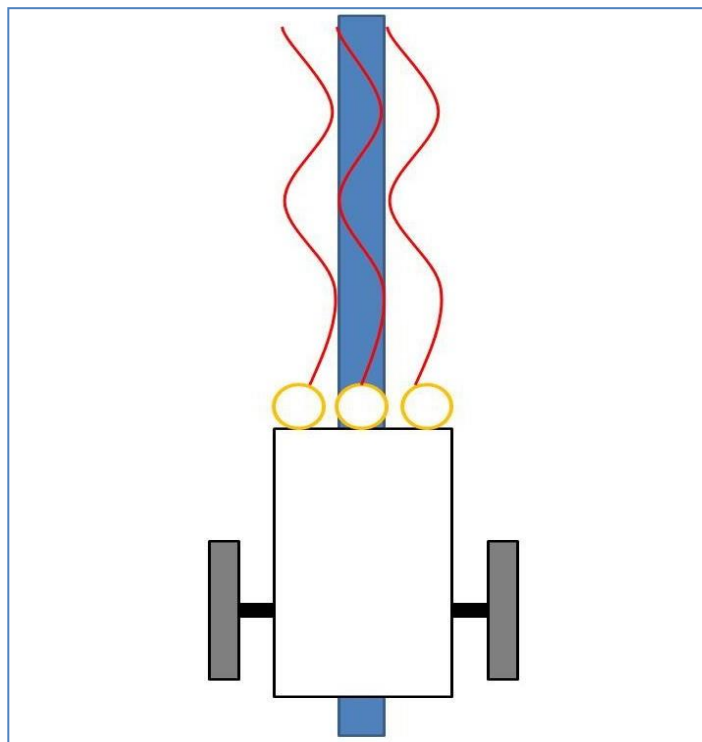


Рисунок 2.3 – Відстеження лінії платформою за допомогою трьох датчиків

2.4 Відстеження лінії за допомогою чотирьох та більше датчиків

Використання трьох датчиків цілком достатньо, щоб ефективно відстежувати лінію. Але їх буде мало, якщо ми захочемо збільшити швидкість мобільної платформи. Якщо платформа переміщається не надто швидко, вона має багато часу для регулювання її напрямку та швидкості, щоб не вилетіти з лінії. Але якщо швидкість збільшиться, то замість того, щоб коректно слідувати лінії, платформа почне не встигати повертатися і може вилетіти з траси, як це показано на рисунку 2.4. До того ж, якщо розглядати промислові мобільні платформи, візки та буксирувальники, то через те що вони перевозять або тягнуть великі вантажі, їхня маса сильно збільшується, і відповідно збільшується інерційність. Іншими словами, вони не зможуть різко повернути чи загальмувати. Додавання додаткових датчиків підвищує чутливість та огляд платформи. Датчики можуть набагато ефективніше розпізнавати стан лінії і ефективніше реагувати на зміну її форми, що у своє чергу виключає ризик сходження платформи з траси.

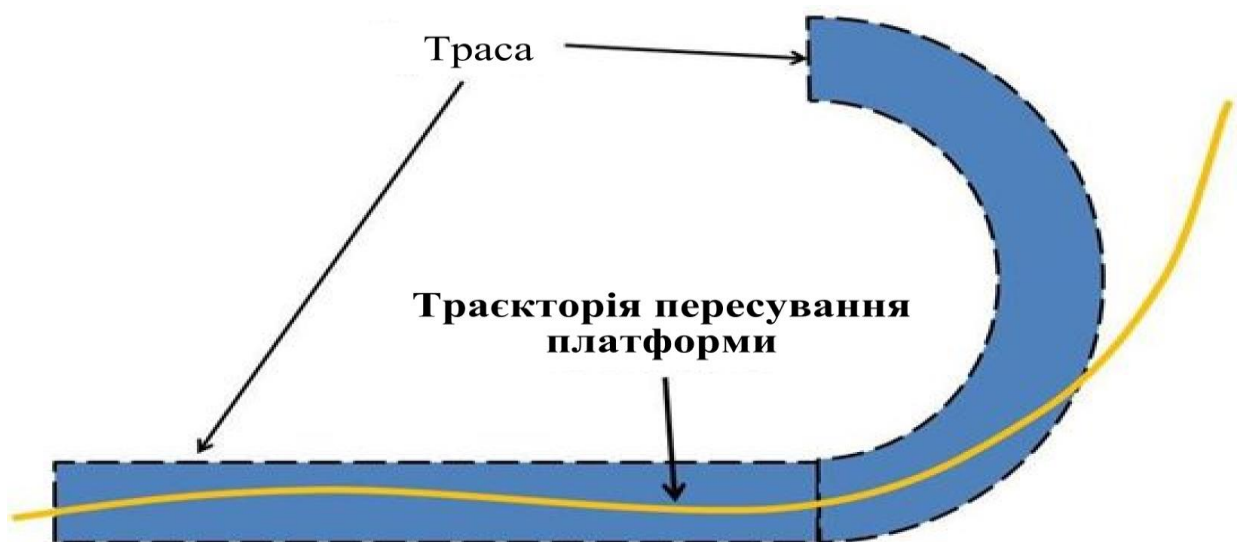


Рисунок 2.4 – Траса та траєкторія руху платформи по ній

Щоб уникнути такої ситуації зі сходом платформи з траси, зображеної

на рисунку 2.4, слід використовувати більше датчиків з кожної сторони від лінії. У цьому випадку лінія довше залишатиметься між крайніми датчиками або, іншими словами, в полі зору платформи, що дозволить їй коректно здійснити поворот і повернутися назад на лінію.

Наведемо приклад використання п'яти датчиків для відстеження лінії. Як і в прикладі з трьома датчиками, будемо вважати, що якщо датчик бачить лінію, такий датчик показує одиницю або 1, якщо не бачить, то нуль або 0:

- 00001 – майже втрата лінії, необхідно повністю повернути ліворуч та знизити швидкість;

- 00011 – лінія з правого краю, повернути ліворуч;

- 00010 – лінія пішла вправо, трохи повернути ліворуч;

- 00110 – трохи правіше від центру лінії, невелика корекція наліво;

- 00100 – центром лінії, збільшити швидкість для прямих ділянок;

- 01100 – трохи лівіше від центру лінії, невелика корекція праворуч;

- 01000 – лінія пішла вліво, трохи повернути праворуч;

- 11000 – лінія з лівого краю, повернути праворуч;

- 10000 – майже втрата лінії, необхідно повністю повернути праворуч та знизити швидкість.

З прикладу видно, що якщо використовувати 5 датчиків, то вийде здійснювати більш тонкий та плавний контроль руху платформи.

Також можна помітити, що тільки крайні датчики, виявивши лінію, повертатимуть платформу в той чи інший бік із найбільшим коефіцієнтом. Інші датчики, у міру наближення лінії до центрального датчика, повертатимуть платформу з меншим коефіцієнтом. Тому, як вже було згадано раніше, використання в мобільних платформах кількох датчиків по краях від лінії сприяє більш точному управлінню та ефективному реагуванню на виникнення сильних згинів лінії, тим самим зменшуючи ризик сходження з траси. Ще одним плюсом використання декількох датчиків є можливість збільшувати швидкість проходження платформи на прямих ділянках траси, щоб компенсувати час, витрачений на проходження поворотів [20].

2.5 Висновки до другого розділу

Підіб'ємо наступні висновки по розділу:

- використання одного датчика лінії є найпримітивнішим і малоефективним методом відстеження лінії мобільною платформою;
- використання двох датчиків лінії є ефективнішим методом, але при втраті платформою лінії немає можливості повернутися на неї назад;
- використання трьох датчиків при втраті лінії дозволяє запрограмувати платформу на зупинку;
- використання чотирьох і більше датчиків є найбільш вдалим та ефективним методом для відстеження лінії.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕКІЛЬКОХ ДАТЧИКІВ ЛІНІЇ

3.1 Вибір необхідних компонентів

Як вже сказано вище, датчики лінії виявляють наявність чорної лінії, випромінюючи інфрачервоне світло та визначаючи рівень світла, що відобразилося і повернулося до датчика. Вони роблять це за допомогою головного елемента датчика. Цим елементом є оптопара, яка складається з випромінювача та детектора. Як випромінювач практично завжди виступає інфрачервоний світлодіод. Як детектор можуть виступати кілька елементів:

- фотодіод;
- фототранзистор;
- фоторезистор.

Найбільш простим і поширеним є використання фотодіода як детектор. У даній роботі для створення та дослідження системи з декількома датчиками в оптопарі також використовуватимуться світлодіоди та фотодіоди.

Для відстеження лінії можна використовувати два типи датчиків:

- цифровий;
- аналоговий.

3.1.1 Цифровий датчик лінії

Цифровий датчик лінії видає лише два значення: 0, коли не бачить лінію та 1, коли бачить лінію. Принцип роботи цифрового датчика показаний на рисунку 3.1. Цифровий датчик складається з оптопари та її резисторів які обмежують струм, і компаратора з підстроювальним резистором, завдяки якому можна налаштувати рівень спрацьовування датчика.

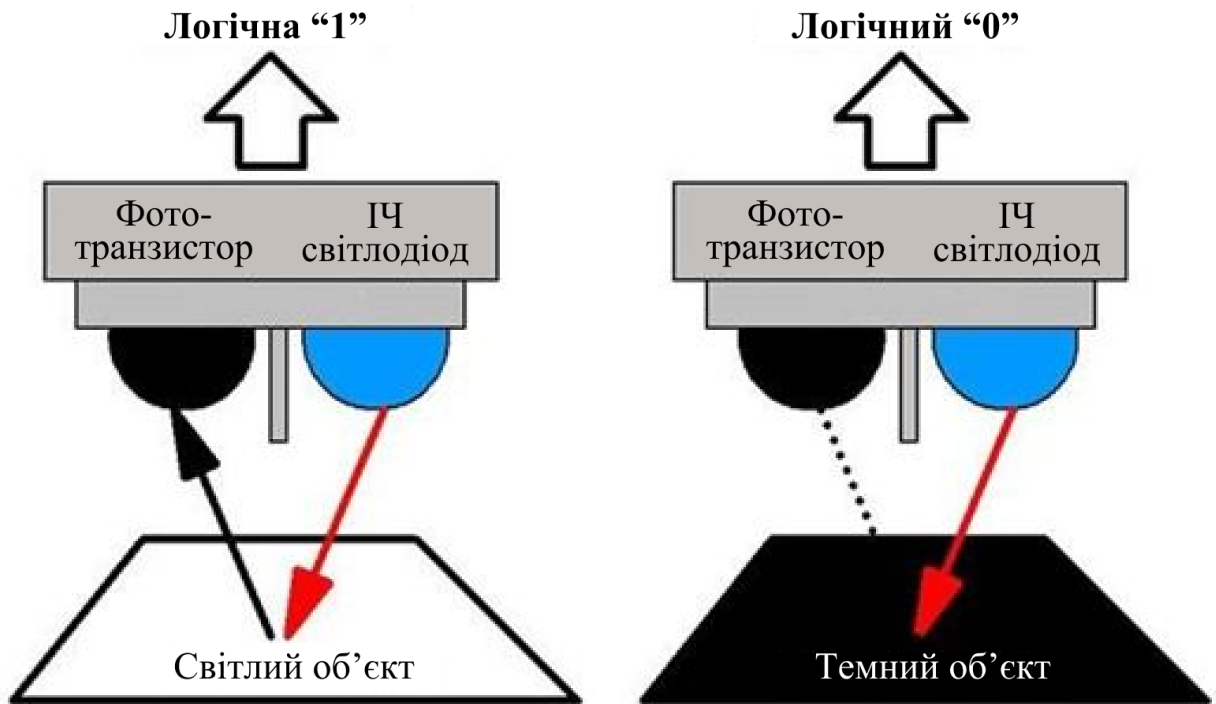


Рисунок 3.1 – Принцип роботи цифрового датчика лінії

Саме такий тип датчика використовувався у розділі 2. Система, яка використовує такі датчики, які мають лише два стани, називається релейним регулятором. Саме через цей регулятор відбуваються різкі рухи та непотрібне переміщення з боку в бік від лінії. Для промислових автоматизованих платформ таке рішення не підходить. Наприклад, якщо платформа перевозитиме високий важкий стелаж з різними предметами і при цьому сіпатися з боку в бік, тобто дуже великий ризик перекинути цей стелаж.

Набагато зручніше і практичніше використовувати аналогові датчики та ПІД регулятор.

3.1.2 Аналоговий датчик лінії

Аналоговий датчик лінії, так само як і цифровий, складається з оптопари та резисторів, що обмежують струм світлодіода та фотодіода. Але на відміну від цифрового датчика, аналоговий не має компаратора, завдяки чому сигнал з фотодіода одразу потрапляє до мікроконтролера. Це дозволяє використовувати весь діапазон значень, що надходять із датчика, і,

відповідно, більш ефективно відстежувати лінію. У цій роботі використовуватимуться саме аналогові датчики лінії.

3.1.3 ПД-регулятор

ПД-регулятор є найбільш поширеним алгоритмом управління, що використовується в промисловій автоматизації та додатках, і більше 95% промислових контролерів належать до типу ПД. ПД-регулятори використовуються для більш акуратного, плавного та точного керування різними параметрами.

Найчастіше вони використовуються для регулювання температури, тиску, швидкості та інших параметрів процесу. Завдяки високій продуктивності та функціональній простоті вони були прийняті у багатьох промислових комплексах, де точніше управління є першочерговою вимогою.

ПД-регулятор складається з трьох елементів, пропорційного, інтегрального та диференціального. Ці три основні коефіцієнти використовуються та змінюються в кожному ПД-регуляторі по-різному. Все залежить від конкретного призначення.

Для роботи ПД-регулятора необхідно подати значення, яке називається помилкою. Це різниця між заданим значенням та фактичним значенням. Для автоматизованої мобільної платформи помилкою буде різниця між показаннями датчиків .

3.2 Розробка системи позиціонування

3.2.1 Технічні характеристики світлодіодів та фотодіодів

Для створення датчиків будуть використані інфрачервоні світлодіоди та фотодіоди з маркуванням 301A, які зображені на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2– Світлодіод та фотодіод 301А для датчиків лінії

Короткі технічні характеристики світлодіода та фотодіода представлені у таблиці 3.1 та у таблиці 3.2 відповідно.

Таблиця 3.1 – Короткі технічні характеристики світлодіода

Прямий струм, мА	30
Зворотна напруга, В	5
Максимальний імпульсний струм, мА	75
Температура довкілля для коректної роботи, °С	-25 - +85
Температура довкілля для зберігання, °С	-30 - +100
Діаметр лінзи, мм	5

Таблиця 3.2 – Короткі технічні характеристики фотодіода

Прямий струм, мА	30
Зворотна напруга, В	5
Максимальний імпульсний струм, мА	75
Температура довкілля для коректної роботи, °С	-25 - +70
Температура довкілля для зберігання, °С	-30 - +80
Діаметр лінзи, мм	5

3.2.2 Складання, підключення та дослідження першого датчика

Більшість готових датчиків коректно працюють на висоті до 30 мм. Цього може бути недостатньо для переїзду різних порогів, ухилів та перешкод. Тому в роботі датчики для автоматизованої мобільної платформи будуть розташовуватися на висоті 50 мм.

Першим кроком потрібно підключити світлодіоди та фотодіоди та зняти з них показання. Для цього ми використовуватимемо макетну плату розміром 100 мм на 200 мм зі стандартною відстанню між контактними отворами 2,54 мм. Сигнали з фотодіодів будемо зчитувати та обробляти за допомогою плати Arduino NANO nano, яка використовує середовище розробки Arduino IDE. Живленням схему забезпечуватиме лабораторний блок живлення напругою 5 В. Незважаючи на те, що виробником для світлодіодів заявлений струм 30 мА, ми в рамках даної роботи для збільшення світлового потоку будемо подавати струм рівний 50 мА. Для цього знадобляться резистори номіналом 100 Ом. Для фотодіода використовуємо резистори номіналом 20 кОм. Підключимо все за схемою, як показано на рисунку 3.3.

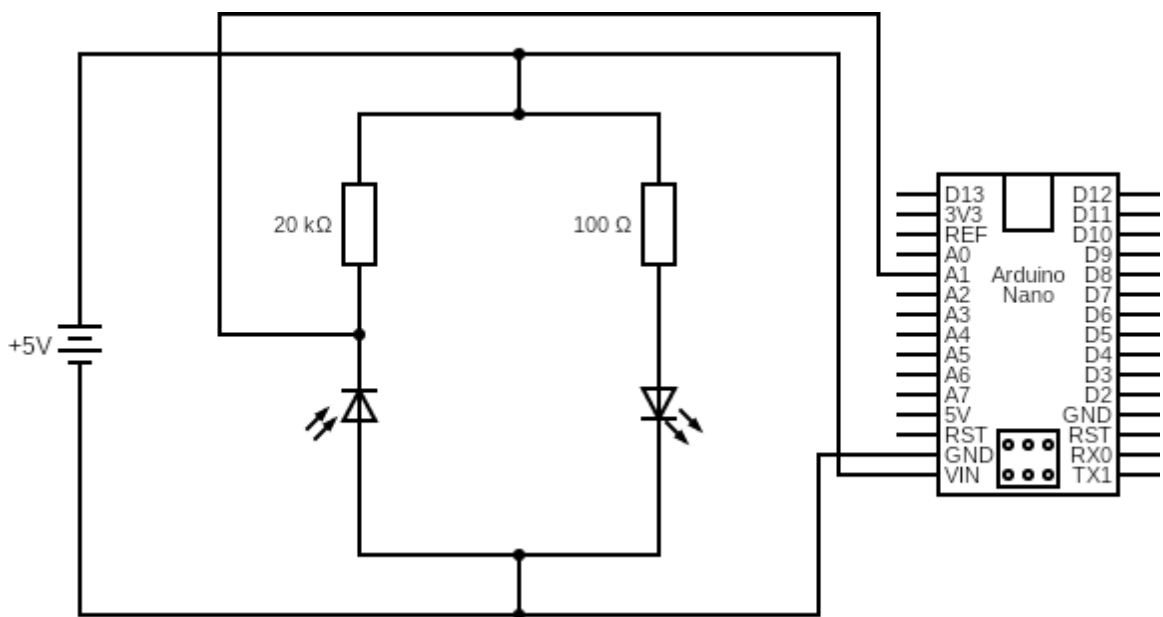


Рисунок 3.3 – Схема підключення світлодіода та фотодіода до Arduino

Далі підключимо плату Arduino до комп'ютера, і в середовищі розробки Arduino IDE напишемо невелику програму, яка зчитуватиме значення з датчика, що приходять на пін A1 плати Arduino і виводити їх через монітор порту на екран комп'ютера:

```
void setup() {
```

```
Serial.begin(  
9600);  
}  
voidloop() {  
floatvalue =  
analogRead(A6);  
Serial.print("value=");  
Serial.print(value);  
Serial.println("\t");  
delay(100);  
}
```

Результат виконання цієї програми представлений рисунком 3.4.



Рисунок 3.4 – Результат виконання програми

Як бачимо, мікроконтролер зчитує значення з фотодіода. Отже схема зібрана правильно. У платі ардуїно використовується мікроконтролер, який містить аналого-цифровий перетворювач або АЦП з роздільною здатністю 10 біт. АЦП оцифровує поданий на аналоговий вивід напругу, і переводить його в цифрове значення від 0 до 1023. Аналогові входи можуть зчитувати напругу, що подається на них від 0 до опорної напруги. У нашому випадку

опорною напругою буде 5 В.

Отримаємо показання датчика на білому та чорному тлі. Показання датчика на білому тлі зображені на рисунку 3.5, а показання датчика на чорному тлі зображені на рисунку 3.6.

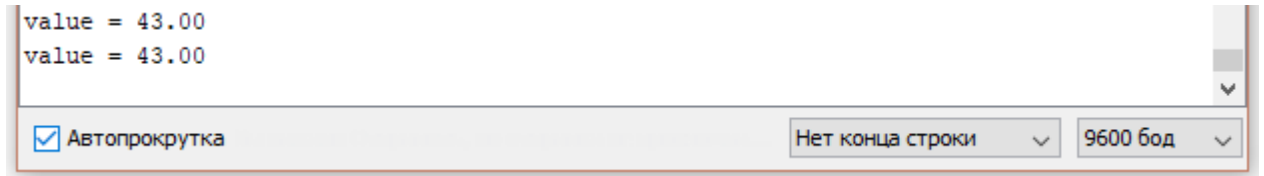


Рисунок 3.5 – Покази датчика на білому тлі

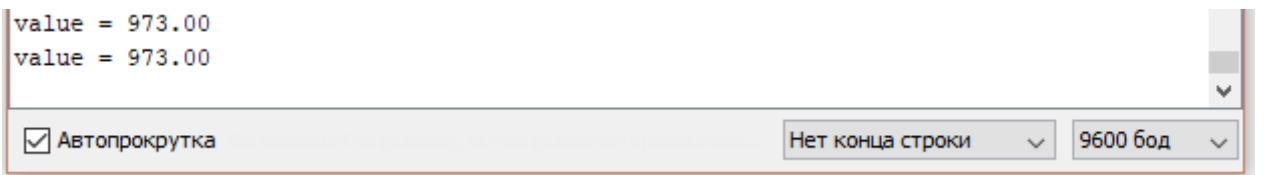


Рисунок 3.6 – Показання датчика на чорному тлі

Переведемо дані значення АЦП у значення напруги за допомогою даного рядку коду: $\text{floatvalueV} = \text{value} * (5.0 / 1023.0)$. Ще раз зробимо виміри на білому і на чорному тлі та виведемо розраховані показання напруги окремим стовпцем. Показання датчика на білому тлі зі значеннями напруги зображені на рисунку 3.7, а показання датчика на чорному тлі зі значеннями напруги представлені на рисунку 3.8.



Рисунок 3.7 – Показання датчика на білому тлі зі значенням напруги

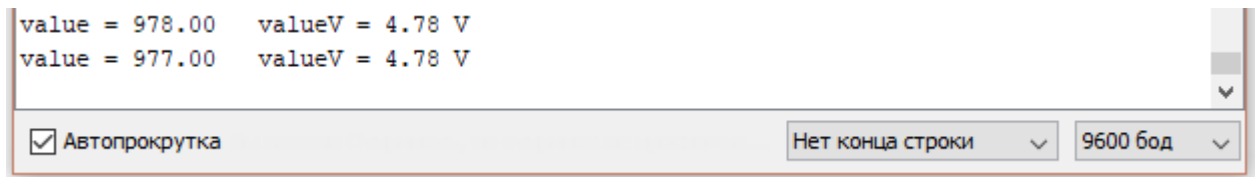


Рисунок 3.8 – Покази з датчика на чорному тлі зі значенням напруги

Як можна помітити, мінімальне значення напруги становить 0,2 В, а максимальне значення становить 4,78 В. Таким чином, робочий діапазон напруг складає 4,58 В. Якщо перевести у відсоткове співвідношення, то це становить 91,6% від напруги 5 В. Іншими словами, для роботи датчик використовує практично весь діапазон напруги, що подається на нього. Це дозволить точніше контролювати перехід від білого фону до чорного, і, відповідно, точніше відстежувати лінію траси.

У процесі даних вимірів було виявлено, що в деяких випадках, при розташуванні датчика рівно вертикально до підлоги над чорною лінією значення опускалися до нуля. Це пов'язано з тим, що чорна лінія має невеликий глянець на поверхні, і за певних обставин світло від світлодіода не поглинається лінією, а повністю відбивається від неї, як і від білої поверхні, потрапляє на фотодіод та реєструється мікроконтролером. Щоб позбавитися цього ефекту, необхідно розташовувати датчики під невеликим кутом до підлоги. У цій роботі ми будемо розташовувати плату з датчиками під кутом 15° до підлоги.

3.2.3 Експериментальні дослідження на співспрямованість геометричної та оптичної осей світлодіода.

Так само в процесі вимірювання було виявлено, що навіть при невеликому відхиленні світлодіода або фотодіода показання датчика змінюються. Була висунута теорія, що геометрична вісь лінзи світлодіода не збігається з оптичною віссю, як це показано на рисунку 3.9. Відповідно, якщо ми розташуємо фотодіод ліворуч від світлодіода, то фактична світлова пляма буде ближчою до фотодіода. На нього потраплятиме більше відбитого світла, і діапазон отриманих значень збільшиться. А якщо ми розташуємо фотодіод

праворуч від світлодіода, то фактична світлова пляма буде набагато далі від світлодіода. У такому разі на фотодіод потраплятиме менше відбитого світла, і діапазон отриманих значень зменшиться.

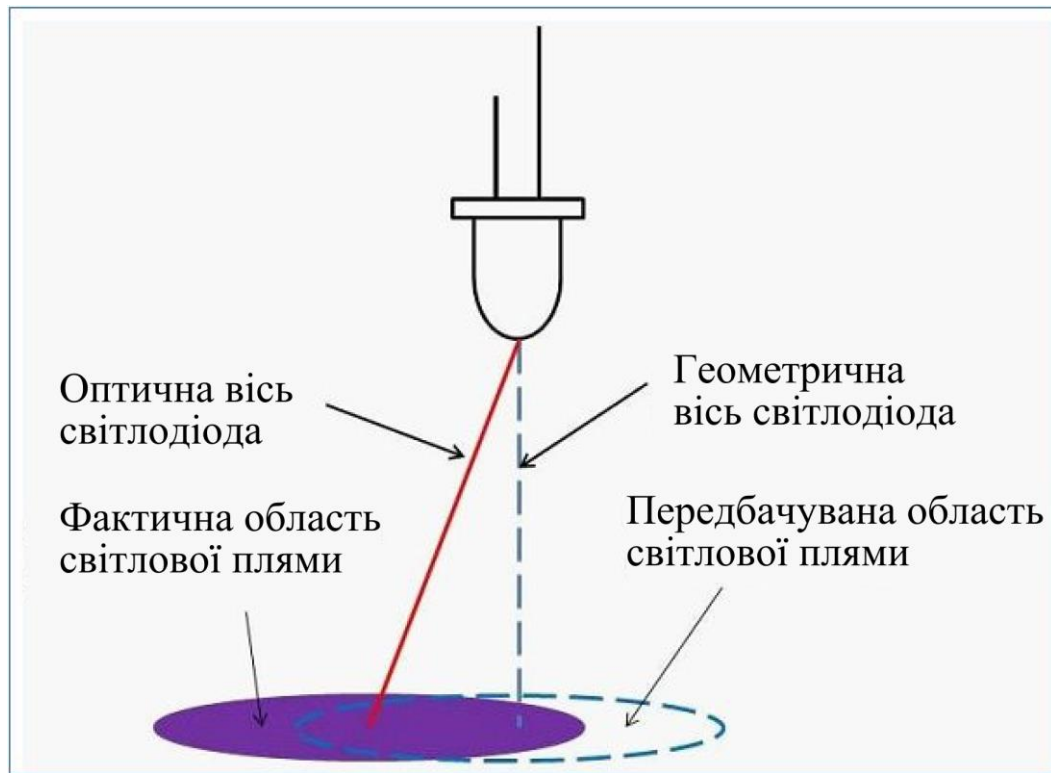


Рисунок 3.9 – Розбіжність геометричної та оптичної осей світлодіода

Щоб підтвердити або спростувати цю теорію, були проведені дослідження на даних отриманих з датчика в залежності від розташування елементів оптопар. Для дослідження було взято 4 варіанти розташування світлодіода та фотодіода відносно один одного, як це показано на рисунку 3.10. Літери А та К означають анод та катод відповідно.

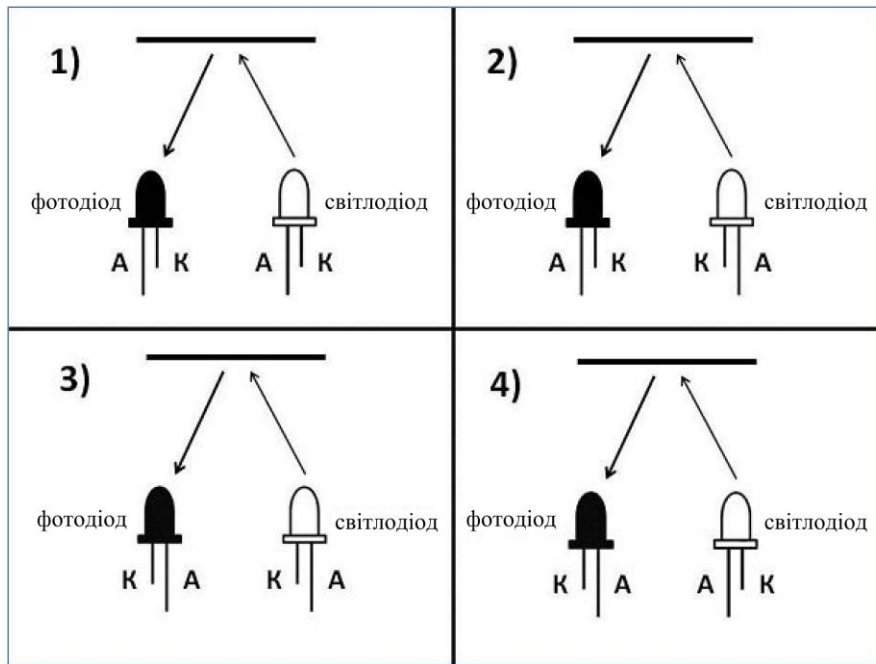


Рисунок 3.10 – Варіанти розташування світлодіода та фотодіода

Дослідження проводилося тричі. У кожному з досліджень було взято різні пари світлодіодів та фотодіодів. Значення даних з датчиків кожного з трьох експериментів зведені в таблицю 3.3, таблицю 3.4 і таблицю 3.5 відповідно.

Таблиця 3.3 – Експеримент з першою парою світлодіода та фотодіода

Варіант розташування по рисунку 3.10	1	2	3	4
Значення напруги на чорному тлі	4,7	4,6	4,72	4,63
Значення напруги на сірому фоні	2,4	2,48	2,65	2,53
Значення напруги на білому тлі	0,23	0,2	0,22	0,2

Таблиця 3.4 – Експеримент з другою парою світлодіода та фотодіода

Варіант розташування по рисунку 3.10	1	2	3	4
Значення напруги на чорному тлі	4,65	4,67	4,78	4,61
Значення напруги на сірому фоні	2,52	2,5	2,61	2,4
Значення напруги на білому тлі	0,2	0,21	0,2	0,2

Таблиця 3.5 – Експеримент із третьою парою світлодіода та фотодіода

Варіант розташування порисунку 3.10	1	2	3	4
Значення напруги на чорному тлі	4,69	4,7	4,75	4,68
Значення напруги на сірому фоні	2,48	2,62	2,5	2,58
Значення напруги на білому тлі	0,21	0,22	0,2	0,2

Виходячи з отриманих даних, ми можемо помітити, що максимальна різниця показань серед усіх трьох експериментів:

- 0,18 В на чорному тлі;
- 0,25 В на сірому фоні;
- 0,03 В на білому тлі.

Максимальний діапазон напруг серед усіх трьох експериментів становить 4,58 В, а мінімальний діапазон становить 4,4 В.

Як ми можемо помітити, сильної різниці у значеннях немає. Виходячи з цього, можна дійти до невтішного висновку, що геометрична і фактична осі світлодіодів збігаються.

Для подальших досліджень в даній роботі ми будемо використовувати третій варіант розташування світлодіодів і фотодіодів, який показаний на рисунку 3.10. Він найбільш вигідний при розведенні друкованої плати, тому що анод і катод розташовуються поруч один з одним і підключаються до мінусу живлення, відповідно, ці виводи можна одразу об'єднати. При вивченні вже готових рішень, що продаються, було виявлено, що вони так самовикористовують третій варіант розташування. Приклад готового аналогового датчика з третім варіантом розташування світлодіодів і фотодіодів показаний на рисунку 3.11.

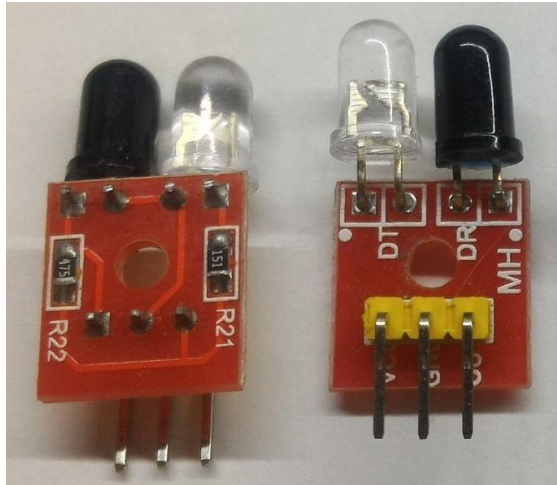


Рисунок 3.11 – Приклад аналогового датчика лінії

3.2.4 Складання та дослідження системи позиціонування на лінії з використанням шести датчиків.

Далі взяли макетну плату розмірами 100 мм на 200 мм і розташували на ній шість оптопар, як показано на рисунку 3.12. Відстань між центром світлодіода та центром фотодіода в оптопарах склала 7,62 мм. Відстань між центрами сусідніх світлодіодів та сусідніх фотодіодів склала 20,32 мм.

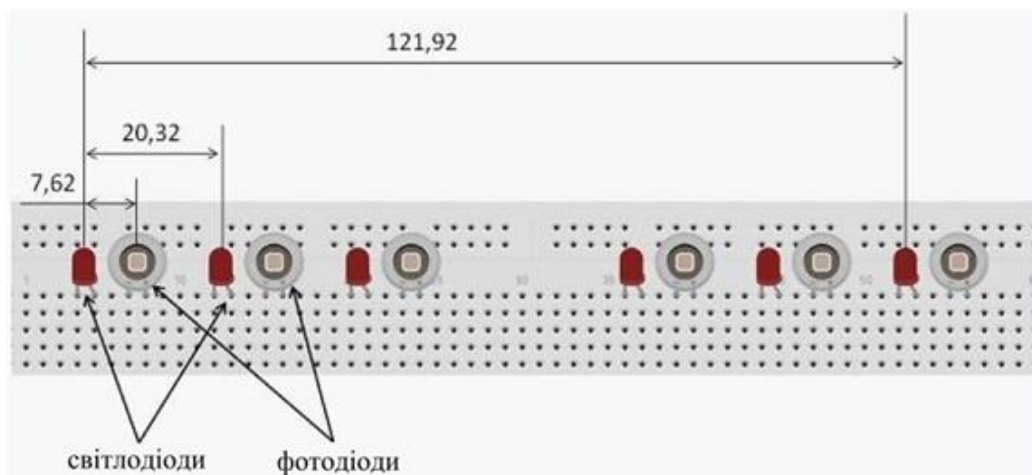


Рисунок 3.12 – Розташування датчиків на макетній платі

Підключили всі компоненти за схемою, що представлена на рисунку 3.13. Значення з датчиків подаються на аналогові виводи A1 - A6 плати Arduino. Плюс живлення підключається до виведення VIN плати Arduino, а мінус до виведення GND. Світлодіод підключається через резистор 100 Ом, фотодіод підключається через резистор 20 кОм.

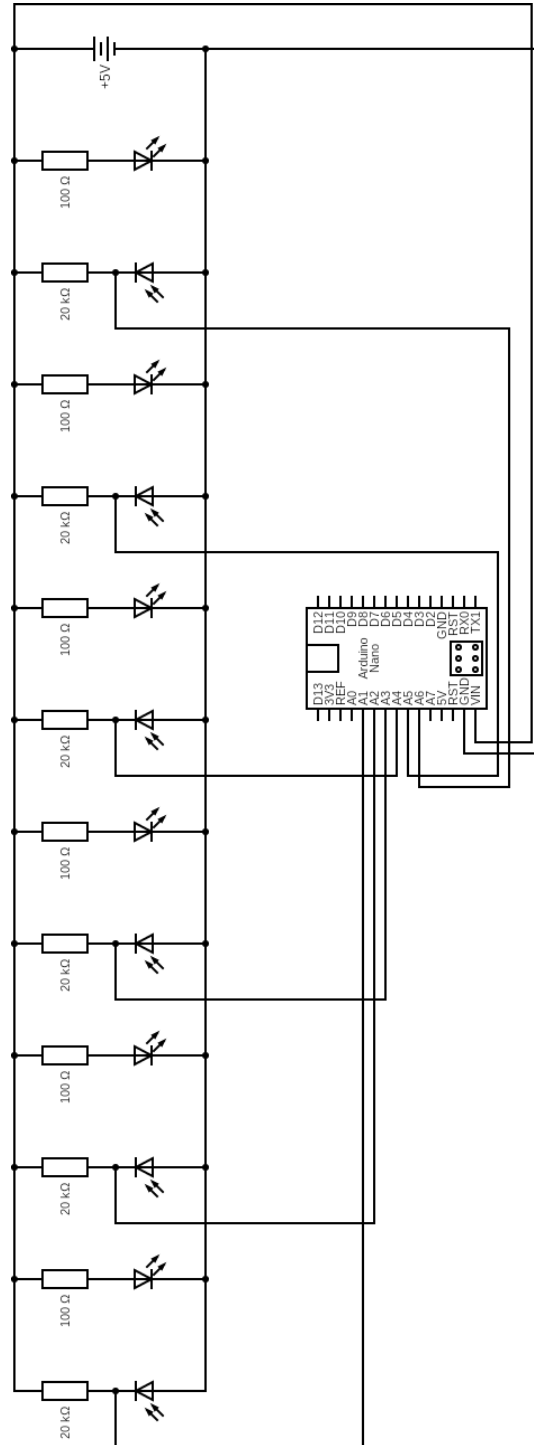


Рисунок 3.13 – Схема підключення світлодіодів та фотодіодів до плати Arduino

Після цього ардуїнопідключено до комп'ютера, і написано програму, яка зчитуватиме показання з датчиків, переводити їх у напругу і виводити на екран через монітор порту. Датчики в програмі позначатимуться як vd1 – vd6. Результат зі значеннями датчиків при першому запуску показано на рисунку 3.14.

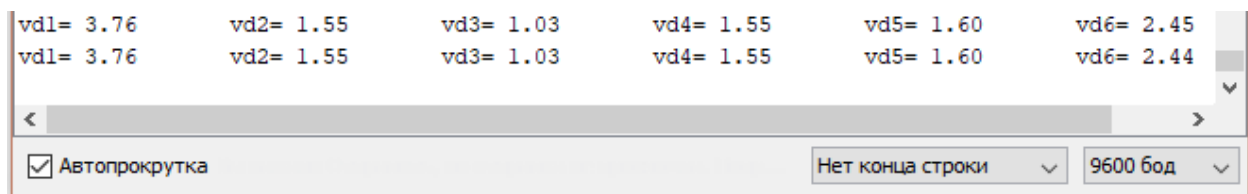


Рисунок 3.14 – Значення напруги шести датчиків при першому включенні

Далі розташували датчики над білим, над чорним та над сіримфоном, зробили виміри, і вивели розраховані показання напруги. Покази з датчиків на білому, чорному і сірому фоні зображені на рисунку 3.15, рисунку 3.16 та рисунку 3.17 відповідно.

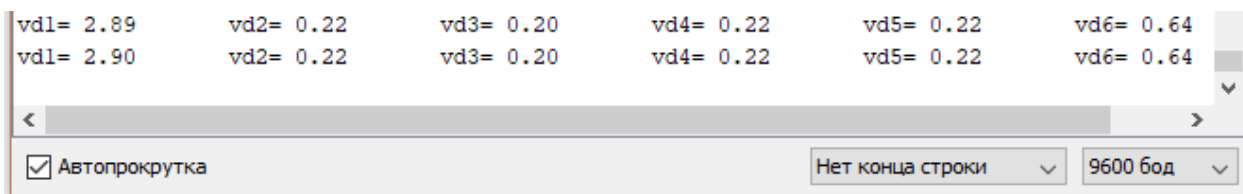


Рисунок 3.15 – Показання датчиків на білому тлі

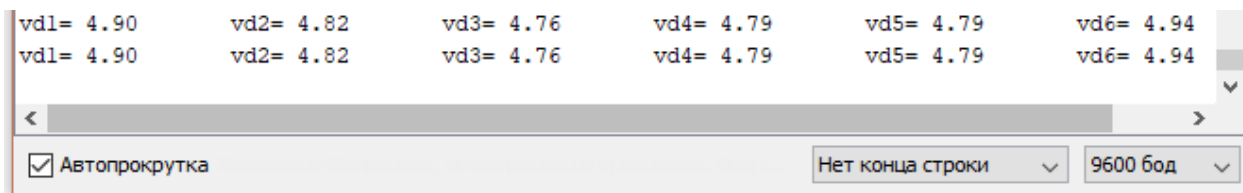


Рисунок 3.16 – Показання датчиків на чорному тлі

vd1= 4.14	vd2= 2.47	vd3= 2.11	vd4= 2.54	vd5= 2.60	vd6= 3.34
vd1= 4.14	vd2= 2.47	vd3= 2.11	vd4= 2.54	vd5= 2.60	vd6= 3.34

Автопрокрутка

 Нет конца строки
 9600 бод

Рисунок 3.17 – Показання датчиків на сірому фоні

Як можна помітити, показання крайніх датчиків vd1 і vd6 дуже відрізняються від показань інших датчиків. Це може бути пов'язане з несправністю світлодіодів або фотодіодів у цих оптопарах. Також можна помітити, що показання датчиків vd2 – vd5 теж відрізняються один від одного, але вже меншою мірою, порівняно з vd1 та vd6. Особливо добре це видно на сірому фоні. Такий ефект може виникати через те, що у нас з'являються перекриття світлових плям від світлодіодів, через що в деяких місцях відбиватиметься і потраплятиме на певний фотодіод більше світла, ніж, наприклад, на сусідній фотодіод. У зв'язку з цим у деяких датчиків зменшується діапазон значень, що знімаються, а у деяких збільшується. Фотографію світлових плям датчиків з перекриттями можна побачити на рисунку 3.18.

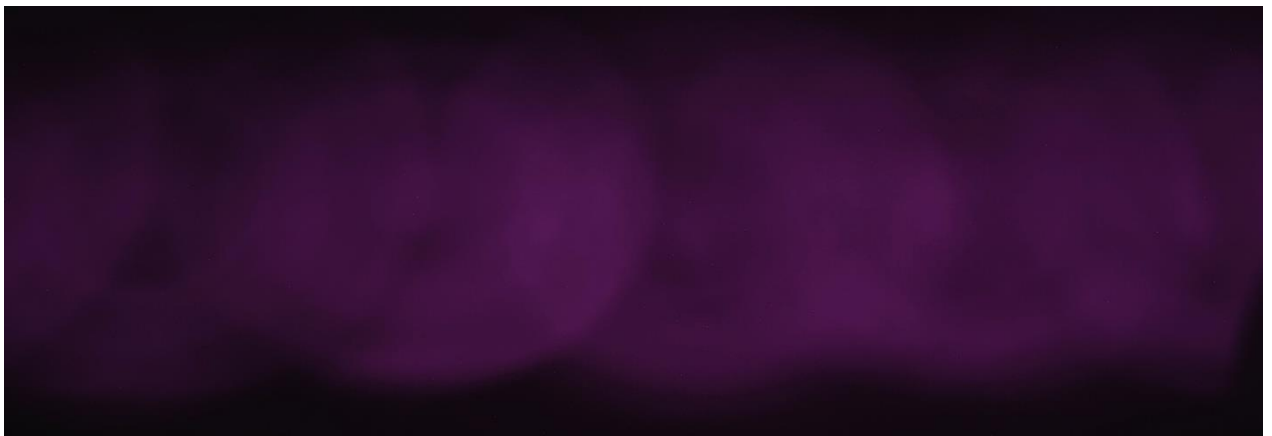


Рисунок 3.18 – Світлові плями датчиків на підлозі

3.2.5 Розрахунок помилки для ПІД-регулятора при розташуванні світлодіодів та фотодіодів в один ряд.

Як вказано раніше, у цій роботі ми будемо використовувати аналогові датчики, показання з яких передаватимуться на ПІД-регулятор. Для ПІД-регулятора потрібно подавати помилку, якою є різниця значень між датчиками. У подальшій роботі ми використовуватимемо показання з датчиків не у напрузі, а цифрових одиницях від 0 до 1023, які видає АЦП.

Для дослідження ми використовуватимемо чорну лінію шириною 48 мм, наклеєну на білий аркуш паперу.

Для зручності подальшої роботи подаватимемо на ПІД-регулятор значення від 0 до 100. Відповідно, потрібно пропорційно перенести діапазон значень, що одержуються з датчиків у діапазон значень від 0 до 100. З цим нам допоможе функція `map()`. Ця функція пропорційно переносить значення датчика з його поточного діапазону, в необхідний діапазон значень. Розберемо з прикладу. Припустимо, мінімальне та максимальне значення з датчика рівно 70 та 960 відповідно. У такому випадку запис функції буде виглядати наступним чином: `map(vd, 70, 960, 0, 100)`. Відповідно, потрібно визначити мінімальне і максимальне значення показань кожного датчика, і для кожного з них прописати функцію `map()`.

Для обчислення помилки ми будемо використовувати таку формулу: $err = (vd3 - vd4) + (vd2 - vd5) + (vd1 - vd6)$. По ній із значень лівих датчиків `vd1-vd3`, які знаходяться з лівого боку від лінії, будуть відніматися значення правих датчиків `vd4-vd6`, які знаходяться праворуч від лінії. Вставимо цю формулу в скетч і виведемо результат. Окремим стовпцем виводитимемо розраховане значення помилки. Лінію ми розташовуватимемо посередині між 3 та 4 датчиком. Результат можна побачити на рисунку 3.19.

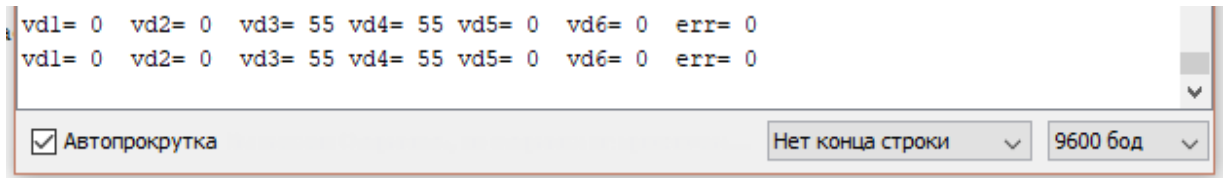


Рисунок 3.19 – Значення датчиків та розрахованої помилки при розташуванні лінії між 3 та 4 датчиками

Для прикладу зрушимо лінію трохи вліво, розташувавши її між 2 та 3 датчиком, і виведемо показання. Результат можна побачити на рисунку 3.20.

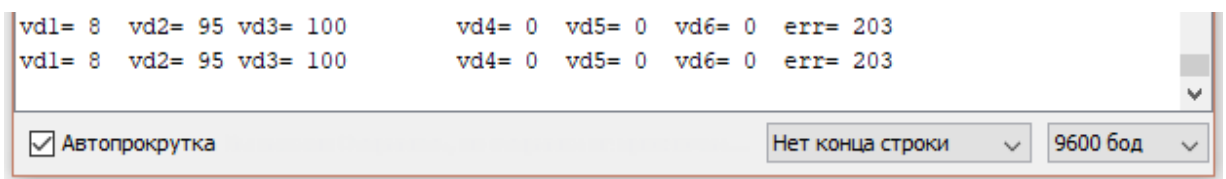


Рисунок 3.20 – Значення датчиків та розрахованої помилки при розташуванні лінії між 2 та 3 датчиками

Отримаємо показання з датчиків, а також розраховану помилку при різному положенні лінії щодо датчиків. За нульове приймемо положення між 3 та 4 датчиками як це показано на рисунку 3.21. Переміщати лінію на 6 см вліво і потім на 6 см вправо. Зчитувати показання через кожен сантиметр. Усі значення занесемо до таблиці 3.6.



Рисунок 3.21 – Початкове розташування лінії щодо датчиків

Таблиця 3.6 – Показання з датчиків та розрахована помилка

Положення чорної лінії, см	Показання датчиків						Розрахована помилка
	vd1	vd2	vd3	vd4	vd5	vd6	
-6	100	41	0	0	0	0	141
-5	100	94	0	0	0	0	194
-4	80	100	61	0	0	0	241
-3	25	100	100	0	0	0	225
-2	0	76	100	0	0	0	176
-1	0	6	100	0	0	0	106
0	0	0	57	57	0	0	0
1	0	0	0	100	0	0	-100
2	0	0	0	100	54	0	-154
3	0	0	0	100	97	0	-197
4	0	0	0	71	100	57	-228
5	0	0	0	4	96	100	-200
6	0	0	0	0	42	100	-142

За значеннями, які представлені у таблиці 3.6 побудовано графік залежності значень кожного датчика положення лінії, який зображений на рисунку 3.22.

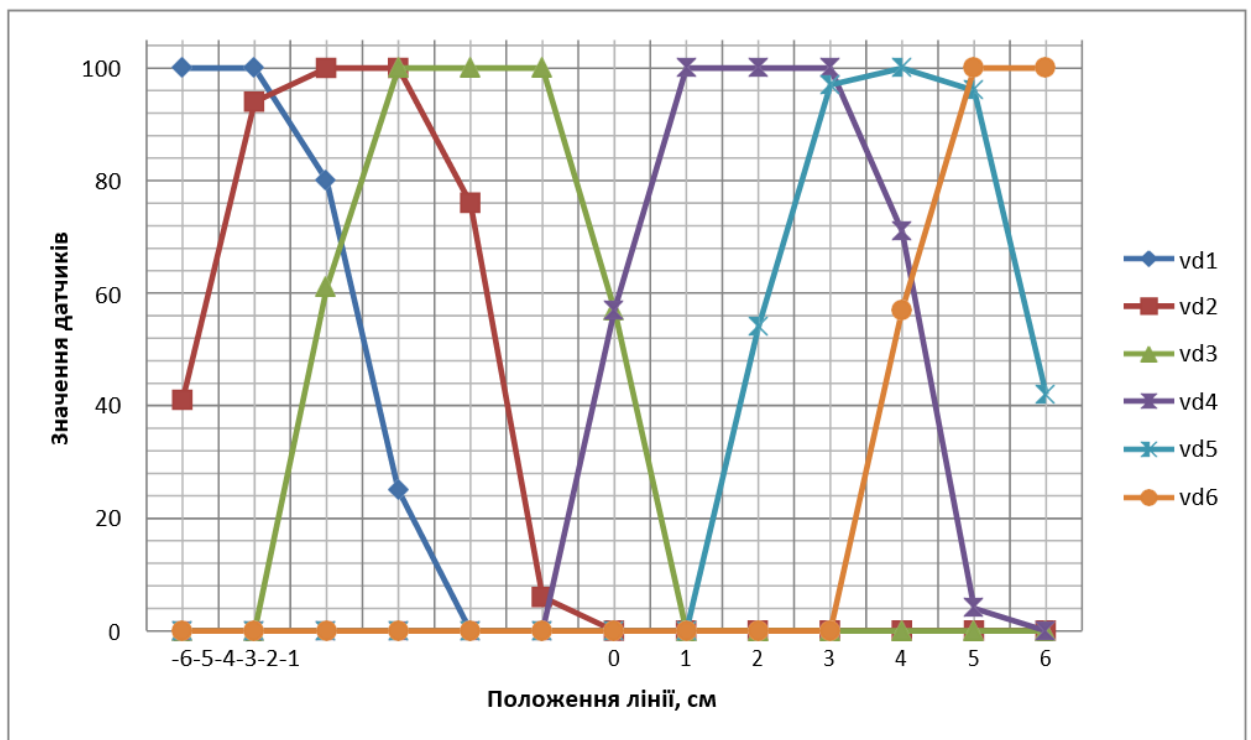


Рисунок 3.22 – Графік залежності значень датчиків від положення лінії

Також за значеннями таблиці 6 побудували графік залежності розрахованої помилки від положення лінії, який зображено на рисунку 3.23.

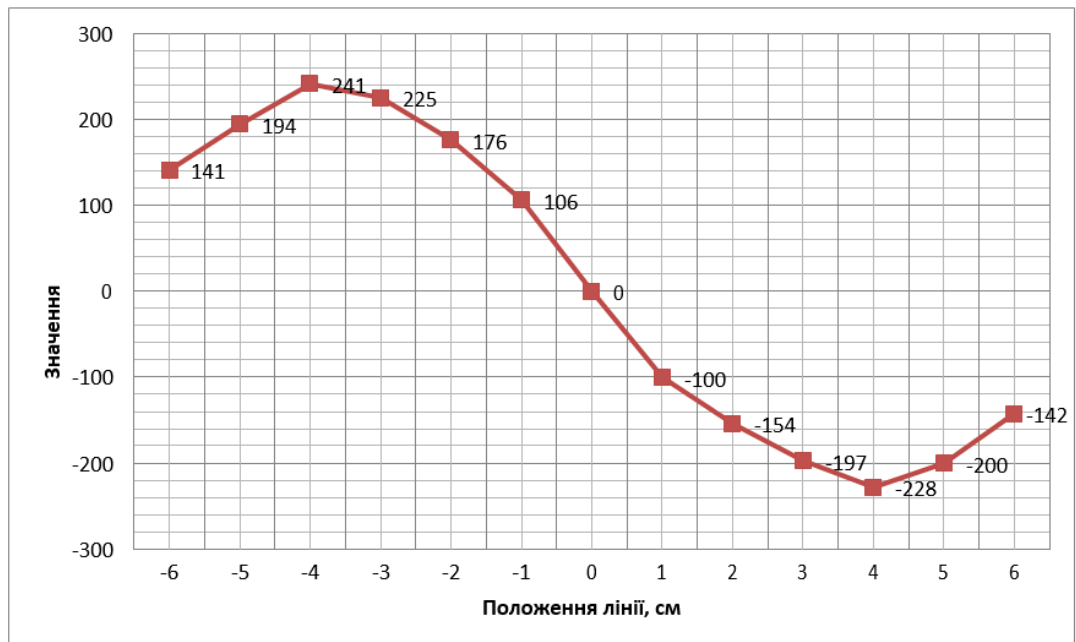


Рисунок 3.23 – Графік залежності розрахованої помилки від положення лінії

Як можна помітити за графіком на рисунку 3.22, лінія залишається в полі зору системи із шести датчиків.

А за графіком на рисунку 3.23 можна помітити, що, крім загинів з обох боків, графік наближений до лінійного. Це дозволить більш передбачувано та вірно працювати з цими значеннями, подаючи їх на ПІД-регулятор.

3.3 Розрахунок помилки для ПІД-регулятора при розташуванні світлодіодів та фотодіодів один за одним

3.3.1 Розташування світлодіода ближче до підлоги

Крім варіанта розташування датчиків, коли світлодіоди та фотодіоди стоять в один ряд, як це зображено на рисунку 3.12, є ще варіант розташування їх один за одним, як це показано на рисунку 3.24. Інакше кажучи, у нас виходить окремо ряд світлодіодів та окремо ряд фотодіодів.

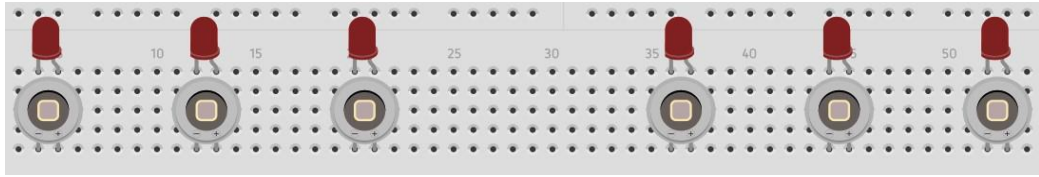


Рисунок 3.24 – Розташування датчиків на макетній платі

Як було сказано, датчики у нас стоять під кутом 15° до підлоги, щоб уникнути відблисків. Відповідно можна перевірити ще два різні положення датчиків, коли світлодіод знаходиться ближче до підлоги, і навпаки, коли фотодіод знаходиться ближче до підлоги.

Тому далі ми розташували датчики на платі, як показано на рисунку 3.24, і нахилили плату так, щоб світлодіод був ближче до підлоги, ніж фотодіод, як показано на рисунку 3.25. При цьому ми зберегли кут в 15° до підлоги. Відстань 50 мм від підлоги до датчика в даному випадку відраховується до світлодіода.

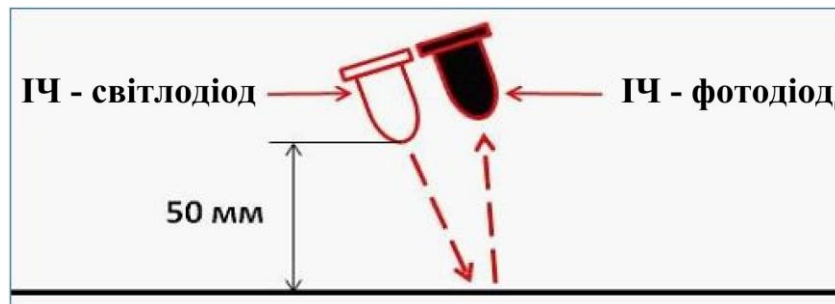


Рисунок 3.25 – Розташування оптики, де світлодіод ближче, ніж фотодіод

Отримали дані з датчиків, а також розраховану помилку при різному положенні лінії щодо датчиків від -6 см до 6 см, знімаючи показання через кожен сантиметр. За нульове прийняли положення між 3 та 4 датчиками як показано на рисунку 3.21. Всі значення занесли у таблицю 3.7.

Таблиця 3.7– Показання з датчиків та розрахована помилка при розташуванні світлодіода ближче до підлоги, ніж фотодіода

Положення Чорної лінії, см	Показання датчиків						Розрахована помилка
	vd1	vd2	vd3	vd4	vd5	vd6	
-6	100	85	0	0	0	0	185
-5	100	100	12	0	0	0	212
-4	70	100	67	0	0	0	237
-3	13	90	100	0	0	0	203
-2	0	37	100	0	0	0	137
-1	0	0	95	2	0	0	93
0	0	0	59	59	0	0	0
1	0	0	3	99	15	0	-111
2	0	0	0	100	68	4	-172
3	0	0	0	96	100	40	-236
4	0	0	0	54	100	97	-251
5	0	0	0	0	94	100	-194
6	0	0	0	0	53	100	-153

За значеннями з таблиці 3.7 побудовано графік залежності розрахованої помилки від положення лінії, зображеного на рисунку 3.26.

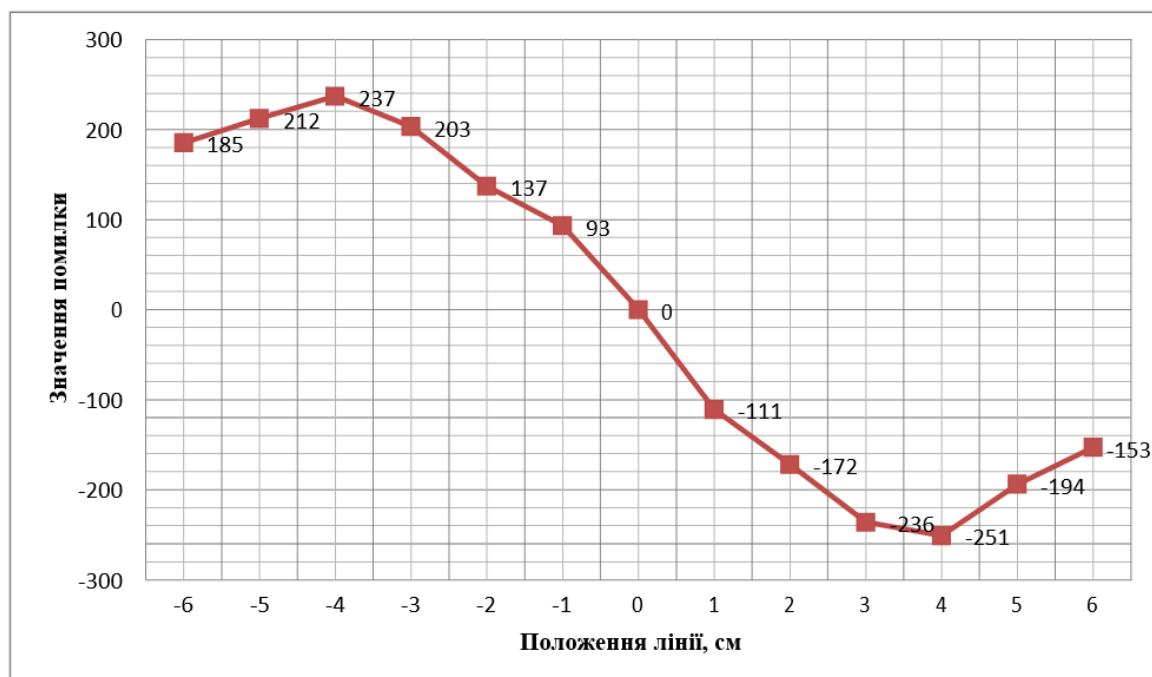


Рисунок 3.26 – Графік залежності розрахованої помилки від положення лінії при розташуванні світлодіода ближче до підлоги, ніж фотодіода

3.3.2 Розташування фотодіода ближче до підлоги

Далі ми розташували плату як і в пункті 3.2.5, але цього разу нахилили плату так, щоб фотодіод був ближче до підлоги, ніж світлодіод, як показано на рисунку 3.27. Відстань в 50 мм від підлоги до датчика в даному випадку відраховується до фотодіод. Також зняли показання з датчиків і розраховану помилку при різному положенні лінії щодо датчиків і всі значення занесли таблицю 3.8. За значеннями таблиці 3.8 побудували графік залежності розрахованої помилки від положення лінії, представлений на рисунку 3.28.

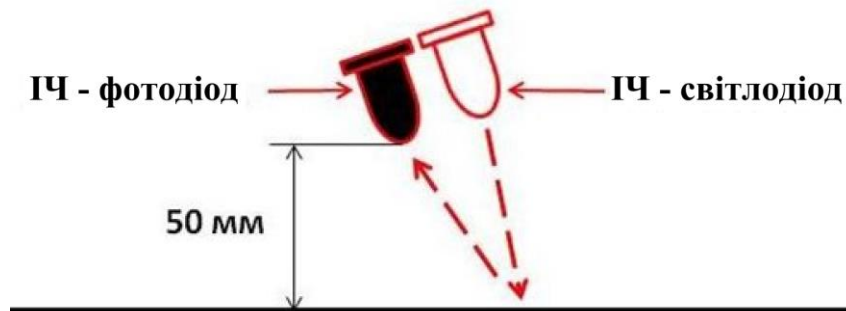


Рисунок 3.27 – Розташування оптики, де фотодіод ближче, ніж світлодіод

Таблиця 3.8 – Показання з датчиків та розрахована помилка при розташуванні фотодіода до підлоги ближче, ніж світлодіода

Положення чорної лінії , см	Показання датчиків						Розрахована помилка а
	vd1	vd2	vd3	vd4	vd5	vd6	
-6	98	76	0	0	0	0	174
-5	98	97	0	0	0	0	195
-4	74	84	54	0	0	0	212
-3	12	83	98	0	0	0	192
-2	0	23	97	0	0	0	135
-1	0	0	92	0	0	0	95
0	0	0	56	56	0	0	0
1	0	0	0	99	0	0	-99
2	0	0	0	100	66	3	-169
3	0	0	0	99	100	24	-223
4	0	0	0	64	100	92	-256
5	0	0	0	0	96	100	-196
6	0	0	0	0	57	100	-157

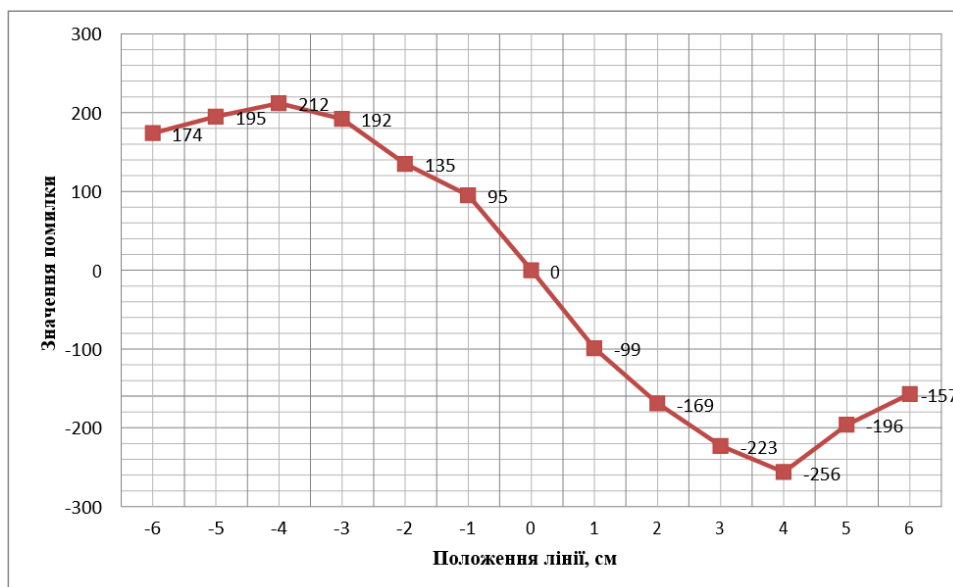


Рисунок 3.28 – Графік залежності розрахованої помилки від положення лінії при розташуванні фотодіода ближче до підлоги, ніж світлодіода

Із отриманих даних можна помітити, що при розташуванні світлодіодів і фотодіодів один за одним графіки менш лінійні, ніж при розміщенні елементів в один загальний ряд. Особливо це помітно на графіку, який зображений на рисунку 3.28. Це відбувається через те, що при такій конструкції з розташуванням елементів один за одним, на фотодіоді потрапляє менше відбитого світла. Діапазон значень, що знімаються з датчика, зменшується, відповідно і розрахована помилка також зменшується. Надалі це може негативно вплинути на рух платформи. Тому розташування світлодіодів і фотодіодів в один загальний ряд, як показано на рисунку 3.12, є найбільш вдалим і перспективним. У подальшій роботі використовуватиметься саме таке розташування датчиків.

3.3.3 Алгоритм перерахунку отриманих значень

Для ПІД-регулятора нам потрібно подавати значення від 0 до 100, а значення помилки, яке ми отримуємо, варіюється в діапазоні 200-250 од.

Також можна побачити, що з зміщенні лінії далі 4 див значення помилки зменшується. Це відбувається через те, що при зміщенні лінії

більше 4 см її продовжують відстежувати лише крайні датчики. Відповідно сумарна розрахована помилка зменшується. Для платформи це неприпустимо. Для того, щоб платформа не з'їхала з траси, нам необхідно зробити пряму залежність значення датчиків від положення лінії, щоб при збільшенні зсуву лінії від центру значення помилки так само збільшувалося. Іншими словами, щоб максимальне значення помилки у нас було при зміщенні лінії на 6 см, коли тільки крайні датчики бачать лінію.

Щоб розв'язати ці проблеми було розроблено наступний алгоритм:

$$v1=vd1;$$

$$v2 = \max$$

$$(v1, vd2);$$

$$v3 = \max$$

$$(v2, vd3);$$

$$v7 = vd7;$$

$$v6 = \max$$

$$(v7, vd6);$$

$$v5=\max(v6,vd5);$$

$$\text{err}=(v1+v2+v3-v5-v6-v7)/3;$$

За цим алгоритмом значення з першого датчика порівнюється зі значенням з другого датчика, знаходиться максимальне серед них, і присвоюється другому датчику. Далі надане значення другого датчика порівнюється з третім датчиком, знаходиться максимальне значення серед них, і присвоюється третьому датчику. Теж саме робиться з 4, 5 та 6 датчиком. Після цього із суми 1-3 датчиків віднімається сума 4-6 датчиків і ділиться

на 3. Результат можна побачити на рисунку 3.29. Значення, що підставляються в алгоритм, використовувалися з таблиці 3.6.

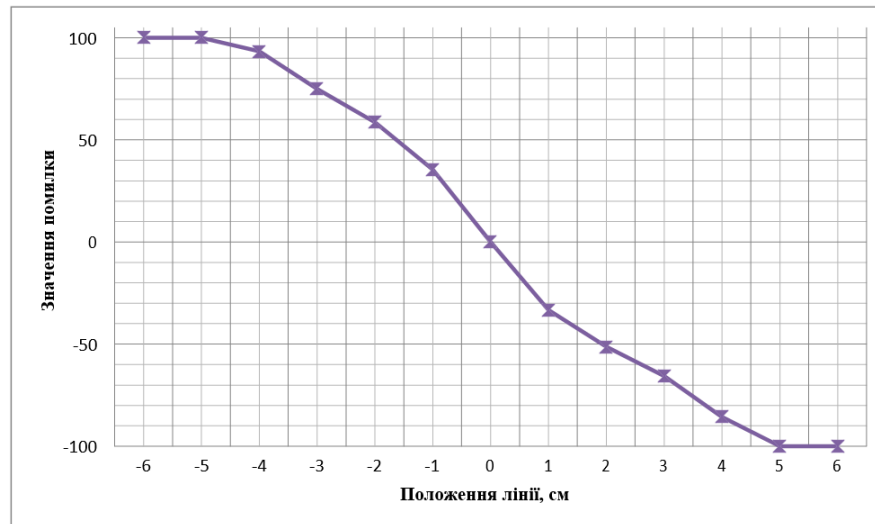


Рисунок 3.29 – Результат виконання алгоритму перерахунку помилки

Можна помітити, що значення плавно змінюються в діапазоні від -100 до 100, а не як раніше в діапазоні до 250 одиниць. Відповідно такі значення ми вже можемо подавати на ПІД регулятор. Також ми бачимо, що залежність значення помилки практично прямо пропорційна положенню лінії. Це означає, що чим сильніше зсувається лінія від середини, тим сильніше буде значення помилки, і тим сильніше платформа повертатиме, щоб не з'їхати з лінії. Також можна побачити, що максимальні значення помилки виходять тільки в крайніх положеннях, коли лінія залишається в зоні видимості тільки крайніх датчиків, що і потрібно було отримати.

3.4 Система безпеки на основі лідара

Ще одним важливим питанням є система безпеки автоматизованої мобільної платформи, що виключає її зіткнення з перешкодами та наступний вихід із ладу. У цій роботі для створення системи безпеки використовується лідар. Про його переваги було докладно написано у розділі 1.5 пояснювальної записки.

3.4.1 Вибір лідара

Для порівняння було обрано два лідари: RP Lidar A1, який зображений на рисунку 3.30, та YDLidar X2, який зображений на рисунку 3.31.



Рисунок 3.30 – RP Lidar A1



Рисунок 3.31 – YDLidar X2

Короткі технічні характеристики RP Lidar A1 представлені у таблиці 3.9, а короткі технічні характеристики YDLidar X2 представлені у таблиці 3.10.

Таблиця 3.9 – Короткі технічні характеристики RP Lidar A1

Максимальна дальність, м	12
Мінімальна дальність, м	0,15
Швидкість сканування, Гц	5-10
Максимальна частота дискретизації, Гц	8000

Таблиця 3.10 – Короткі технічні характеристики YDLidar X2

Максимальна дальність, м	8
Мінімальна дальність, м	0,1
Швидкість сканування, Гц	5-8
Максимальна частота дискретизації, Гц	3000

Вивчивши технічну документацію і порівнявши технічні характеристики даних лідарів, було зроблено вибір на користь RP Lidar A1. У порівнянні з YDLidar X2 у нього більша максимальна дальність сканування і швидкість сканування, а також більша частота дискретизації. Ще одним важливим фактором є те, що виробники RP Lidar A1 створили бібліотеку для роботи з лідаром на Ардуїно. Завдяки чому працювати з ним у середовищі програмування Arduino IDE буде набагато простіше, ніж з YDLidar X2.

3.4.2 Розробка алгоритму роботи

Далі була написана програма для роботи з лідаром, яка показана в додатку А. За алгоритмом цієї програми лідар сканує простір у заданому секторі, та передає дані про відстань до об'єктів у цьому секторі на ардуїно. Далі ардуїно порівнює отримані значення відстані із заданими, і якщо значення виявляються меншими, то спалахує світлодіод на платі ардуїно. На автоматизованій мобільній платформі замість увімкнення світлодіода подаватиметься сигнал про зупинення платформи. Значення сектора та заданої відстані для відстеження у цьому секторі прописуються в масиві `intminDis []`. Кожне число в цьому масиві позначає сектор від 0 до 10 градусів, а значення числа позначає дальність в міліметрах, яку потрібно перевіряти. Розберемо з прикладу. Допустимо, заданий масив з двома числами `intminDis [] = {20, 30}`.

Перше число 20 означає, що якщо виміряна лідаром відстань у діапазоні від 0 до 10 градусів менше 20, то потрібно ввімкнути світлодіод. Друге число 30 означає, що якщо виміряна лідаром відстань вже в діапазоні від 10 градусів до 20 градусів менше 30, потрібно ввімкнути світлодіод.

При дослідженні роботи лідара за допомогою програми з додатку А було виявлено, що лідар працює коректно та бачить перешкоди у заданому йому діапазоні. Також лідар коректно працює з дзеркалом та будь-якими іншими дзеркальними поверхнями або предметами, визначаючи їх як звичайні предмети.

3.4.3 Опрацювання розташування лідара на платформі

Так само в ході опрацювання постало питання про розташування лідара на автоматизованій мобільній платформі та про захист його від зовнішніх факторів та впливів, які можуть вивести його з ладу.

Було два варіанти розташування лідара:

- зверху платформи;
- попереду платформи.

Переважним став варіант розташування лідара спереду, оскільки зверху платформи планується розташовувати вантаж чи інше обладнання. Схематично розташування лідара показано на рисунку 3.32.

Автоматизована мобільна платформа може використовуватися не тільки на складах, а й в умовах різних цехів та виробництв, де на лідар можуть потрапити іскри або різне сміття. Так само в повітрі може бути дрібнодисперсний пил, який у свою чергу здатний осісти на оптику лідара, або забитися в електромотор, що обертає вимірювальну головку. Все це може значно погіршити роботу лідара або повністю вивести його з ладу. У такому разі потрібно захистити лідар, повністю ізолювавши його від зовнішнього середовища.

У зв'язку з цим було проведено дослідження роботи лідара через прозорі матеріали. Для цього було обрано дві пластинки оргскла товщиною 2

мм та 4 мм. У ході дослідження з'ясувалося, що лідар ніяк не реагує на пластинки, працює коректно та бачить перешкоди крізь них. Так само лідару не заважає невелике запотівання оргскла, у цьому випадку він теж працює коректно і бачить перешкоди, що виникають, перед ним у межах його зони видимості.

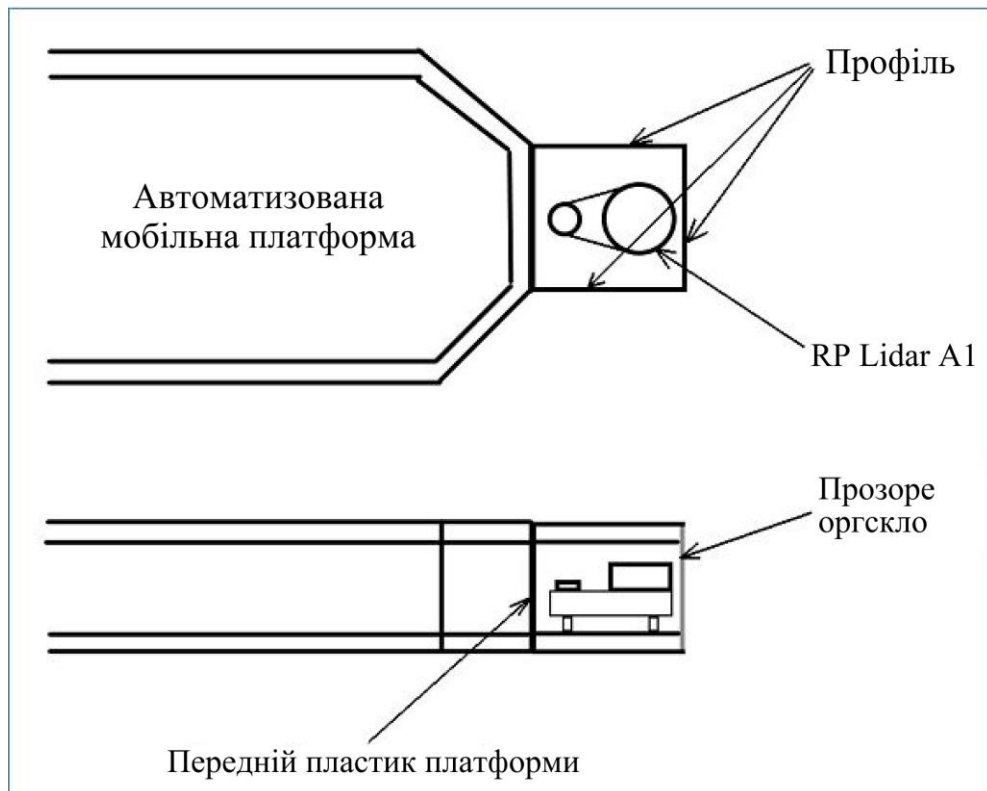


Рисунок 3.32 – Схематичне розташування лідара на платформі

3.5 Питання охорони праці

Роботи в лабораторії відносяться до робіт категорії 1а – легка фізична робота, яка виконується сидячи[22].

Оптимальні норми мікроклімату згідно з ДСН 3.3.6.042-99: в холодний період року – температура 22-24 °С; відносна вологість 40-60 %; швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с. У теплий період року – температура 23-25 °С; відносна вологість 40-60 %; швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с. Забезпечується за допомогою загально обмінної вентиляції.

В приміщенні використовується сумісне освітлення: природне та штучне. Згідно з ДБН В.2.5-28-2006 категорія зорових робіт, що проводяться у приміщенні – ширина помножена на висоту.

Таблиця 3.11 – Параметри метеорологічних умов виробничого середовища

Параметр	Фактичне значення	Значення по СН-245-71 чи державному стандарту	Висновок
Шум, дБ	50	38-86	В межах допустимих значень
Освітленість (загальна), Лк	470	300-500	В межах допустимих значень
Значення К.П.О., %	5	1,5-100	В межах допустимих значень
Загазованість (концентрація і вид газу), мг/м ³	Азот 4,8 Аміак 12 Озон 0,05 Свинець 0,01 Хлор 0,7	Азот 5 Аміак 20 Озон 0,1 Свинець 0,01 Хлор 1	В межах допустимих значень
Температура повітря взимку, влітку, °С	21-23 22-24	21-24 22-25	В межах допустимих значень
Відносна вологість, %	40-55	40-60	В межах допустимих значень
Швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,15	0,1-0,2	В межах допустимих значень

Нормативні значення штучного освітлення $E=200-500$ лк, природного – КПО $\geq 1,2$ %. Штучне освітлення виконано як загальне, за допомогою світильників з люмінесцентними лампами.

Перевірочний розрахунок штучного освітлення проводиться методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Мета перевірконого розрахунку – визначення фактичної освітленості в приміщенні.

Основна розрахункова формула (3.1) методу коефіцієнта використання світлового потоку:

$$F_{\text{св}} = \frac{E_{\phi} \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot N \cdot \eta \cdot \gamma}, \quad (3.1)$$

де E_{ϕ} – фактична освітленість;

S – площа освітлюваного приміщення, $S = 14 \text{ м}^2$;

z – коефіцієнт нерівномірності освітленості, $z = 1,1$;

k_3 – коефіцієнт запасу, що враховує запилення світильників і знос джерел запасу світла в процесі експлуатації, $k_3 = 1,4$. Для приміщення лабораторії, освітлюваного люмінесцентними лампами та за умови чистки світильників не рідше двохразів на рік;

N – число світильників в одному ряді, $N = 2$;

η – коефіцієнт використання світлового потоку ламп, $\eta = 0,52$;

γ – коефіцієнт затемнення, $\gamma = 0,8$;

n – число рядів світильників, $n = 2$;

n_l – число ламп в світильнику, 1 шт.;

F_l – світловий потік лампи, 4000лм.

З формули (3.2) потрібно визначити E_{ϕ} і після розрахунку порівняти з E_H :

$$F_{\text{св}} = F_l \cdot n_l = 3200 \cdot 1 = 3200. \quad (3.2)$$

Визначимо фактичну освітленість:

$$F_{\text{св}} = \frac{E_{\phi} \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot N \cdot \eta \cdot \gamma} = \frac{4000 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,52 \cdot 0,8}{1,4 \cdot 14 \cdot 1,1} = 308,71 \text{ люкс.}$$

Як видно з розрахунку, штучне освітлення в лабораторії, згідно з СНіП 23-05-95, лежить у рамках задовільного та не потребує додадкових джерел освітлення.

3.6 Висновки до третього розділу

Підіб'ємо наступні висновки по розділу:

- аналогові датчики лінії та ПДД регулятор є найбільш ефективним методом в управлінні платформою, ніж цифрові датчики та релейний регулятор;
- для усунення відблисків слід розташовувати датчики під кутом до підлоги;
- оптична та геометрична осі світлодіодів збігаються;
- діапазон значень, що знімаються з датчиків, може зменшуватися внаслідок різних факторів, і для запобігання некоректної роботи через зменшення діапазону слід використовувати функцію `map()`;
- розташування світлодіодів та фотодіодів в один ряд є більш ефективним рішенням, ніж розташування один за одним;
- з двох лідерів RP Lidar A1 і YDLidar X2, був обраний RP Lidar A1 через його технічні характеристики, а також через наявність бібліотеки для роботи в середовищі програмування Arduino IDE;
- лідар коректно працює разом із платою ардуїно за розробленою програмою, коректно працює через прозорі матеріали та з дзеркальними матеріалами та поверхнями;
- при використанні лідача в умовах з агресивними зовнішніми факторами, такими як дрібнодисперсний пил та іскри, потрібен обов'язковий захист з повним ізолюванням від навколишнього середовища;
- дані отримані в ході виконання досліджень можуть бути використані для розробки макету автономної роботизованої платформи.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи магістра проведено аналіз існуючих рішень різних роботів для складу та складської логістики, в ході якого встановлено, що роботи візки або буксирувальники є найпоширенішими та затребуваними у сфері складської логістики та виробництва.

Проведено аналіз датчиків та принципу їх роботи. У ході цього розгляду було з'ясовано, що система позиціонування автономної мобільної платформи на основі відстеження чорної лінії за допомогою інфрачервоних аналогових датчиків є найпростішою, дешевшою, але надійною системою.

Розглянуто використання різної кількості датчиків для відстеження лінії. У ході розгляду було встановлено, що використання кількох інфрачервоних датчиків з кожної із сторін лінії збільшує кут огляду автономної мобільної платформи, що дозволяє виключити ризик виникнення сходу з траси. Це так само дозволяє проходити круті повороти та ділянки траси на високій швидкості під більшим радіусом, ніж сам поворот, не втрачаючи при цьому трасу з поля зору.

Проведено складання, написання алгоритму програми та дослідження системи позиціонування за допомогою шести датчиків лінії. Експериментально встановлено, що розташування світлодіодів та фотодіодів датчиків в один ряд є найбільш вдалим розташуванням. Так само було написано та досліджено алгоритм перерахунку значень з датчиків та помилки, що подається на ПД-регулятор.

Проведено складання, написання програми та дослідження системи безпеки за допомогою лідара. Лідар у системі безпеки автономної мобільної платформи надійно захищає її від зіткнення з перешкодами, що виникають на шляху. Надалі лідар також можна використовувати і для системи позиціонування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення.К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: довід. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова – Київ, 2018. 320 с.
3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2021. 55 с.
- 4 Бердник Ю.А., Аналіз сучасних роботизованих платформ., Збірник студентських наукових статей «Автоматизація та приладобудування» ADED-2023(Випуск 2) 408 с., с:126-132;
- 5 Складські роботи вчать сортувати вантажі: досвід інженерів із компанії Covariant із застосування ІІ для завдань складського сортування [Електронний ресурс]. URL: <https://integral.com/2022/07/21/skladskie-roboty> (дата звернення: 10.9.2023).
- 6 AIStartupCovariant.aiBuilding 'UniversalAIforRobots' bySyncedSyncedReviewMedium[Електронний ресурс].URL:<https://medium.com/syncedreview/ai-startup-covariant-ai-building-universal-ai-for-robots-ee0aa4e118d5> (дата звернення: 10.09.2023).

7 Applications of drones in warehouse operations [Електроннийресурс].
URL: https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mtec/pom-dam/documents/Drones%20in%20warehouse%20opeations_POM%20whitepaper%202019_Final.pdf (датазвернення: 14.09.2023).

8 Autonomous Drones for Warehouse Inventory [Електроннийресурс].
URL: <https://flytware.com/> (датазвернення: 19.09.2023)

9 Drones in Warehousing: Then, Now & Future Technologies [Електроннийресурс]. URL: <https://www.scmdojo.com/drones-in-warehousing/>(дата звернення: 25.09.2023).

10 Роботи-паллетайзери [Електронний ресурс].
URL:<https://elemash.com/production/roboty-palletayzery> (дата звернення: 18.09.2023)

11 Автоматизаціяскладів за допомогоюроботів [Електронний ресурс].
URL: <https://top3dshop.com/blog/warehouse-and-logistics-robots-review.html>
(дата звернення: 07.10.2023)

12 Renaultrobots[Електронний ресурс]. URL:
<https://www.renault.ua/faq.html>(дата звернення: 11.10.2023)/

13 AGV візок: автоматичнікерованівізки, роботитунельного типу [Електронний ресурс]. URL: <https://top3dshop.com/blog/agv-amr-robots-review.html> (дата звернення: 15.10.2023).

14 4 types of autonomous mobile robots, and their warehouse use cases [Электронний ресурс]. URL: <https://www.supplychaindive.com/news/4-types-of-autonomous-mobile-robots-and-their-warehouse-use-cases/529548/> (дата звернення: 13.10.2023).

15 Євсєєв В.В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (RaspberryPi и мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків : 2020. С. 257.

16 IR Line Sensors - Code: Robotics [Електроннийресурс]. URL:
<https://docs.idew.org/code-robotics/references/physical-inputs/ir-line-sensors> (дата звернення: 14.10.2023).

17 Enhanced Sensor for Guiding Robotic Vehicles Along Magnetic Tracks [Електронний ресурс]. URL: <https://www.therobotreport.com/enhanced-sensor-guiding-robotic-vehicles-along-magnetic-tracks/> (дата звернення: 14.10.2023).

18 LineTrackingRoboticVehicle [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ijsr.net/archive/v6i11/ART20178007.pdf> (дата звернення: 11.10.2023)

19 Оптопара [Електронний ресурс]. URL: <https://stud.com.ua/83166/tovaroznavstvo/optopari/> (дата звернення: 12.10.2023)

20 Датчик ефектуХолла [Електронний ресурс]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA_%D0%B5%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83_%D0%A5%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B0 (дата звернення: 12.10.2023);

21 Applications of LIDAR Technology [Електроннийресурс]. URL: <https://wethegeek.com/applications-of-lidar-technology/> (дата звернення: 21.10.2023);

22 Методичнівказівки до виконаннярозділу "Охоронапраці" у випускних роботах ОКР "бакалавр" усіх форм навчання / упоряд.: В. А. Айвазов. Т. Є. Стиценко., Н. Л. Березуцька ; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 28 с. – 1,81.