

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАМ _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ _____

(підпис)

« _____ » _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Д'яченку Сергію Федоровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування модуля прокладення шляху мобільної платформи із застосуванням технології Lidar

Затверджена наказом по університету від _____ 08.11.2021 № 1697Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 13.12.2021

3. Вихідні дані до роботи Розміри 69 мм x 141 мм x 48 мм, напруга живлення пристрою – 12 В, крок двигуна NEMA 17 17HS3401 – 1,8°, кількість кроків за повний оберт – 200, діапазон вимірювання – 180°, струм обмотки двигуна – 1,3 А, опір обмотки – 2,4 Ом, індуктивність 2,8 мГн, максимальна відстань до об'єкту вимірювання – 2 м, інтерфейс передачі даних – I2C. Склад модуля: мікроконтролер, лазерний вимірювач відстані, кроковий двигун, драйвер крокового двигуна, плата розширення, перетворювач напруги, корпус, дроти з'єднання. Система моніторингу показів пристрою – програмний застосунок персонального комп'ютера.

4. Перелік витань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ. Аналіз предметної області. Проектування архітектури та опис алгоритму роботи модуля. Розробка апаратного забезпечення модуля. Розробка програмного забезпечення модуля. Експериментальні дослідження. Охорона праці. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 21 сторінок формату А4.

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	08.11.2021	Виконано
2	Дослідження сучасного стану системи	10.11.2021	Виконано
3	Проектування архітектури модуля	12.11.2021	Виконано
4	Опис алгоритму роботи модуля	13.11.2021	Виконано
5	Розробка апаратного забезпечення	15.11.2021	Виконано
6	Розробка програмного забезпечення	20.11.2021	Виконано
7	Проведення експериментальних досліджень	25.11.2021	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2021	Виконано
9	Подання роботи на перевірку інтернет сервісу Unichesk	8.12.2021	Виконано
10	Подання роботи на рецензію	9.12.2021	Виконано
11	Подання роботи на підпис зав. кафедри	13.12.2021	Виконано
12	Подання кваліфікаційної роботи до ЕК	13.12.2021	Виконано

Дата видачі завдання 08.11.2021

Студент _____
(підпис)

Д'яченко С. Ф.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. каф. КІТАМ Новоселов С. П.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 78 с., 5 табл., 48 рис., 3 дод., 28 джерел.

LIDAR, SLAM, ARDUINO, C#, ПК, МОДУЛЯЦІЯ, ІМПУЛЬС, ВИПРОМІНЮВАЧ, ЛАЗЕР, КРОКОВИЙ ДВИГУН, БЛОК КЕРУВАННЯ, ПЛАТА РОЗШИРЕННЯ, ДРАЙВЕР, ПОХИБКА.

Об'єкт дослідження – система навігації мобільного робота, що рухається серед невизначених перешкод.

Предмет дослідження – методи виміру відстані до перешкод за допомогою лазерного далекоміра та побудови карти місцевості.

Мета роботи – дослідження методів навігації та сканування простору; проектування модуля прокладення шляху мобільної платформи із застосуванням технології LiDAR.

Методи дослідження – оптичний імпульсний метод виміру дистанції до перешкод, метод апроксимації, побудова UML діаграм, програмування мовами C++ та C#, математичне очікування, середньоквадратичне відхилення, очікуваної оцінки розкиду похибки.

У кваліфікаційній роботі проведений аналіз предметної області відповідно до теми кваліфікаційної роботи магістра. Описані види режимів сканування технології LiDAR, сфери застосування технології LiDAR та проаналізовано методи визначення відстані до об'єктів.

На базі проведеного аналізу розроблена структурна схема модуля прокладення шляху мобільної платформи та описаний алгоритм роботи пристрою. Обрані та з'єднані між собою електричні компоненти, надрукований корпус. Розроблене програмне забезпечення для мікроконтролеру та персонального комп'ютера. Проведені експериментальні дослідження, розрахована похибка вимірювань.

ABSTRACT

Explanatory note: 78 p., 5 tabl., 48 pict., 3 appl., 28 sources.

LIDAR, SLAM, ARDUINO, C#, PC, MODULATION, PULSE, EMMITER, LASER, STEPPER MOTOR, CONTROL BLOCK, EXPANSION BOARD, DRIVER, ERROR.

The object of research is the navigation system of a mobile robot that moves among undefined obstacles.

The subject of research is methods of measuring the distance to obstacles using a laser rangefinder and building a map of the area.

The purpose of the work – investigation navigation scanning space methods; designing a module for laying the path of a mobile platform using LiDAR technology.

Research methods – optical impulse method for measuring the distance to obstacles, approximation method, building UML diagrams, programming in C ++ and C #, mathematical expectation, standard deviation, expected error spread estimate.

In the qualification work, the analysis of the subject area was carried out in accordance with the topic of the master's certification work. The types of scanning modes for LiDAR technology, areas of application of LiDAR technology are described and methods for determining the distance to objects are analyzed.

On the basis of the analysis, a block diagram of the module for laying the path of a mobile platform has been developed and an algorithm for the operation of the device has been described. Electrical components selected and connected; enclosure printed. The software for the microcontroller and the personal computer has been developed. Experimental studies have been carried out, and the measurement error has been calculated.

ЗМІСТ

Перелік скорочень і термінів.....	7
Вступ.....	8
1 Аналіз предметної області.....	10
1.1 Опис технології LiDAR та принципу її роботи.....	10
1.2 Види режимів сканування технології LiDAR.....	13
1.3 Сфери застосування технології LiDAR.....	15
1.4 Аналіз методів визначення відстані до об'єктів.....	16
1.5 Висновки до першого розділу.....	21
2 Проектування архітектури та опис алгоритму роботи модуля.....	24
2.1 Розробка структурної схеми модуля.....	24
2.2 Опис алгоритму роботи модуля.....	29
2.3 Висновки до другого розділу.....	32
3 Розробка апаратного забезпечення модуля.....	33
3.1 Вибір електронних компонентів модуля.....	33
3.2 Розробка макету пристрою.....	42
3.3 Висновки до третього розділу.....	46
4 Розробка програмного забезпечення модуля.....	48
4.1 Розробка програми для мікроконтролера Arduino Uno.....	48
4.2 Розробка програми для персонального комп'ютера.....	52
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	57
5 Експериментальні дослідження.....	58
5.1 Планування експерименту.....	58
5.2 Проведення експерименту.....	59
5.3 Висновки до п'ятого розділу.....	63
6 Охорона праці.....	64
6.1 Вимоги до приміщення.....	64
6.2 Вимоги до безпеки здійснення паяного з'єднання компонентів.....	65

6.3 Вимоги до освітлення та вентиляції приміщення при пайці.....	67
6.4 Електробезпека при розробці та експлуатації модуля.....	69
6.5 Техніка безпеки при роботі за комп'ютером.....	70
Висновки.....	72
Перелік джерел посилання.....	75
Додаток А Програмне забезпечення мікроконтролеру Arduino Uno.....	79
Додаток Б Програмне забезпечення для персонального комп'ютера.....	84
Додаток В Демонстраційний матеріал у вигляді презентації.....	93

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ДСТУ – державний стандарт України;

ПК – персональний комп'ютер;

Arduino – марка апаратно-програмних засобів для побудови простих систем автоматички і робототехніки;

DC – direct current (постійний струм);

GND – ground (земля);

I2C – inter-integrated circuit (схема внутрішнього зв'язку);

IDE – integrated development environment (інтегроване середовище розробки);

LiDAR – light Identification Detection and Ranging (система світлової ідентифікації, виявлення та визначення дальності);

OpenCV – open source computer vision (комп'ютерний зір з відкритим кодом);

SLAM – simultaneous localization and mapping (одночасна локалізація та побудова карти місцевості);

UML – unified modeling language (уніфікована мова моделювання).

ВСТУП

Назва light identification detection and ranging (LiDAR) – дослівно, система світлової ідентифікації, виявлення та визначення дальності. LiDAR має щось спільне із радаром. Вся різниця в тому, що замість НВЧ-радіохвиль використовуються хвилі оптичного діапазону.

Сканування місцевості – одне з головних завдань для безпілотних роботів, які самостійно прокладають шлях з точки А в Б. Вирішувати її можна по-різному. Все залежить від бюджету та поставленої мети, але загальна суть інженерного підходу залишається схожою. Такі системи стали стандартом для безпілотних автомобілів та роботів.

Об'єктом дослідження в даній роботі є система навігації для мобільного робота, призначеного для переміщення в просторі серед невизначених перешкод. Таким приміщенням може бути, наприклад, сховище та виробничі дільниці промислового підприємства. Проблема, що вирішується – це локальна навігація мобільних роботів та позиціонування їх в просторі при русі в динамічному недетермінованому середовищі.

Як правило, інформацію про навколишній простір бортова система робота отримує за допомогою датчиків, таких як лазерні й ультразвукові далекоміри або відеокамери.

Знаходження рішення задачі навігації мобільного робота в просторі вимагає одночасного вирішення проблеми локалізації та побудови карти або її доповнення, виявленими за допомогою сенсорів, новими об'єктами. Існують методи локалізації за наявністю карти, або методи побудови карти при відомій траєкторії руху мобільного робота. Актуальною є задача поєднання цих методів для управління рухом мобільної платформи із заданої точністю і незалежно від особливостей оточення, що існує на даний момент.

Технологія simultaneous localization and mapping (SLAM) – одночасна побудова карти і визначення місця розташування, на сьогоднішній день є

передовою в питанні навігації мобільних роботів. Дана технологія необхідна для успішного переміщення робота по невизначеній місцевості і полягає в побудові карти навколишнього середовища й відстеження його розташування в цьому середовищі, що здійснюється його бортовим комп'ютером.

Таким чином, актуальністю досліджень є необхідність вдосконалення методів локальної навігації та побудова модуля визначення поточного місцезнаходження робота в просторі за допомогою технології LiDAR.

Об'єкт дослідження – система навігації мобільного робота, що рухається серед невизначених перешкод.

Предмет дослідження – методи виміру відстані до перешкод за допомогою лазерного далекоміра та побудови карти місцевості.

Мета роботи – дослідження методів навігації та проектування модуля прокладення шляху мобільної платформи із застосуванням технології LiDAR.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити побудову систем визначення відстані до перешкод;
- проаналізувати можливості застосування технології Lidar для визначення просторових координат місцезнаходження мобільного роботу;
- розробити структурну схему, алгоритм роботи та запропонувати конструкцію модуля визначення відстані за допомогою технології LiDAR;
- розробити тестову програму відображення результатів виміру та виконати експериментальні дослідження.

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи виконана з використанням опублікованих автором тез доповіді [1] відповідно до теми кваліфікаційної роботи, згідно державного стандарту України (ДСТУ) 3008-15 [2], та керуючись навчальним посібником для дипломного проекту [3] та методичними вказівками з розробки й оформлення кваліфікаційної роботи другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» [4].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Опис технології LiDAR та принципу її роботи

Лідар (LiDAR) – це технологія дистанційного зондування, яка використовує лазерний імпульс для збору даних вимірювання відстані до перешкод, які потім можна використовувати для створення 3D-моделей, карт об'єктів і навколишнього середовища [8].

Технологія існує з 1960-х років, коли лазерні сканери були встановлені на літаках. Лише в кінці 1980-х років, з появою комерційно життєздатних систем GPS, дані з LiDAR стали корисним інструментом для забезпечення точних геопросторових вимірювань.

LiDAR є аббревіатурою від light detection and ranging – виявлення світла і дальності (відстані).

Розглянемо принцип роботи LiDAR. Пристрій працює аналогічно радару, або сонару, але використовує світлові хвилі від лазера замість радіо або звукових хвиль. Система LiDAR розраховує, скільки часу потрібно світлу, для потрапляння в об'єкт і відображення назад до приймача. Відстань розраховується з використанням швидкості світла.

Система може генерувати близько мільйона імпульсів в секунду. Кожне з цих вимірів або результатів потім може бути перетворено в тривимірну візуалізацію, яка представляє собою хмару точок. Приклад двомірної візуалізації наведений на рисунку 1.1 [8].

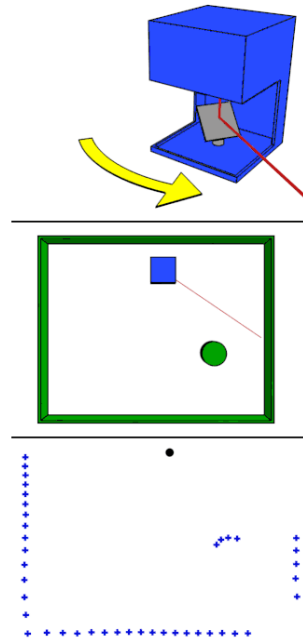


Рисунок 1.1 – Приклад роботи LiDAR із побудовою двомірної візуалізації

Світло випромінюється з лідару і розповсюджується до цілі, де буде відбито від її поверхні і повертається до приймача, розташованого поруч з випромінювачем. Оскільки швидкість світла є постійним значенням, LiDAR здатний розрахувати відстань до цілі за формулою (1.1):

$$D = \frac{C \cdot T}{2}, \quad (1.1)$$

де D – відстань до цілі, м;
 C – швидкість світла, м/с;
 T – час надходження світла до цілі, с.

На рисунку 1.2 наведений принцип роботи скануючого пристрою [7].

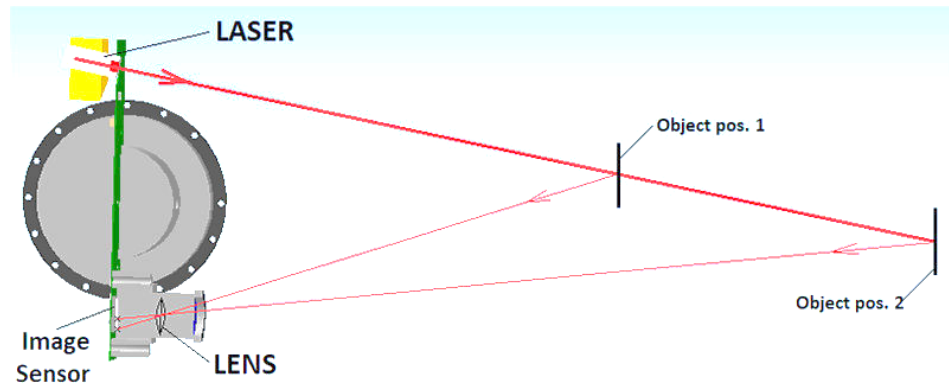


Рисунок 1.2 – Принцип роботи скануючого пристрою

Знаючи позицію та орієнтацію датчика, координати перешкоди можуть бути розраховані та представлені конкретною точкою на карті. Повторюючи цей процес багато разів, пристрій створює карту оточення, яка складається з усіх точок, які збирає лідар.

В залежності від типу поверхні промінь може відбиватись від об'єкту, або проходити скрізь нього. Також має значення кут падіння променя на поверхню об'єкту.

Кут, на який змінюється напрямок поширення випромінювання, залежить від оптичної густини обох середовищ, а також від довжини хвилі самого випромінювання. Явище заломлення широко використовується в оптиці. Наприклад, випромінювання, заламуючись у призмі, розкладається на спектр. Також властивість заломлення світла у повітрі застосовується у шлірен-зйомці (методі Теплера) [7].

Математично заломлення світла описується законом Снелліуса та формулами Френеля.

Внаслідок заломлення світла деякими кристалами, виникає не один а два заломлені промені, які розповсюджуються в різних напрямках. Це явище називається подвійним променезаломленням.

1.2 Види режимів сканування технології LiDAR

Залежно від застосування LiDAR, вимірювання відстані може бути або одноразовим, або одержано в режимі сканування. У режимі сканування LiDAR обчислює безперервні значення залежно від частоти пульсації.

Скануючий LiDAR, як правило, обертається і вимірює відстань в кутовому діапазоні 360° на частоті опитування від 1 Гц до 100 Гц.

Існує 3 категорії систем LiDAR Vision: 1D, 2D або 3D. Вони працюють однаково, але різниця полягає в принципі одержання інформації: точковий метод виміру відстані або система сканування. Також конструкції розрізняються кількістю використаних лазерних променів [7].

На рисунку 1.3 показаний принцип роботи точкового LiDAR [7].

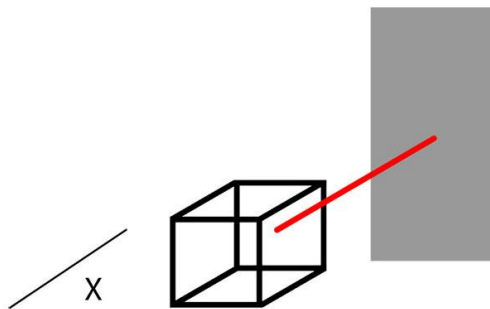


Рисунок 1.3 – Принцип роботи точкового LiDAR

Для точкового 1D лазерного сканера потрібен лише лазерний промінь, який вимірює відстань між перешкодою та сканером на одній площині, тому такий принцип називають точковим. Вимір відбувається тільки в одному напрямку.

Для 2D LiDAR також потрібен лише один лазерний промінь. При його роботі, відбувається серія імпульсів, отриманих на основі руху обертання на одній висоті над поверхнею. В результаті сканування збираються дані про горизонтальну відстань до цілей по осях X та Y [7].

На рисунку 1.4 показаний принцип роботи 2D LiDAR [7].

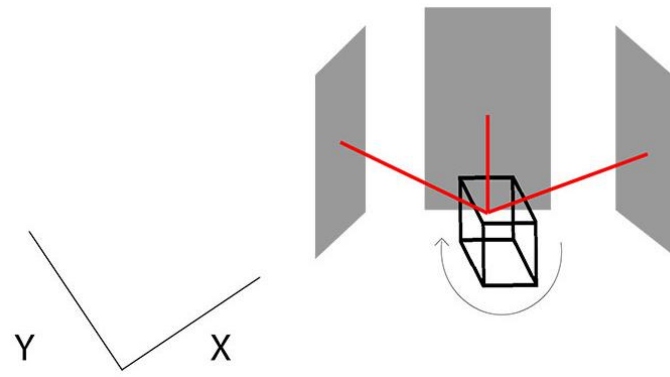


Рисунок 1.4 – Принцип роботи 2D LiDAR

Як можна бачити з наведеного рисунку, скануюча голівка обертається навколо вертикальної вісі та періодично випромінює лазерні промені в простір. З кожним імпульсом блок керування одержує дані про відстань до оточуючих об'єктів [7].

На рисунку 1.5 показаний принцип роботи 3D LiDAR [7].

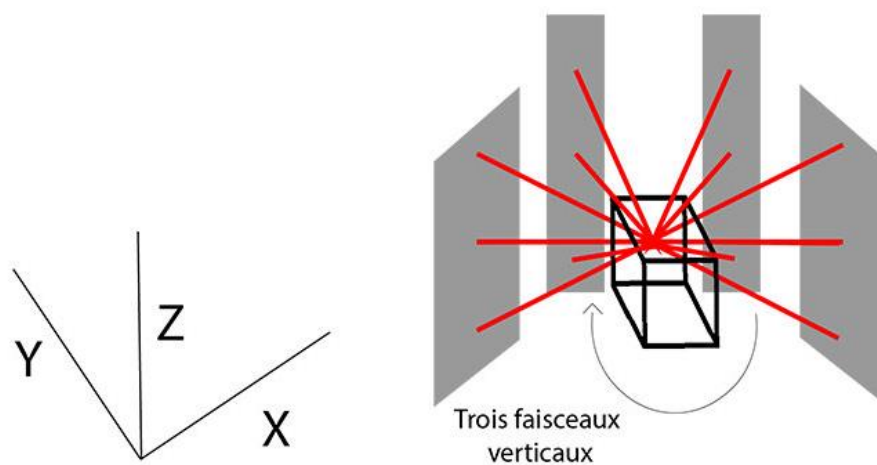


Рисунок 1.5 – Принцип роботи 3D LiDAR

Для 3D LiDAR ідея роботи схожа з 2D, але використовуються декілька лазерних променів, що поширюються в вертикальній площині, та отримуються дані про відстань по осях X , Y та Z . Кожен лазерний промінь матиме кутове зміщення по відношенню до інших променів в вертикальній площині [7].

1.3 Сфери застосування технології LiDAR

На сьогоднішній день найбільш поширеними сферами використання системи LiDAR є додатки для географічного та атмосферного картографування. Такі організації, як USGS (Геологічна служба США), NOAA (Національне управління океанографії і атмосфери) і NASA, десятиліттями використовували лідар для створення карт Землі і космосу [8].

Також можна використовувати LiDAR для вивчення газового складу атмосфери. Різні гази поглинають світлові хвилі різної довжини в необхідній кількості, тому можна дистанційно вивчати гази на певній місцевості, запустивши в нього два лазерних промені з різними довжинами хвиль з літака або гелікоптеру, порівнявши потім, скільки енергії кожної довжини хвилі поглинено або відбито. Ця система називається UDAR з диференціальним поглинанням (DIAL), може використовуватися для виявлення витоків газопроводів, або вимірювання забруднення повітря.

Карти LiDAR можуть використовуватися для визначення точності позиціонування. Результати роботи LiDAR у формі хмари точок можна використовувати для створення карт цілих міст, з точністю до міліметра. Елементи і об'єкти, такі як дорожні мережі, мости, рослинність, можуть бути класифіковані і нанесені на тривимірні карти.

Використання LiDAR можна найбільше спостерігати в робототехніці та автомобільній галузі для створення безпілотних систем управління. В даному випадку LiDAR працює як радар (радіохвильова навігація), або гідролокатор (підводне виявлення за допомогою звуку). Принцип використання LiDAR для автономної навігації автомобіля показано на рисунку 1.6 [8].

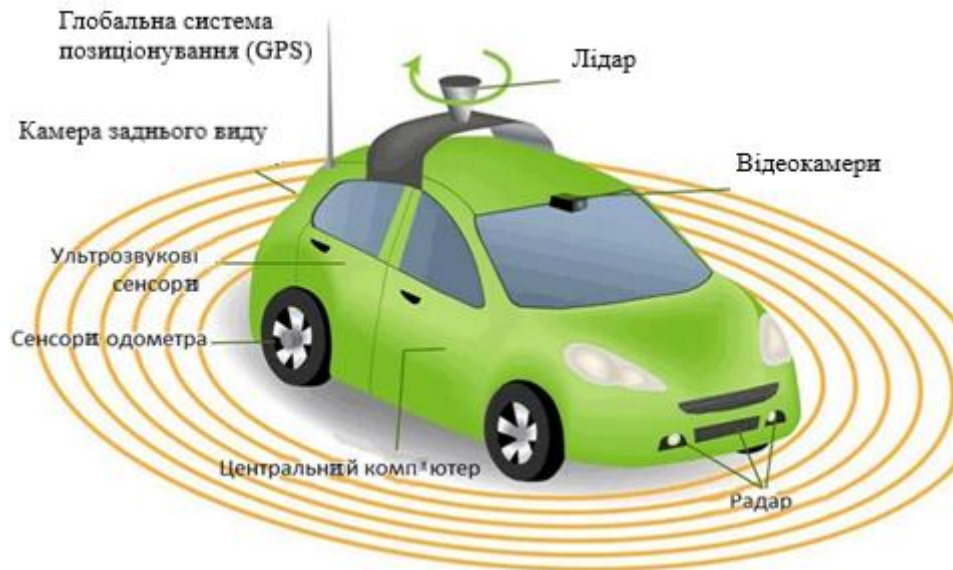


Рисунок 1.6 – Принцип використання LiDAR для автономної навігації автомобіля

Основна ідея роботи навігаційного LiDAR полягає в наступному: автомобіль з автономним управлінням випромінює лазерні промені в простір навколо себе, вони відбиваються від різних перешкод і уловлюються спеціальними приймачами. Час, необхідний для повернення променю, повідомляє, як далеко знаходиться кожна перешкода від машини. Таким чином, програмне забезпечення створює тривимірне зображення середовища навколо автомобіля. Отримані матеріали обробляє центральний процесор, який на підставі закладених в нього алгоритмів управляє автомобілем. Також він на підставі місця розташування завдяки системі GPS прокладає маршрут і рухається до точки призначення [8].

1.4 Аналіз методів визначення відстані до об'єктів

Вибір параметра, за яким проводиться порівняння опорного і інформаційного сигналів, визначає метод вимірювання відстані. Існують наступні основні методи вимірювання відстаней:

- імпульсний;

- частотний;
- фазовий [3].

Фазовий метод може бути реалізований в двох варіантах:

- на несучій частоті, тобто без модуляції;
- на частоті модуляції.

Фазовий метод на несучій частоті називають інтерференційним методом. Особливо доречно ця назва для оптичного діапазону [9].

У деяких випадках використовують поєднання імпульсного і фазового методів, і такий комбінований метод називають імпульсно-фазовим.

За типом сигналу, що ідентифікує об'єкт, можна виділити таку класифікацію:

- радіохвильовий;
- лазерний;
- ультразвуковий.

Можливість вимірювання відстаней за допомогою електромагнітних хвиль полягає у залежності відстані, яку проходить хвиля, від часу її проходження. У припущенні, що електромагнітна хвиля поширюється строго прямолінійно з постійною швидкістю v , ця залежність є рівнянням прямолінійного рівномірного руху відповідає формулі (1.2):

$$D = V \cdot T, \quad (1.2)$$

де V – швидкість, м/с;

T – час, с.

Отже, за деякий кінцевий інтервал часу $\tau = t_2 - t_1$ хвиля пройде кінцеву відстань відповідно до формули (1.3):

$$D = V \cdot \tau. \quad (1.3)$$

Для визначення цієї відстані необхідно виміряти інтервал часу τ і знати швидкість поширення хвилі V [10].

Фізична сутність всіх методів вимірювання відстаней полягає в порівнянні того ж параметра, пов'язаного з електромагнітним випромінюванням, до і після проходження випроміненою хвилею вимірюваної дистанції.

Зазвичай апаратура на одному кінці вимірюваної лінії має випромінювач та приймач, а на іншому кінці – відбивач. Один і той же сигнал від передавача направляється на приймач одночасно по двох різних шляхах: безпосередньо (без виходу на дистанцію) і через вимірювану дистанцію (шлях від відбивача і назад), як показано на рисунку 1.7 [6].

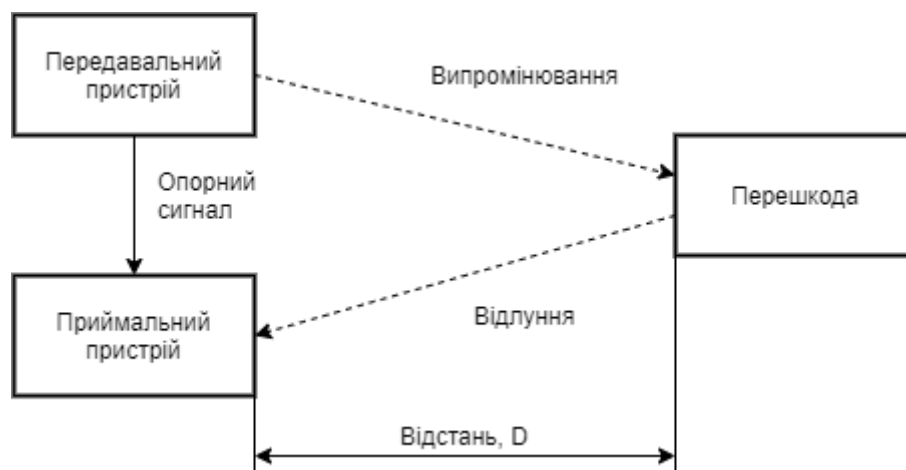


Рисунок 1.7 – Загальна схема вимірювання відстаней за допомогою електромагнітних хвиль

При вимірюванні відстаней імпульсним методом вимірюється безпосередньо час поширення коротких, регулярно наступних, з порівняно довгими паузами, імпульсів. Ці імпульси випромінюються встановленим на початку лінії приймачем-передавачем, проходять відстань до відбивача на кінці лінії і повертаються до її початку.

При імпульсному випромінюванні передавач працює лише протягом коротких проміжків часу, рівних тривалості імпульсу (рисунок 1.8, а).

Співвідношення періоду повторення імпульсів T_{Π} до тривалості імпульсів τ_i називається скважністю. Імпульси, що використовуються для вимірювання дальності, повинні мати виключно малу тривалість і дуже велику скважність (більше 1000) [6].

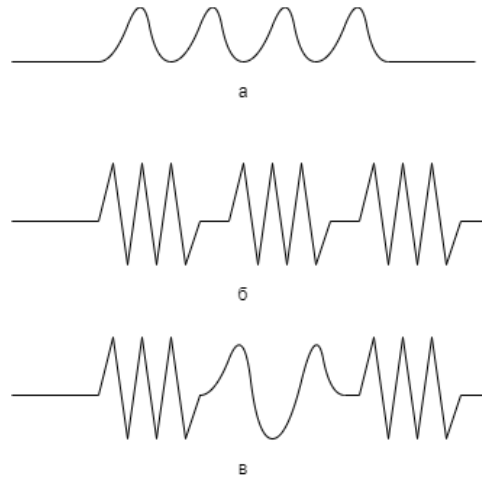


Рисунок 1.8 – Форма немодульованих (а) і модульованих за амплітудою (б) та частотою (в) імпульсів

Протягом тривалості імпульсу випромінюються високочастотні коливання постійної амплітуди, а в паузах між імпульсами випромінювання відсутні (рисунок 1.8, б). При частотній модуляції амплітуда випромінюваних коливань залишається постійною, а частота змінюється на час тривалості імпульсу (рисунок 1.8, в).

Імпульсні лазери дозволяють отримувати більш високі потужності випромінювання, ніж лазери з безперервним випромінюванням, що дає можливість вимірювати дуже великі відстані [6].

Узагальнена схема побудови імпульсного далекоміра зображена на рисунку 1.9.

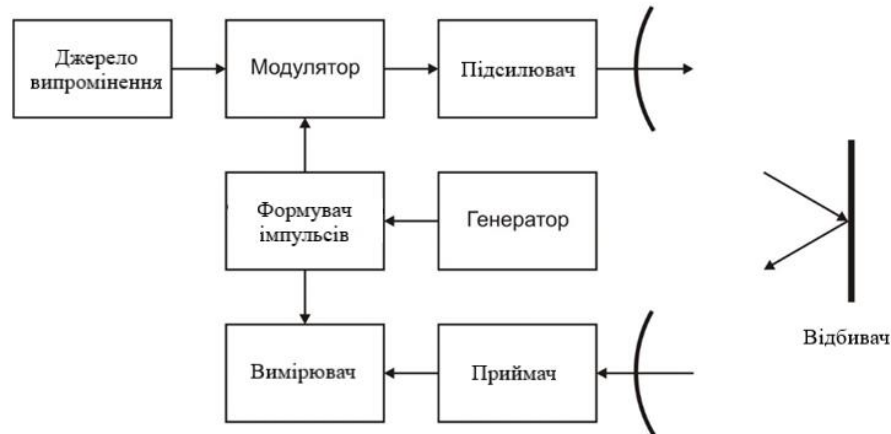


Рисунок 1.9 – Узагальнена схема побудови імпульсного далекоміра

Електромагнітні (оптичні) хвилі від джерела випромінювання за допомогою модулятора перетворюються в імпульси з амплітудною або частотною модуляцією. Імпульси модуляції надходять на модулятор від формувача імпульсів, який перетворює синусоїдальні коливання генератора з постійною частотою в послідовність імпульсів з постійною і високостабільною частотою повторення. Отримані таким чином сигнали, які в разі потреби можуть бути посилені підсилювачем, випромінюються антеною (оптичною системою) передавача у напрямку до відбивача.

Відбивачі можуть бути пасивними – в оптичному діапазоні (у вигляді дзеркал або призм), або активними (в радіодіапазоні). Активні являють собою прилади, які отримують випромінювання, підсилюють його і направляють посилені сигнали назад до вимірюваної лінії.

Після відбивання електромагнітні хвилі за допомогою приймальної антени (оптичної системи) потрапляють на приймач, де вони перетворюються в послідовність електричних імпульсів. Як імпульси, що модулюють, так і прийняті імпульси, надходять на пристрій вимірювання часу [6].

Іншим методом вимірювання дальності за допомогою лазера є триангуляційний метод, заснований на геометрії трикутника (рисунок 1.10) [6].

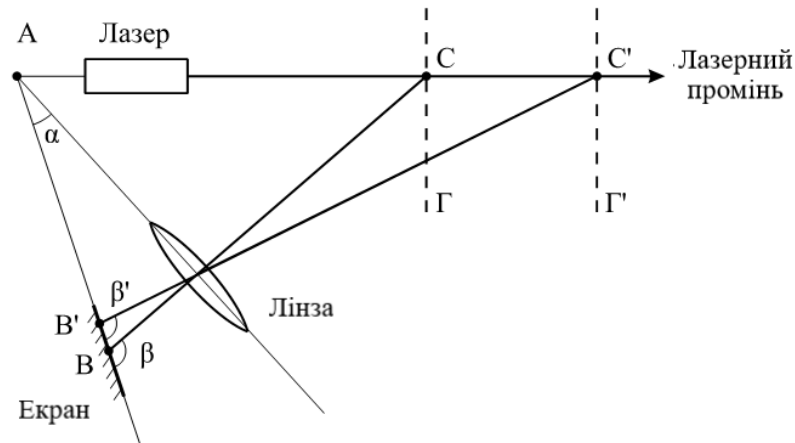


Рисунок 1.10 – Триангуляційний метод вимірювання дальності

За відомим положенням точок A і B і кутах α , β можна однозначно визначити положення точки C . Лазер посилає вузькоспрямований пучок світла, що досягає поверхні Γ в точці C . Якщо поверхня Γ недзеркальна, то світло дифузно відбивається в усіх напрямках, а інтенсивність відбитого світла визначається властивостями поверхні. Якщо ж встановити лінзу (об'єktiv) таким чином, що його оптична вісь проходить через точку C , то відбитий пучок світла, проходячи через об'єktiv, буде фокусуватися в точці V . При переміщенні поверхні Γ в нове положення Γ' зображення точки C переміститься в точку V' . Таким чином, відстань до об'єкта можна визначити по положенню його зображення на екрані. При вимірюванні відстаней триангуляційним методом напівпровідниковий лазер може мати малу швидкодію.

1.5 Висновки до першого розділу

В результаті виконання аналізу предметної області розглянуті основні принципи застосування LiDAR в автономній робототехніці. Технологія LiDAR використовує лазерний імпульс для збору даних вимірювання відстані до перешкод вимірювань, які потім можна використовувати для створення 3D-моделей, карт об'єктів і навколишнього середовища.

Розглянуті відмінності в принципі роботи трьох різних видів LiDAR: 1D, 2D або 3D.

Проведено аналіз методів визначення відстані до об'єктів (імпульсний, частотний, фазовий) та обрано оптичний метод виміру дистанції до перешкод за допомогою лазера, як найбільш доступний для практичної реалізації в даній роботі.

Таким чином, в результаті аналізу для подальших досліджень обрано принцип оптичного скануючого пристрою, який дозволяє знаючи позицію та орієнтацію датчика, отримати координату перешкоди за результатами сканування та представити її конкретною точкою на карті. Повторюючи цей процес багато разів, пристрій створює карту оточення, яка складається з усіх точок, дані про які збирає LiDAR.

2 ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ОПИС АЛГОРИТМУ РОБОТИ МОДУЛЯ

2.1 Розробка структурної схеми модуля

Структурна схема модуля прокладення шляху мобільного робота показана на рисунку 2.1.

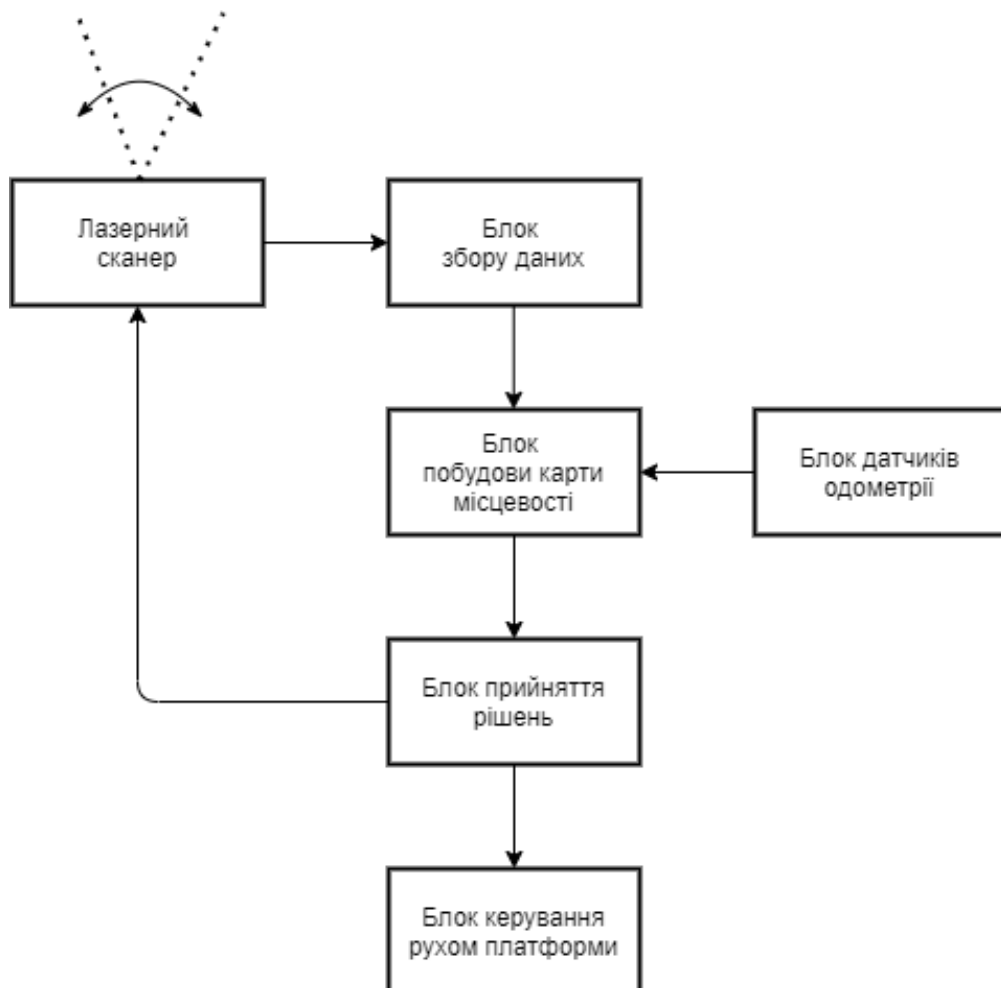


Рисунок 2.1 – Структурна схеми модуля керування мобільним роботом

Блок збору даних отримує інформацію про об'єкти, що оточують мобільного робота за допомогою лазерного сканера. На основі отриманих даних будується карта місцевості відповідним блоком. Блок прийняття

рішень аналізує отриману інформацію, та на її основі формує команди для виконання блоком керування. Після чого блоком керування здійснюється керуючий вплив на рухові виконуючі механізми для подальшого переміщення робота у просторі.

На рисунку 2.2 наведений вміст пакету передачі даних з LiDAR на блок збору даних.

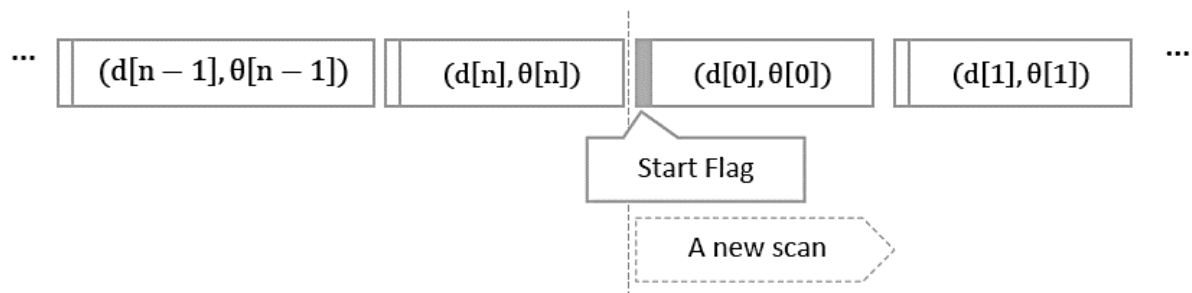


Рисунок 2.2 – Формат передачі інформації з LiDAR на блок збору даних

В кожному полі кадра передається така інформація:

- поточна виміряна відстань між обертовим датчиком і точкою на перешкоді;
- поточний кут оберту датчика вимірювання відстані;
- точність вимірювання;
- ознака початку нового сканування.

Після отримання інформації з лазерного сканера, блок збору даних передає дані до блоку побудови карти місцевості. В основі роботи даного блока лежить технологія SLAM.

Метод одночасної навігації і побудови карти (SLAM) – це концепція, яка пов'язує два незалежних процесу в безперервний цикл послідовних обчислень, при якому результати одного процесу беруть участь в обчисленнях іншого процесу.

В таблиці 2.1 показано формат даних, що передається із зазначення одиниць вимірювання.

Таблиця 2.1 – Формат даних, що передаються від LiDAR до блоку збору даних

Тип даних	Одиниця виміру	Опис функції
відстань	мм	поточна виміряна відстань між обертовим датчиком і точкою на перешкоді
кут	градуси	поточний кут оберту датчика вимірювання відстані
точність	градуси	точність вимірювання
початковий флаг	-	ознака початку нового сканування – (так/ні)

Різноманітні алгоритми SLAM реалізовані у відкритих бібліотеках robot operating system, які часто використовуються з point cloud library для побудови 3D карт або візуальних ефектів у OpenCV.

Для алгоритму SLAM важливо знати поточне становище мобільного робота. Для цього використовуються, наприклад, датчики одометрії. За допомогою цих даних можна знайти приблизне положення робота, як воно виміряне (і перераховане) датчиками обертання коліс робота. Ці дані служать початковою умовою того, де робот міг би перебувати, для подальшого його руху.

Одна з проблем в роботі з даними одометра і лазерними даними полягає в строгому контролі часу вимірювань і їх синхронізації. Дані, що отримані за допомогою LiDAR, через певний час стають неактуальними, якщо в приміщенні є динамічні перешкоди. Таким чином, необхідно постійно оновлювати хмару точок оточуючого середовища.

В роботі блока прийняття рішень використовуються алгоритми фільтрації отриманих даних. Фільтрація використовується, наприклад, для відсіювання випадкових значень. Також використовуються метод апроксимації для визначення поточного положення робота, якщо отриманих даних для цього не достатньо.

Блок прийняття рішень керує запуском блоку лазерного сканера, динамічно змінює такі параметри, як, наприклад, точність виміру відстані до перешкоди, або швидкість сканування та кут оберту скануючої голівки.

На основі отриманих даних, блок прийняття рішень управляє роботою блока керування рухом мобільної платформи. В залежності від поточної задачі, блок керування рухом, керує швидкістю обертів коліс робота та напрямком руху. В залежності від отриманих даних відбувається корекція шляху переміщення для досягнення поставленої цілі.

На рисунку 2.3 показана структурна схема лазерного сканера LiDAR.

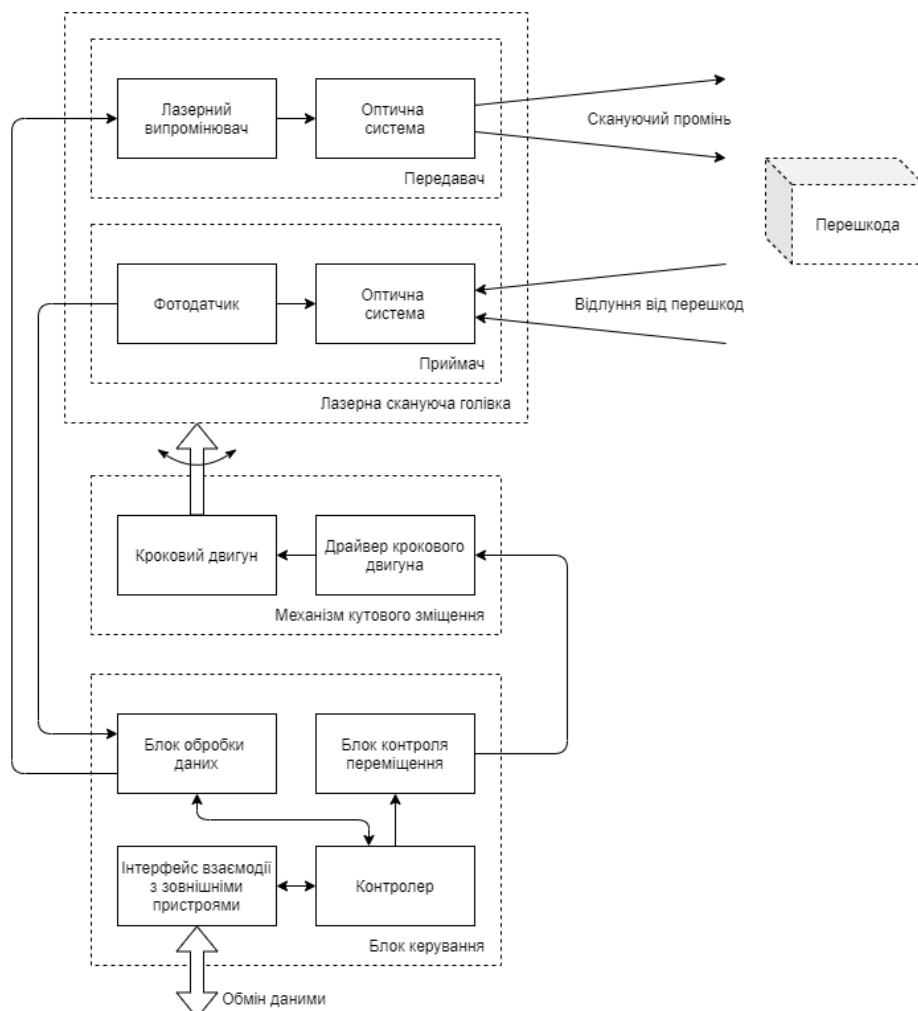


Рисунок 2.3 – Структурна схема LiDAR

Як можна бачити з наведеного рисунку, структура лазерного сканера, що пропонується складається з трьох частин:

- лазерна скануюча голівка;
- механізм кутового зміщення;
- блок керування.

Лазерна скануюча голівка містить в своєму складі:

- передавач;
- приймач.

Передавач містить джерело випромінювання – лазер і оптичну систему для формування вихідного лазерного пучка, тобто для управління розміром вихідного променя і розбіжністю променя. В абсолютній більшості конструкцій випромінювачем служить лазер, який формує короткі імпульси світла високої миттєвої потужності.

Періодичність проходження імпульсів або модулююча частота вибираються так, щоб пауза між двома послідовними імпульсами була не меншою, ніж час відгуку від знайдених перешкод (які можуть фізично знаходитися далі, ніж розрахунковий радіус дії приладу).

Приймач складається з об'єктива, спектрального і чи просторового фільтра, поляризаційного елемента і фотоприймача. Випромінювання, відбите від досліджуваного об'єкта, концентрується приймальною оптикою, а потім проходить через аналізатор спектру.

Аналізатор спектру служить для виділення інтервалу довжин хвиль, в якому проводяться спостереження, і, отже, для відсічення фонового випромінювання на інших довжинах хвиль. Аналізатор може бути реалізовано, як моно- або поліхроматор, що ретельно налаштовується, або бути побудованим, яка набір вузькосмугових фільтрів, включаючи фільтр відсічення випромінювання на довжині хвилі лазерного передавача [10].

Випромінювач і приймальний блок виконані в єдиному блоці та розміщуються в скануючій голівці. В нашому випадку в якості лазерного далекоміра використовується модуль VL53L0X.

Блок керування з заданою періодичністю запускає процес сканування та отримує дані від скануючої голівки. Робота сканеру синхронізується з роботою механізму кутового зміщення.

Даний механізм побудовано на базі крокового двигуна для більш точного контролю за зміною поточного кута. Драйвер двигуна на основі керуючих імпульсів управляє роботою мехатронного пристрою, який в свою чергу змінює просторове розташування скануючої голівки. В конструкції, що пропонується, було прийняте рішення відмовитись від безперервного обертання скануючої голівки, як це реалізовано в дешевих та популярних пристроях LiDAR.

Використання крокового двигуна дає можливість точно позиціонувати сканер та багато разів повторювати операцію сканування без втрати точності встановлення кута. Блок керування задає кут сканування, який може бути кратний $1/16$ кроку двигуна, що складає $0,1125$ градус. Повний кут обертання не може бути більше 360 градусів, після чого напрям обертання повинен бути змінений на протилежний. За цим стежить блок керування.

2.2 Опис алгоритму роботи модуля

Система управління LiDAR виконує наступні завдання:

- управління режимом роботи LiDAR;
- управління частотою зондуючого випромінювання лазера;
- вимір енергії випромінювання у вихідному і прийнятому лазерному пучку;
- обробка результатів сканування, тобто отримання відстані до перешкод;
- управління системою наведення LiDAR на досліджуваний об'єкт [11].

На рисунку 2.4 показано алгоритм роботи модуля прокладення шляху мобільного робота з використанням технології LiDAR.

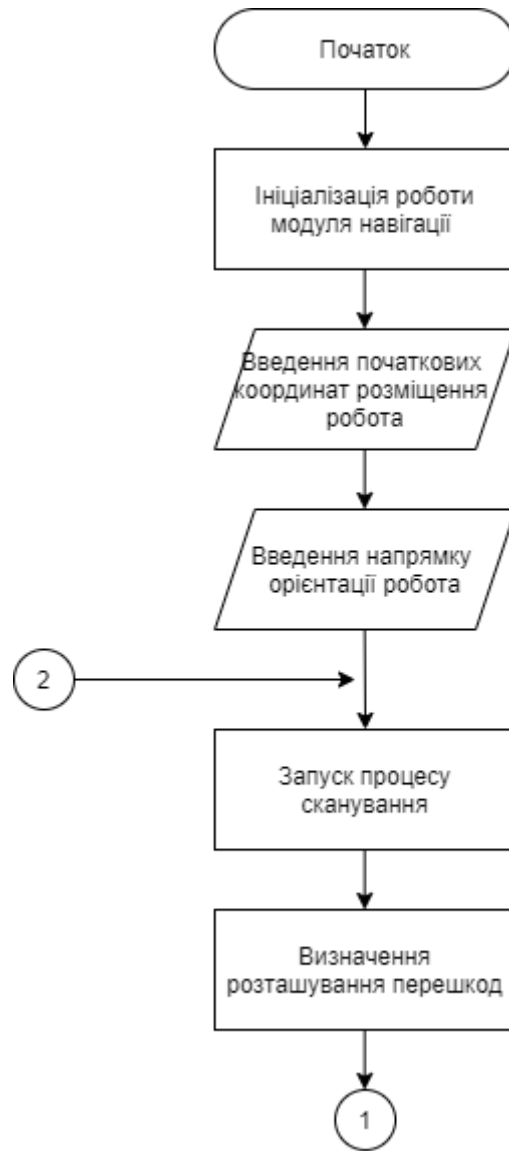


Рисунок 2.4 – Алгоритм керування мобільним роботом з використанням технології LiDAR

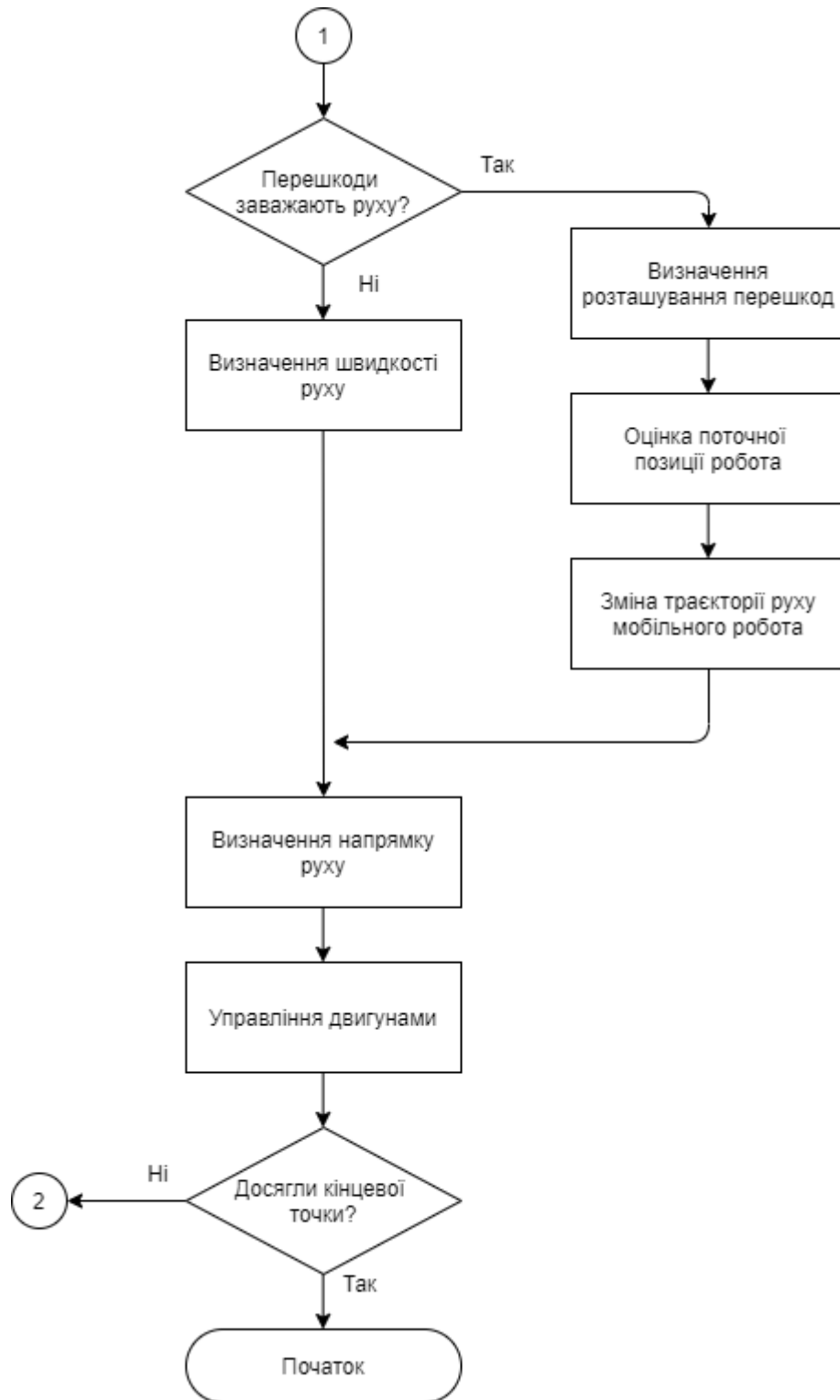


Рисунок 2.4, аркуш 2

Алгоритм керування мобільною платформою полягає в наступному. На початковому етапі LiDAR формує тривимірну хмару точок, які позначають місце розташування перешкод навколо роботу у просторі.

Отримані дані передаються в систему навігації робота, де попередньо будується карта місцевості і карта перешкод.

Визначивши позицію мобільного робота, система навігації переходить до оновлення карти перешкод, тобто на кожному кроці алгоритму система навігації будує нову карту перешкод і визначає розташування мобільного робота щодо цієї карти.

Дані, що надходять з LiDAR дозволяють системі навігації оптимізувати траєкторію руху робота та корегувати її, якщо перешкоди заважають руху. Процес управління закінчується, коли робот досягне цільової точки.

2.3 Висновки до другого розділу

В результаті виконання другого розділу кваліфікаційної роботи розроблена структурна схема модуля керування мобільним роботом, визначені основні блоки, що складають його конструкцію. Описаний формат передачі інформації з LiDAR на блок збору даних, наведений формат цих даних та викладене коротке пояснення основних полів інформаційного кадру.

Для виконання навігації в локальному середовищі обрано метод одночасної навігації і побудови карти SLAM.

Розроблена структурна схема лазерного сканеру LiDAR та описано принцип його роботи. Використання крокового двигуна дало можливість точно позиціонувати сканер та багато разів повторювати операцію сканування без втрати точності встановлення кута. Блок керування задає кут сканування, який може бути кратний $1/16$ кроку двигуна, що складає $0,1125$ градусів. Повний кут обертання не може бути більше 180 градусів, після чого напрям обертання повинен бути змінений на протилежний.

Розроблено алгоритм керування мобільним роботом з використанням технології LiDAR та методу побудови карти місцевості SLAM.

3 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДУЛЯ

3.1 Вибір електронних компонентів модуля

Вибір електронних компонентів, необхідних для розробки модуля прокладення шляху мобільної платформи з використанням технології LiDAR, буде здійснюватися відповідно до міркувань економічної доцільності кінцевого продукту, максимального зменшення потужності споживання на протязі роботи пристрою, компактності, та швидкості розробки модуля розробником та виконавцем кваліфікаційної роботи.

В якості датчика відстані в конструкції LiDAR буде використаний доступний для придбання та недорогий пристрій VL53L0X. Даний датчик – це мініатюрний модуль виміру відстані та розпізнавання жестів. Максимальна вимірювана відстань – до 2 м. Модуль підключається через поширений послідовний інтерфейс inter-integrated circuit (I2C) для управління пристроєм і передачі даних. Напруга живлення модуля – 5 В. Також, датчик оснащений передовою матрицею на основі високочутливих однофотонних лавинних діодів. Принцип роботи заснований на запатентованій STMicroelectronics технології FlightSense™.

Поверхнево-випромінюючий лазер VCSEL з довжиною хвилі 940 нм, виконує в датчику відстані VL53L0X роль джерела оптичного сигналу. Він оснащений вбудованим інфрачервоним фільтром. Його світіння повністю невидимо для людського ока, і забезпечує більшу дистанцію вимірювання при меншій чутливості до рівня зовнішнього освітлення і більш стійкий до перехресних перешкод, що викликаються скляними поверхнями. Зовнішній вигляд датчику визначення відстані показаний на рисунку 3.1 [15].

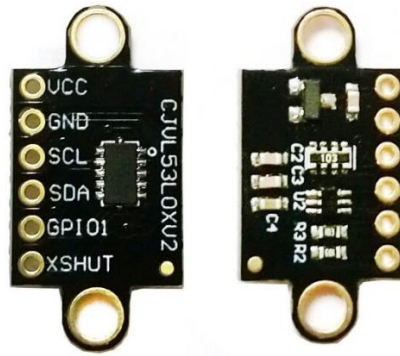


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд датчика визначення відстані до об'єкта

З даного рисунку можна побачити контакти для підключення до інтерфейсу I2C.

Датчик VL53L0X використовується у персональних комп'ютерах, планшетах та телефонах, а також у пристроях інтернету речей для розпізнавання жестів. В робототехніці датчик використовують для виявлення перешкод. Для того, щоб підключити даний датчик до контролеру, необхідно ознайомитись зі схемою пристрою, що показана на рисунку 3.2 [15].

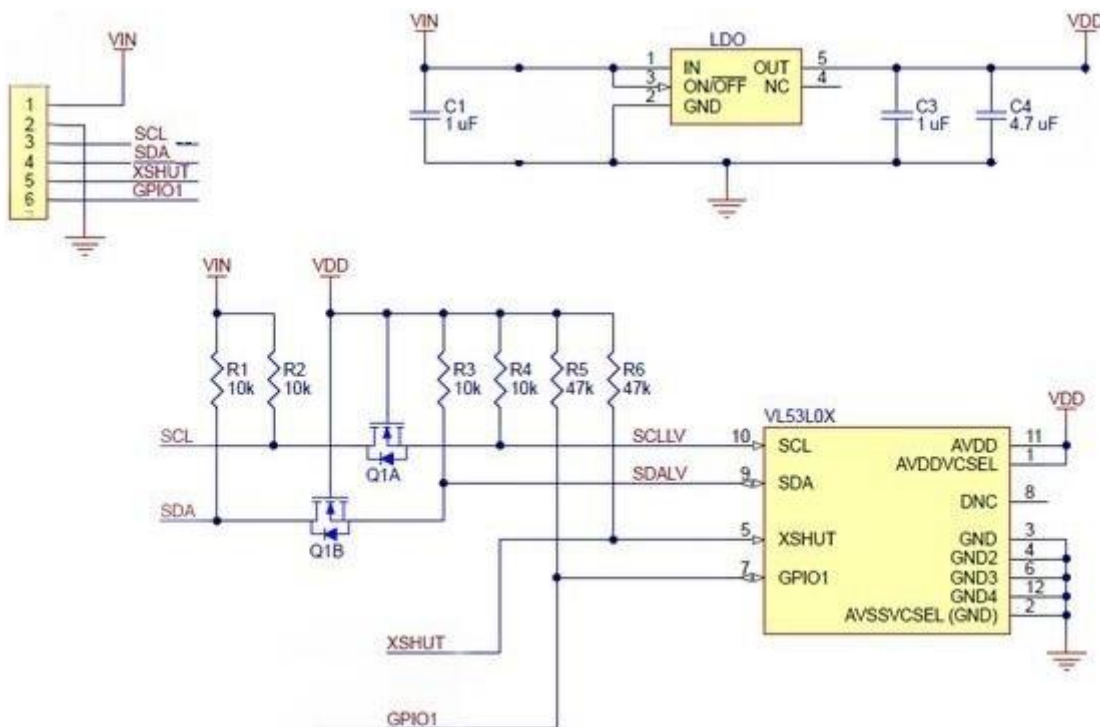


Рисунок 3.2 – Схема пристрою VL53L0X

З даної схеми можна зробити висновок, що пристрій має всі необхідні компоненти для сполучення його з контролером, який живиться від напруги 5 В. Також, пристрій має необхідні резистори для підтягування лінії I2C до лінії VIN, таким чином, вже немає необхідності їх встановлення на кінцевому пристрої.

Для визначення відстані використовується технологія TOF (timeofflight), яка заснована на вимірюванні часу, який витрачає електромагнітна хвиля на подолання відстані між передавачем до перешкоди і повернення її до приймача після її відбиття від перешкоди.

На рисунку 3.3 показано принцип визначення позиції за методом TOF.

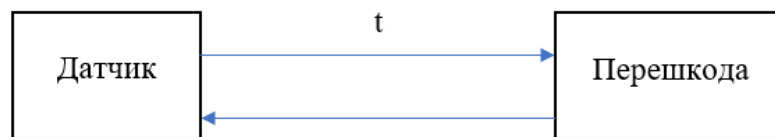


Рисунок 3.3 – Принцип визначення позиції за методом TOF.

Отримавши цей час і знаючи швидкість руху хвилі, можна обчислити відстань від датчику до перешкоди відповідно до формули (3.1):

$$S = t \frac{c}{2}, \quad (3.1)$$

де t – час, с;

c – швидкість світла, м/с.

Переваги даного методу:

– висока точність визначення місця розташування мобільного пристрою;

– великий радіус дії;

– відсутність необхідності синхронізації між пристроями.

Недоліки даного методу:

– перешкода має відбивати електромагнітну хвилю в напрямку датчика.

Для управління LiDAR в даному проекті використовується контролер Arduino Uno. Arduino Uno – це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328. До його складу входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів / виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів); 6 аналогових входів; кварцовий резонатор на 16 МГц; роз'єм USB; роз'єм живлення; роз'єм для внутрисхемного програмування (ICSP) і кнопка скидання.

На рисунку 3.4 представлений зовнішній вигляд контролеру [16].

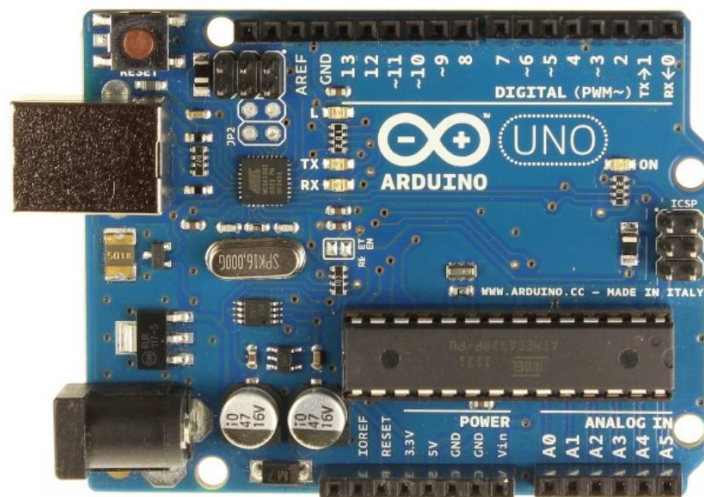


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд контролеру з компонентами Arduino Uno

До обраної плати входять всі необхідні компоненти для коректної роботи результуючого пристрою відповідно до мети кваліфікаційної роботи. Тому був обраний недорогий, але функціональний варіант плати Arduino.

Для початку роботи з пристроєм досить просто подати живлення від AC/DC-адаптера або батарейки, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Arduino Uno в якості перетворювача інтерфейсів USB-UART використовує мікроконтролер ATmega16U2 (ATmega8U2 до версії R2) замість мікросхеми FTDI.

Технічні характеристики плати Arduino Uno описані в таблиці 3.1 [16].

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики плати Arduino Uno R3

Найменування	Значення
мікроконтролер	Atmega328P
робоча напруга	5 В
вхідна напруга (рекомендована)	від 7 В до 12 В
вхідна напруга (гранична)	від 6 В до 20 В
цифрові вхідні/вихідні виводи	14 (6 можуть працювати як ШІМ)
аналогові вхідні виводи	6
постійний струм через виводи 5 В	20 мА
постійний струм через вивід 3,3 В	50 мА
флеш-пам'ять	32 кБ
оперативна пам'ять	2 кБ
енергонезалежна пам'ять EEPROM	1 кБ
тактова частота роботи процесора	16 МГц
габаритні розміри	ширина 53,4 мм, довжина 68,6 мм
маса	25 г

Плата розширення CNC Shield v3.0 для Arduino UNO створена, щоб на її основі можна було створювати CNC машини (ЧПУ верстати):

- 3D принтер (необхідно реле для нагріву хотенда і столу);
- гравірувальний станок;
- фрезерний станок;
- лазерний станок.

На рисунку 3.5 представлений зовнішній вигляд плати розширення CNC Shield v3.0 [17].

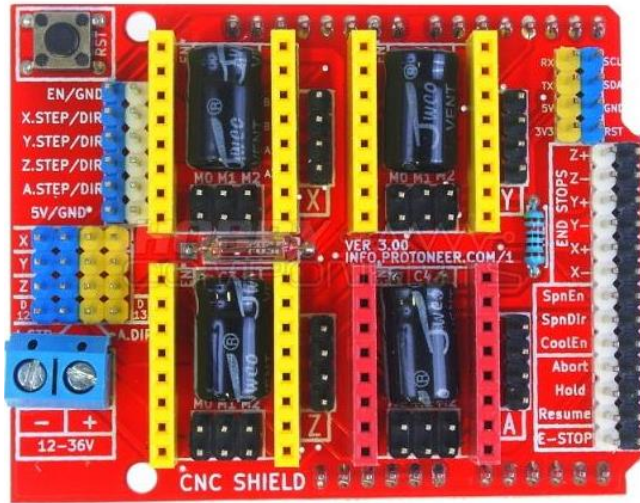


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд плати розширення CNC Shield v3.0

Дана плата встановлюється на модуль Arduino Uno, а в спеціальні місця плати розширення встановлюються драйвери крокових двигунів. На рисунку 3.6 представлений приклад зібраної конструкції [17].

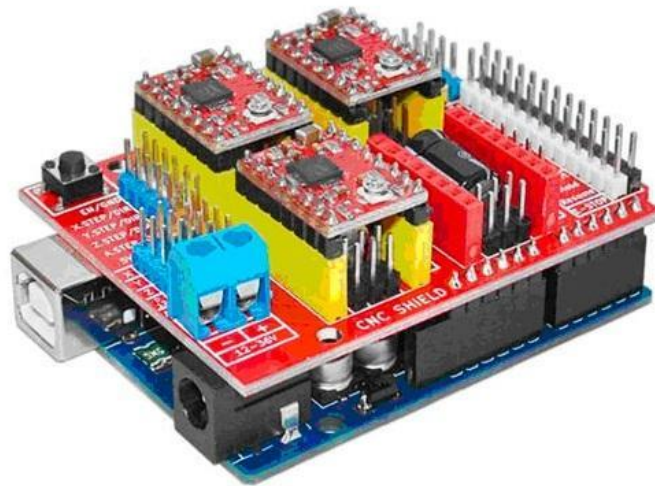


Рисунок 3.6 – Приклад зібраної конструкції з використанням плати розширення та драйверів двигунів

Технічні характеристики плати розширення CNC Shield v3.0 описані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики плати розширення CNC Shield v3.0

Найменування	Значення
виробник	Protoneer
модель	CNC Shield
версія	3.0
кількість осей управління	4 (X, Y, Z, A)
сумісна плата управління	Arduino Uno або аналог
сумісні драйвери	A4988, DRV8825 або аналоги
регулювання мікрокроку	присутнє
управління шпинделем	присутнє
напруга живлення логічної частини	5 В
напруга живлення силової частини	від 12 В до 36 В
інтерфейси	UART, I2C
габаритні розміри	68 мм x 52,5 мм x 18,5 мм
вага	31 г

В якості драйверів крокових двигунів можуть використовуватись модулі на основі мікросхем A4988 и DRV8825. Виконаємо порівняльний аналіз даних модулів.

DRV8825 пропонує 1/32-ступінчастий мікрокрок, в той час, коли A4988 тільки знижується до 1/16 кроку. DRV8825 має більш високу максимальну напругу живлення, ніж A4988 (45 В проти 35 В), що означає, що DRV8825 може використовуватися більш безпечно при більш високих напругах і менш схильний до пошкоджень від стрибків напруги LC.

DRV8825 може видавати більший струм, ніж A4988, без будь-якого додаткового охолодження (на підставі деяких тестів: 1,5 А на котушку для DRV8825 проти 1,2 А на котушку для A4988 і 1 А на котушку для оригінальної несучої A4988).

Вважаючи, що для нашого пристрою не потрібний досить дрібний крок, та враховуючи меншу ціну, обираємо модуль A4988. На рисунку 3.7

представлена схема підключення драйверу до двигуна та до мікроконтролера [18].

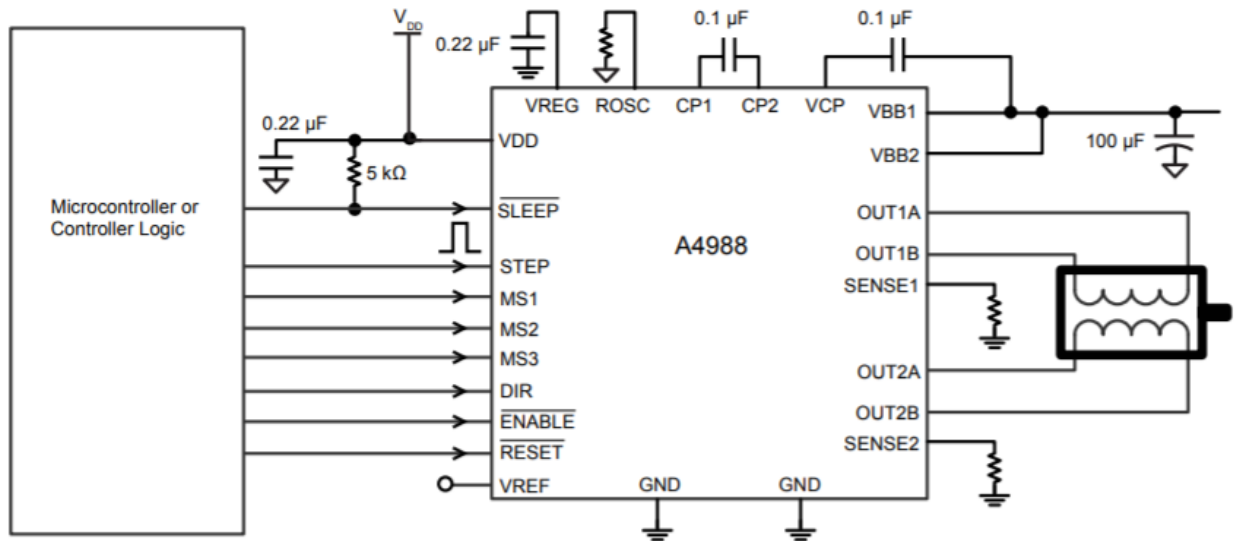


Рисунок 3.7 – Схема підключення драйверу A4988 до двигуна та до мікроконтролера

Технічні характеристики драйверу A4988 описані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики драйверу A4988

Найменування	Значення
напруга живлення	від 8 В до 35 В
напруга логіки	від 3 В до 5,5 В
режим мікрокроку	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16
захист від перегріву	присутній
максимальний струм	1 А без радіатора, 2 А з радіатором
габаритні розміри	20 мм x 15 мм x 10 мм
вага	2 г

В якості крокового двигуна для обертання лазерного датчика виміру відстаней до об'єктів обраний NEMA 17 17HS3401.

Кроковий двигун – це синхронний безщітковий електродвигун, в якому за допомогою чергового перемикавання внутрішніх обмоток відбувається

кутове переміщення, крок. Перевага крокових двигунів у точності. При подачі сигналу на двигун ми можемо бути впевнені, що він повернеться на певний кут, який визначається кількістю кроків на один оборот. Ще одним приємним плюсом є тривалий термін служби. Можна зробити висновок, що кроковий двигун більше підходить для систем керування, де потрібен контроль кроку при оберті.

Зовнішній вигляд крокового двигуна NEMA 17 17HS3401 представлений на рисунку 3.8 [19].



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд крокового двигуна NEMA 17 17HS3401

Схема підключення крокового двигуна до драйвера наведена на рисунку 3.7. У таблиці 3.4 наведені технічні характеристики крокового двигуна NEMA 17 17HS3401.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики крокового двигуна NEMA 17
17HS3401

Найменування	Значення
типорозмір	нема 17
модель	17HS3401
кількість фаз	2
опір обмотки	2,4 Ом
індуктивність обмотки	2,8 мГн
кут повороту на 1 крок	1,8°
момент утримання	2,8 кг/см
момент інерції	34 г/см ²
діаметр валу	5 мм
габаритні розміри	42 мм x 42 мм x 34 мм
вага	150 г

3.2 Розробка макету пристрою

Розробка корпусу пристрою виконувалась в САПР PTC CREO.
Загалом, вся конструкція складається із чотирьох деталей:

- основний корпус з коміркою для плати контролеру;
- рухома насадка;
- вставка для кріплення;
- кришка.

3D модель корпусу показана на рисунку 3.9.

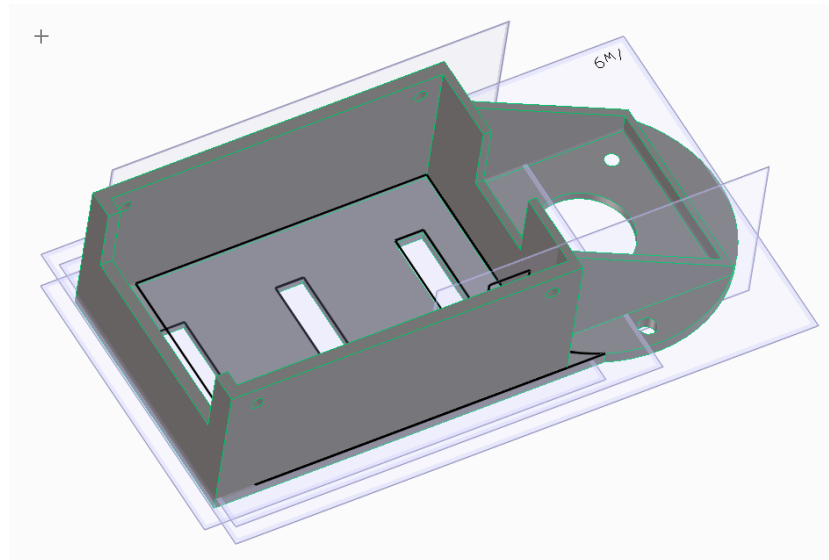


Рисунок 3.9 – 3D модель корпусу

Корпус має відсік для розміщення плати Arduino Uno, плати розширення та драйверу крокового двигуна. Також в даний корпус встановлюється сам кроковий двигун.

На рисунку 3.10 представлений приклад готової деталі, що роздрукована за допомогою 3D принтеру.

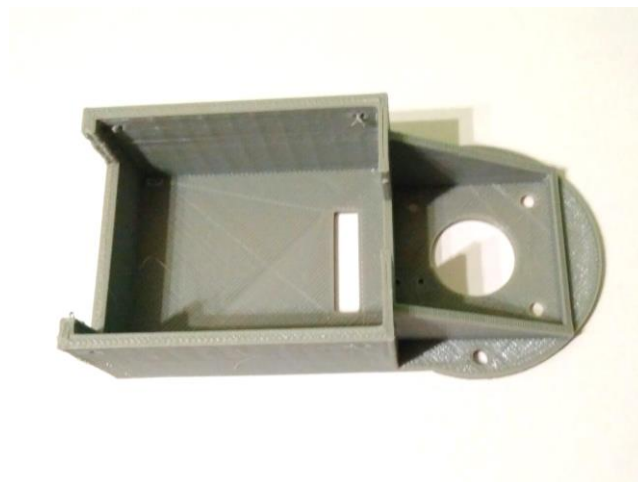


Рисунок 3.10 – Приклад готової деталі корпусу, що роздрукована за допомогою 3D принтеру

На рисунку 3.11 наведено розміщення всіх необхідних електронних компонентів у роздрукованому корпусі.

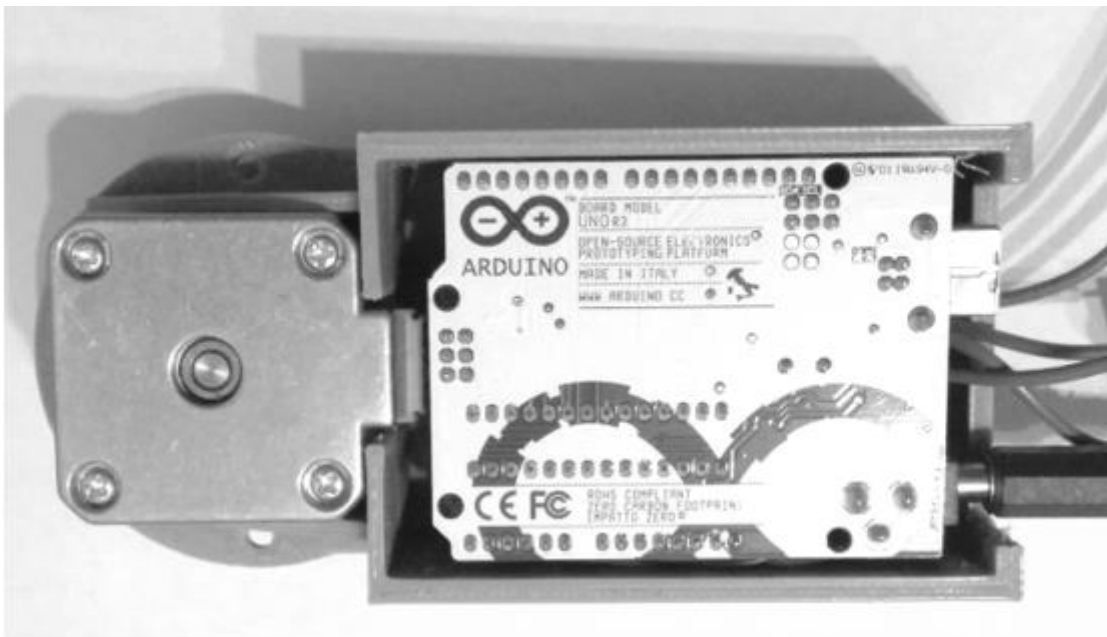


Рисунок 3.11 – Розміщення плати Arduino Uno, крокового двигуна та інших електронних компонентів у корпусі модуля LiDAR

Гнізда для підключення живлення та кабелю USB виведені на торцевий бік пристрою.

Датчик для виміру відстані кріпиться на рухому пластину, яка за допомогою вставки тримається на вісі крокового двигуна. 3D модель пластини наведена на рисунку 3.12.

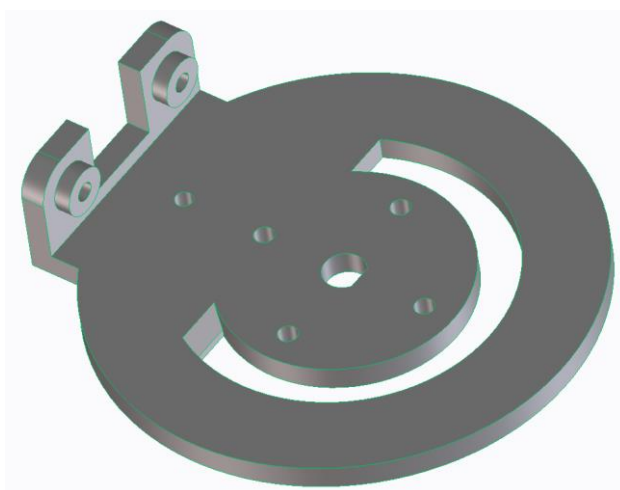


Рисунок 3.12 – 3D модель пластини для кріплення датчику виміру відстані

Пластина має прорізь через яку пропускається кабель, що поєднує датчик з контролером. На рисунку 3.13 представлений зібраний рухомий модуль із встановленим датчиком.

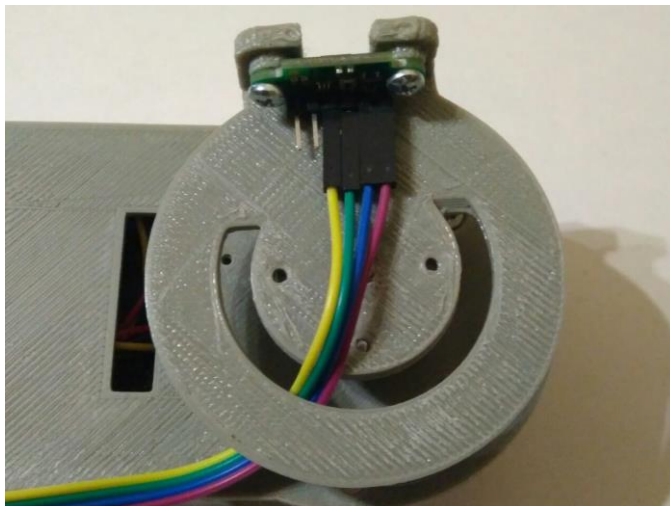


Рисунок 3.13 – Датчик VL53L0X, що закріплено на рухомій пластині

На рисунку 3.14 наведений зовнішній вигляд плати управління та підключеного до неї датчика виміру відстані з кроковим двигуном.

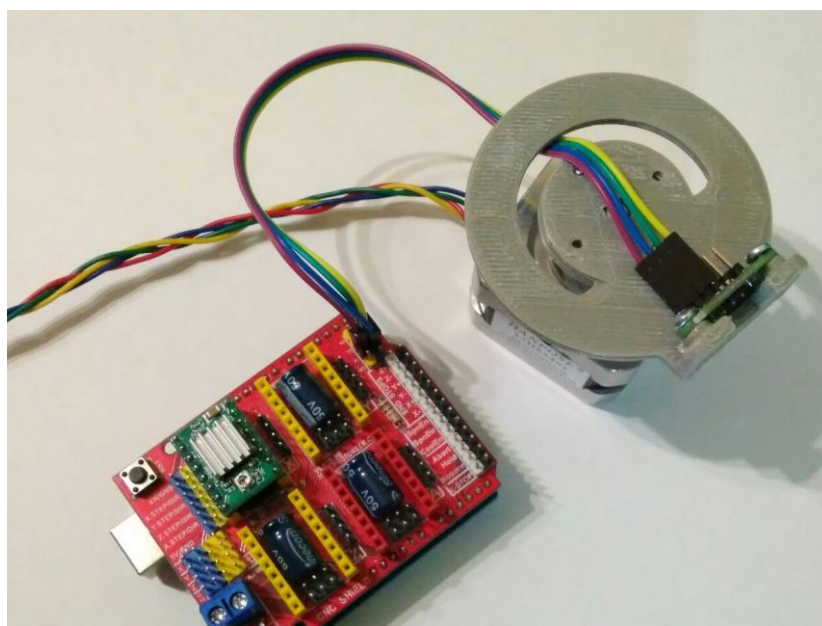


Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд плати управління та підключеного до неї датчика виміру відстані з кроковим двигуном

На рисунку 3.15 представлена зібрана конструкція модуля LiDAR.

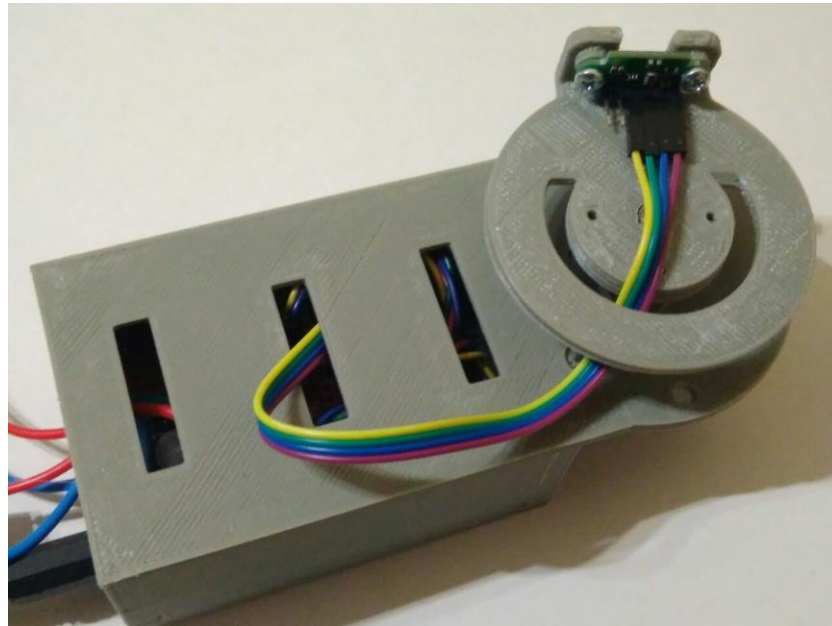


Рисунок 3.15 – Зібрана конструкція LiDAR

Рухома пластина, що закріплена вісі кокового двигуна обертається на заданій кут вліво та вправо. На початку роботи пластина встановлюється в потрібний початковий кут, та при включенні живлення починає обертатись із даною швидкістю. На корпусі передбачено розміщення кінцевого датчику для визначення початкового положення пластини при включенні пристрою, але для експериментальних досліджень даний датчик було знято.

3.3 Висновки до третього розділу

В результаті виконання третього розділу кваліфікаційної роботи розроблено апаратну частину макету на основі датчику VL53L0X. Обрані електронні компоненти, необхідні для роботи модуля прокладення шляху, такі як плата керування Arduino Uno, плата розширення CNC Shield v3.0, драйвер крокового двигуна A4988, кроковий двигун NEMA 17 17HS3401 та інші компоненти. Для визначення відстані використовується технологія TOF (timeofflight), заснована на вимірюванні часу, який витрачає електромагнітна

хвиля на подолання відстані між випромінювачем електромагнітної хвилі до перешкоди і повернення її до приймача після її відбиття від перешкоди.

Розроблена 3D модель корпусу модуля LiDAR за допомогою САПР PTC CREO, яка була надрукована на 3D принтері. Загалом, вся конструкція складається із чотирьох основних компонентів: основний корпус з коміркою для плати мікроконтролеру з компонентами; рухома насадка; вставка для кріплення; кришка.

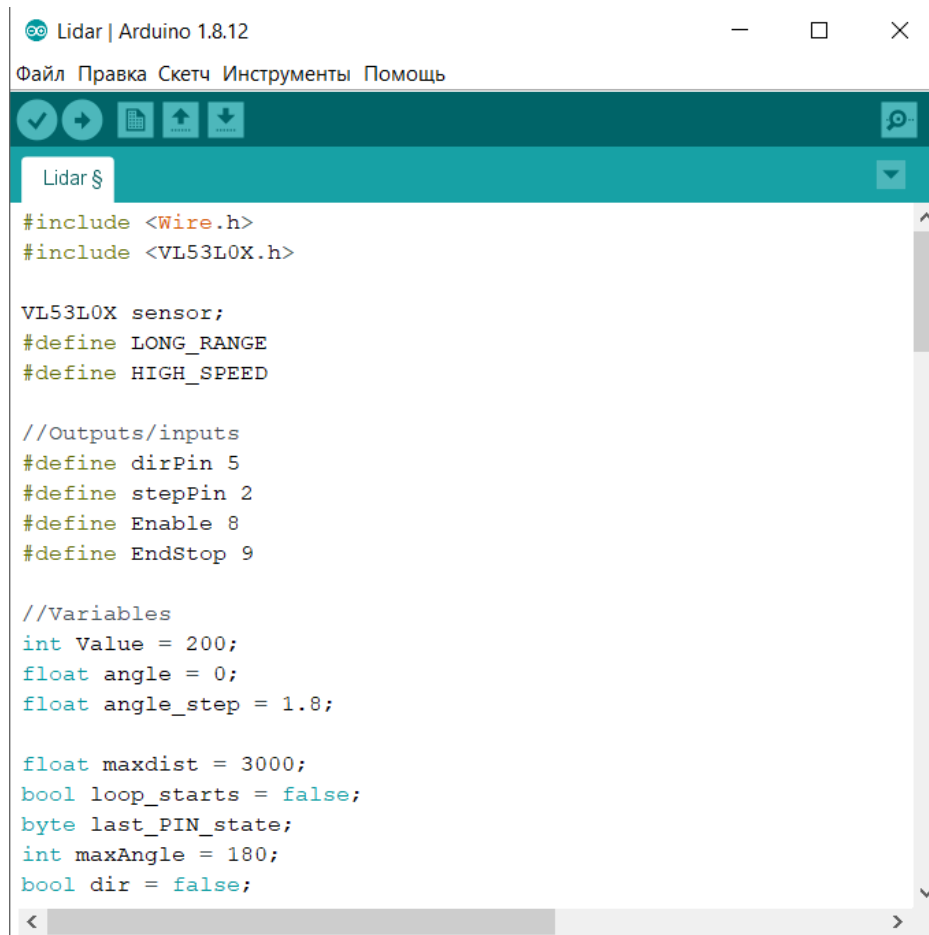
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДУЛЯ

4.1 Розробка програми для мікроконтролера Arduino Uno

Програма для мікроконтролеру Arduino Uno написана мовою програмування C++ у середовищі розробки Arduino IDE та має два основних етапи своєї роботи:

- етап початкової ініціалізації підключених модулів;
- основний робочий цикл.

На рисунку 4.1 наведений блок програми в якому прописані основні змінні та константи, що використовуються в роботі програми.



```
Lidar | Arduino 1.8.12
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
Lidar §
#include <Wire.h>
#include <VL53L0X.h>

VL53L0X sensor;
#define LONG_RANGE
#define HIGH_SPEED

//Outputs/inputs
#define dirPin 5
#define stepPin 2
#define Enable 8
#define EndStop 9

//Variables
int Value = 200;
float angle = 0;
float angle_step = 1.8;

float maxdist = 3000;
bool loop_starts = false;
byte last_PIN_state;
int maxAngle = 180;
bool dir = false;
```

Рисунок 4.1 – Блок опису змінних

З наведеного рисунку можна бачити, що за допомогою констант `#define LONG_RANGE` та `#define HIGH_SPEED` включається режим вимірювання відстані на максимальну дистанцію (2 м) та з максимальною швидкістю. Вказані константи використовуються в блоці налагодження початкової роботи пристрою.

Також на даному етапі задаються пini контролеру до яких буде підключатися кроковий двигун, датчик відстані та кінцевий датчик.

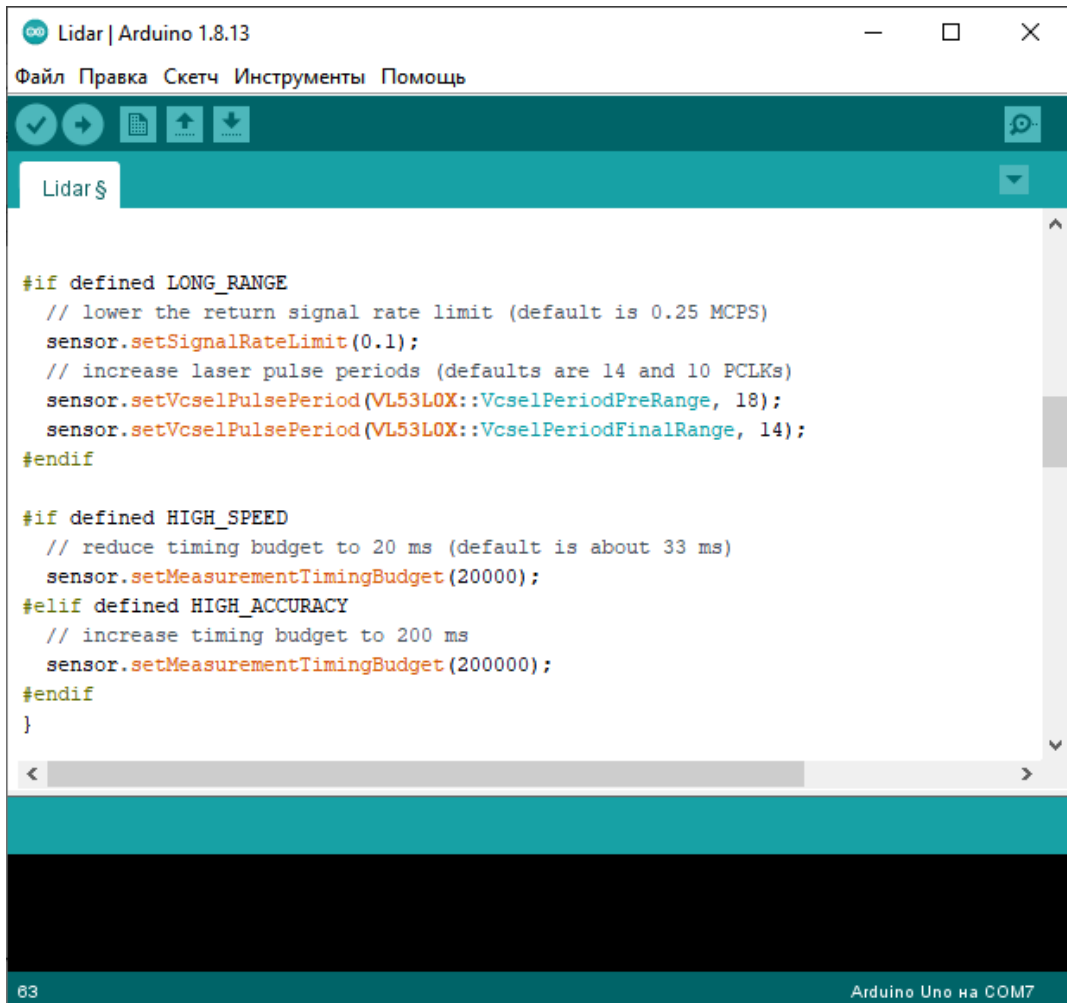
Змінна `DIR` використовується для зберігання поточного напрямку оберт рухомої пластини. Вона змінює своє значення після досягнення максимального та мінімального кута оберт.

В модулі `Setup` виконується налаштування роботи послідовного інтерфейсу обміну даними `UART`. Налаштується швидкість передачі даних 9600 біт за секунду.

Також в модулі `Setup` відбувається початкове задання значення обраним портам вводу та виводу:

```
pinMode(stepPin, OUTPUT);  
pinMode(dirPin, OUTPUT);  
pinMode(Enable, OUTPUT);  
pinMode(EndStop, INPUT);  
digitalWrite(Enable, LOW);  
digitalWrite(dirPin, LOW);
```

На рисунку 4.2 показано фрагмент модуля `Setup` в якому відбувається обирання режиму роботи датчику відстані.



```

Lidar$

#if defined LONG_RANGE
  // lower the return signal rate limit (default is 0.25 MCPS)
  sensor.setSignalRateLimit(0.1);
  // increase laser pulse periods (defaults are 14 and 10 PCLKs)
  sensor.setVcseLPulsePeriod(VL53L0X::VcseLPulsePeriodPreRange, 18);
  sensor.setVcseLPulsePeriod(VL53L0X::VcseLPulsePeriodFinalRange, 14);
#endif

#if defined HIGH_SPEED
  // reduce timing budget to 20 ms (default is about 33 ms)
  sensor.setMeasurementTimingBudget(20000);
#elif defined HIGH_ACCURACY
  // increase timing budget to 200 ms
  sensor.setMeasurementTimingBudget(200000);
#endif
}

```

Рисунок 4.2 – Фрагмент модуля Setup в якому відбувається обирання режиму роботи датчику відстані

В основному циклі роботи програми відбуваються такі дії:

- послідовне переміщення крокового двигуна на заданий кут;
- виконання команди зчитування показань з датчику виміру відстані;
- формування кадру повідомлення та відправка його через послідовний порт;
- перевірка поточного значення куту оберту та зміна напрямку обертання наприкінці сектору огляду пристрою;
- збільшення, або зменшення поточного значення куту оберту на кожному кроці крокового двигуна.

На рисунку 4.3 показано фрагменту коду програми основного циклу роботи програми.



```
Lidar | Arduino 1.8.13
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

Lidar §

for (int i = 0; i < 16; i++) {
  digitalWrite(stepPin, HIGH);
  digitalWrite(stepPin, LOW);
  delayMicroseconds(Value);
}

int r = sensor.readRangeSingleMillimeters();
if (r > maxdist)
  r = maxdist;

Serial.print(angle);
Serial.print("\t-\t");
Serial.print(r);
Serial.println("");

if (!dir){
  angle = angle + angle_step;
}
else
{
  angle = angle - angle_step;
}

if (angle >= maxAngle)
{
  dir = !dir;
  if (dir) digitalWrite(dirPin, HIGH);
  else digitalWrite(dirPin, LOW);
}
else if (angle <= 0)
{
  dir = !dir;
  if (dir) digitalWrite(dirPin, HIGH);
  else digitalWrite(dirPin, LOW);
}
}

73 Arduino Uno на COM7
```

Рисунок 4.3 – Фрагмент основного циклу роботи програми

На рисунку 4.4 показано приклад передачі даних через послідовний інтерфейс в режимі виміру відстані.

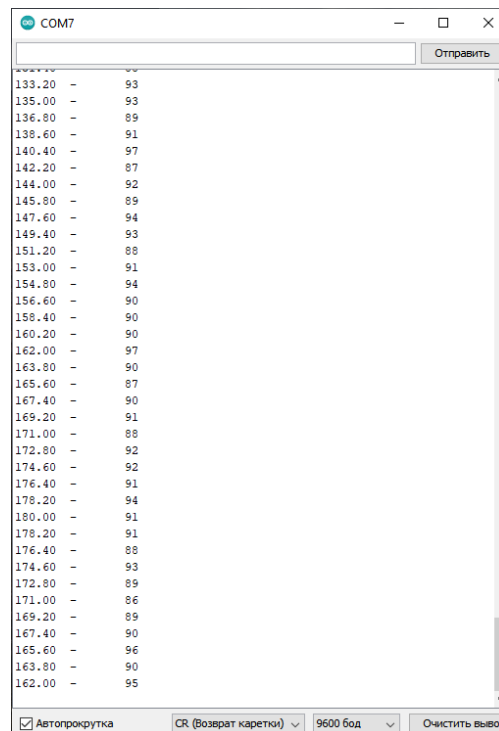


Рисунок 4.4 – Приклад передачі даних через послідовний інтерфейс в режимі виміру відстані

Як можна бачити з наведеного рисунку, кожен кадр даних містить поточне значення куту оберту рухомої пластини та, через дефіс, значення відстані до перешкоди.

Повний текст програми, написаної для мікроконтролера Arduino Uno мовою програмування C++ у середовищі розробки Arduino IDE представлений у додатку А кваліфікаційної роботи.

4.2 Розробка програми для персонального комп'ютера

Для аналізу даних з датчику відстані розроблена програма для персонального комп'ютера мовою програмування C# у середовищі розробки Visual studio 2019. В програмі передбачено графічний інтерфейс для відображення отриманих даних.

Зовнішній вигляд графічного інтерфейсу показано на рисунку 4.5.

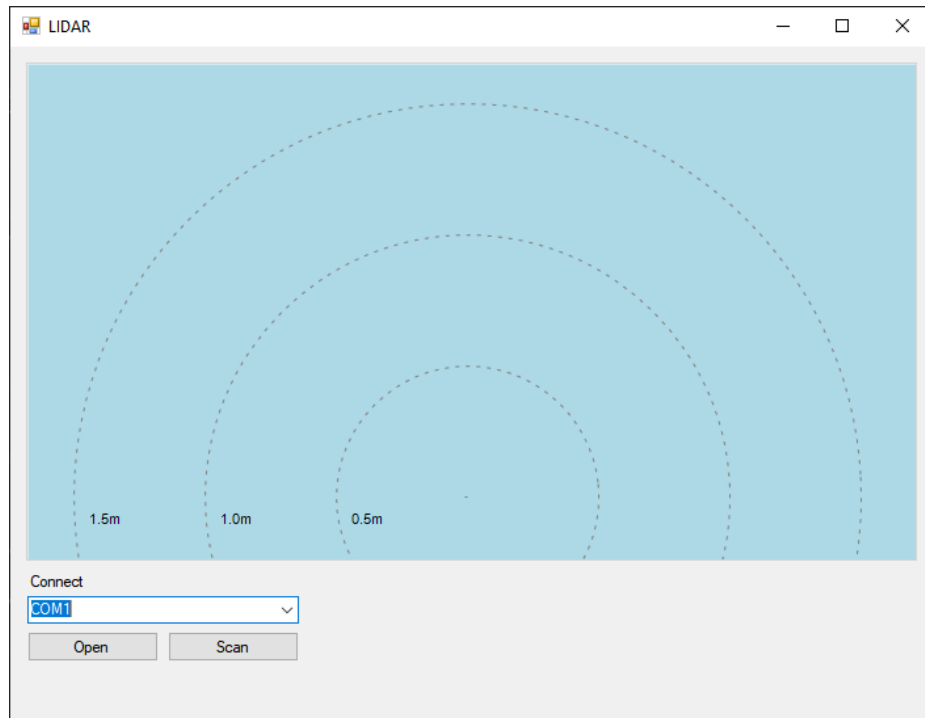


Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд графічного інтерфейсу програми

Основна частина екрану являє собою робоче поле для відображення довжини всіх променів, що були випромінені та відбиті від перешкод навколо скануючого пристрою.

За допомогою концентричних окружностей на робочому полі створюється розмітка робочої зони дії LiDAR.

Програма отримує дані за допомогою послідовного інтерфейсу через протокол RS-232. Для взаємодії з цим інтерфейсом створені декілька функцій:

- getCOM_Name;
- fill_comPort;
- DataReceivedHandler.

Функція getCOM_Name сканує системну інформацію та генерує перелік наявних підключених до персонального комп'ютера (ПК) пристроїв, що працюють з послідовним протоколом. Приклад даної функції показано на рисунку 4.6.

```

Ссылка: 2
private string getCOM_Name()
{
    string res = "COM1";

    string[] availablePorts = System.IO.Ports.SerialPort.GetPortNames();
    if (availablePorts.Length == 0) return res;
    res = availablePorts[availablePorts.Length - 1].ToString();
    if ((res == "COM1") || (res == "COM2"))
    {
        int i = availablePorts.Length;
        do
        {
            res = availablePorts[i - 1].ToString();
            if ((res != "COM1") && (res != "COM2")) return res;
            i--;
        }
        while (i > 0);
    }

    return res;
}

```

Рисунок 4.6 – Приклад функції getCOM_Name

В результаті роботи даної функції заповнюється змінна availablePorts, що являє собою перелік доступних СОМ-портів. Дану інформацію використовує інша функція fill_comPort, яка заповнює компонент ComboBox наявними даними. Приклад реалізації даної функції в програмі показано на рисунку 4.7.

```

Ссылка: 2
private void fill_comPort()
{
    string[] availablePorts = System.IO.Ports.SerialPort.GetPortNames();
    comboBox1.Items.Clear();
    foreach (string s in availablePorts)
    {
        comboBox1.Items.Add(s);
        if (comboBox1.Items.Count > 0)
        {
            comboBox1.Text = comboBox1.Items[comboBox1.Items.Count - 1].ToString();
        }
    }
}

```

Рисунок 4.7 – Приклад реалізації функції fill_comPort

Прийняті через послідовний інтерфейс дані оброблюються за допомогою функції `DataReceivedHandler`, яка представлена на рисунку 4.8.

```
ссылка: 1
private void DataReceivedHandler(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    try
    {
        SerialPort sp = (SerialPort)sender;
        string indata = sp.ReadLine();
        rxString = indata;
        dataAnalyze(rxString);
        myPanel1.Invalidate();
        myPanel1.Refresh();
    }
    catch (Exception ex)
    {
    }
}
```

Рисунок 4.8 – Приклад реалізації функції `DataReceivedHandler`

Дана функція оброблює отриманий пакет даних та надсилає його для аналізу функції `dataAnalyze`, за допомогою якої перевіряється правильність форматування пакету даних, та, у випадку, коли дані правильні, виділяється інформація про кут оберту рухомої платини та отримане значення дистанції.

Для візуалізації даних створено відповідний метод, який викликається після отримання кожного пакету даних. Цей метод пов'язаний з подією оновлення екрану та має код, який представлений на рисунку 4.9.

```

e.Graphics.SmoothingMode = System.Drawing.Drawing2D.SmoothingMode.AntiAlias;

SolidBrush brush = new SolidBrush(Color.LightBlue);
Rectangle rect = new Rectangle(0, 0, myPanel1.Width, myPanel1.Height);
e.Graphics.FillRectangle(brush, rect);

Pen whitePen = new Pen(Color.White, 3);

Pen blackPen = new Pen(Color.Gray, 1);
float[] dashValues = { 3, 5};
blackPen.DashPattern = dashValues;

Point point1 = new Point(x, y);
Point point2 = new Point(x - (int)(Math.Cos(angle) * distance * scale_x), y -
    (int)(Math.Sin(angle) * distance * scale_y));
e.Graphics.DrawLine(blackPen, point1, point2);

for (int i = 0; i < 360; i++)
{
    Point pointA = new Point(x, y);
    Point pointB = new Point(x - (int)(Math.Cos(angle_arr[i]) *
        distance_arr[i] * scale_x), y - (int)(Math.Sin(angle_arr[i]) *
        distance_arr[i] * scale_y));
    e.Graphics.DrawLine(whitePen, pointA, pointB);
}

```

Рисунок 4.9 – Фрагмент коду функції візуалізації отриманих даних

Як можна бачити з наведеного фрагменту коду, всі дані зберігаються в масиві `distance_arr`. На кожному циклі оновлення екрану, за отриманими значеннями кутів оберту та дистанції будується масив променів. Для цього за теоремою косинусів розраховуються координати початку та кінця кожної лінії. Перед кожним етапом рисування екран очищується для того, щоб користувачеві відображались завжди актуальні дані.

Повний текст програми, написаної для застосунку персонального комп'ютера мовою програмування C# у середовищі розробки Visual studio 2019 представлений у додатку Б кваліфікаційної роботи.

Приклад роботи функції відображення даних показано на рисунку 4.10.

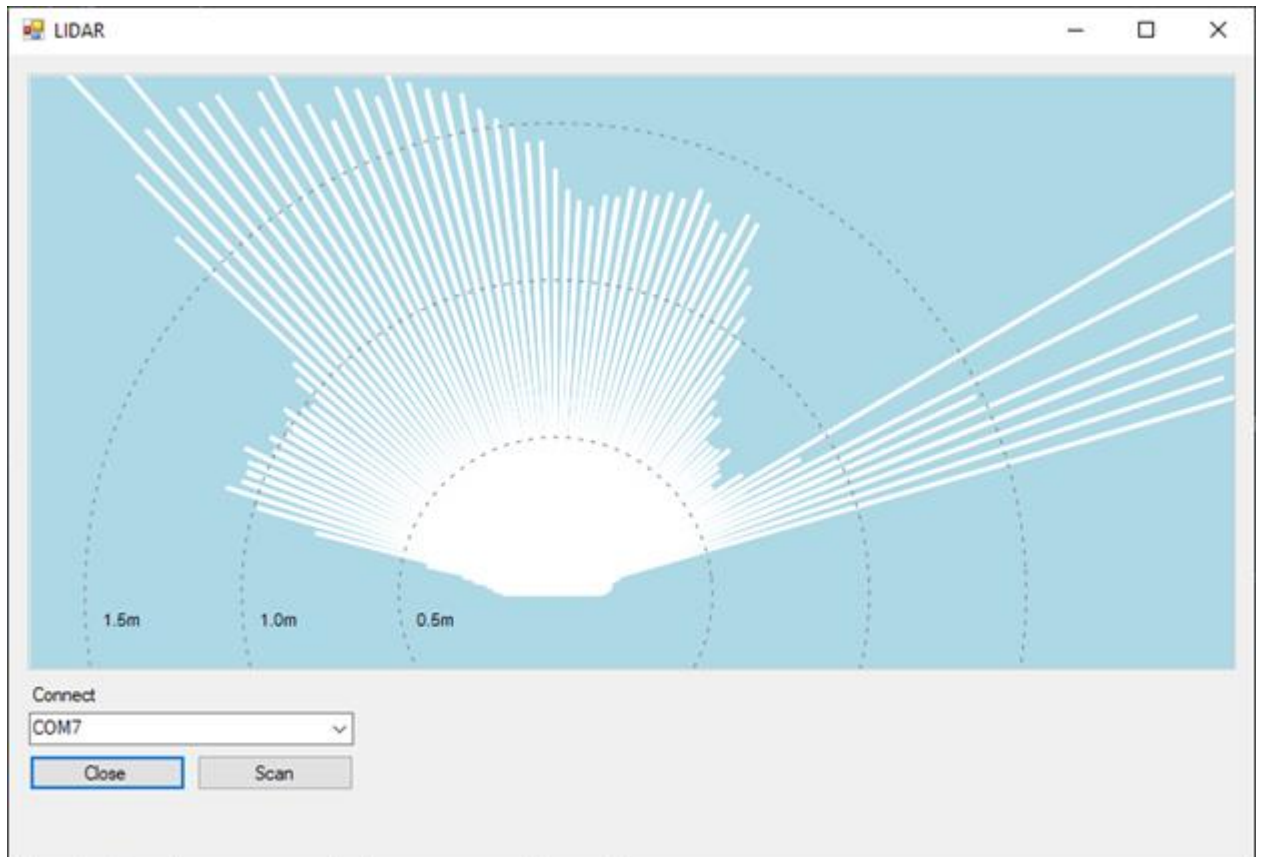


Рисунок 4.10 – Приклад роботи функції відображення даних

4.3 Висновки до четвертого розділу

В результаті виконання четвертого розділу роботи розроблене програмне забезпечення модулю прокладення шляху мобільного робота.

Програма для контролеру Arduino Uno написана мовою програмування C++ у середовищі розробки Arduino IDE та має два основних етапи своєї роботи: етап початкової ініціалізації підключених модулів та основний робочий цикл.

Для аналізу даних з датчику відстані розроблена програма для персонального комп'ютера мовою програмування C# у середовищі розробки Visual Studio 2019. В програмі передбачено графічний інтерфейс для відображення отриманих даних. Основна частина екрану являє собою робоче поле для відображення довжини всіх променів що були випромінені та відбити від перешкод навколо скануючого пристрою.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Планування експерименту

Метою проведення даного експерименту є аналіз точності визначення відстані до перешкоди модулем прокладення шляху мобільного робота за допомогою технології LiDAR для подальшої побудови маршруту переміщення мобільної платформи із використанням SLAM технології.

Для проведення експерименту обрано таку схему лабораторного стенду, як показано на рисунку 5.1.

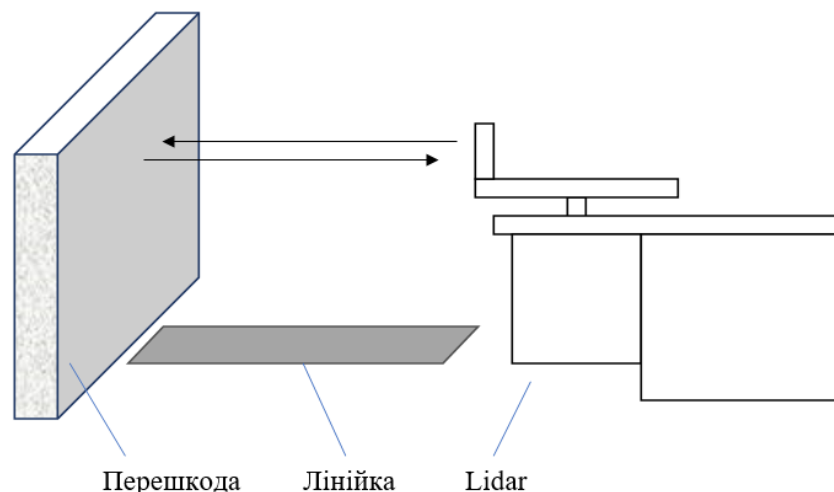


Рисунок 5.1 – Схема лабораторного стенду

LiDAR розміщується навпроти перешкоди на певній відстані. В нашому випадку буде проводитись два тести на малій відстані (100 мм) та на відстані 500 мм. На кожній відстані буде отримана вибірка послідовності 100 даних. Для цієї вибірки буде проведено аналіз похибки визначення дистанції та величини найбільшого ймовірного випадкового розсіювання відхилень від середньоарифметичного.

5.2 Проведення експерименту

На рисунку 5.2 показаний зібраний лабораторний стенд.

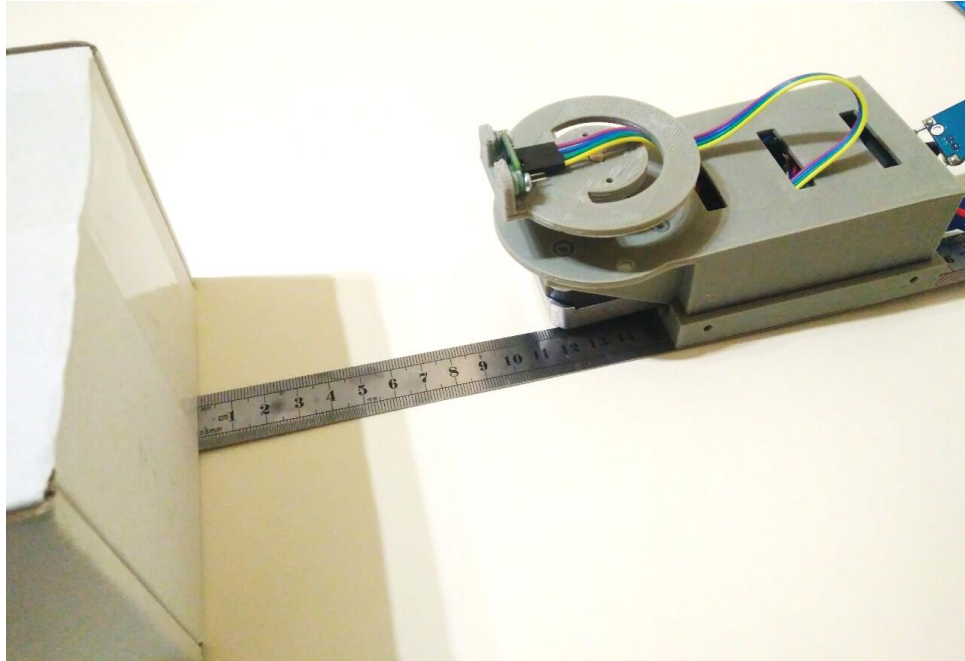


Рисунок 5.2 – Зібраний лабораторний стенд

Lidar підключений до ПК через послідовний порт. Датчик відстані встановлений на відстані 100 мм від перешкоди.

В результаті експерименту були отримані необхідні дані для оцінки точності визначення дистанції. На рисунку 5.3 показані дані для дистанції 100 мм, а на рисунку 5.4 наведені отримані дані для дистанції 500 мм.

	E	F	G	H	I
	105	100	5	22,1841	100,29
	98	100	-2	5,2441	100,29
	101	100	1	0,5041	100,29
	98	100	-2	5,2441	100,29
	95	100	-5	27,9841	100,29
	98	100	-2	5,2441	100,29
	100	100	0	0,0841	100,29
	98	100	-2	5,2441	100,29
	96	100	-4	18,4041	100,29
	96	100	-4	18,4041	100,29
	102	100	2	2,9241	100,29
	98	100	-2	5,2441	100,29
	98	100	-2	5,2441	100,29
	105	100	5	22,1841	100,29
	99	100	-1	1,6641	100,29
	99	100	-1	1,6641	100,29
	103	100	3	7,3441	100,29
	104	100	4	13,7641	100,29
	100	100	0	0,0841	100,29
	103	100	3	7,3441	100,29
	101	100	1	0,5041	100,29
	102	100	2	2,9241	100,29
	102	100	2	2,9241	100,29
	102	100	2	2,9241	100,29
	99	100	-1	1,6641	100,29
	100	100	0	0,0841	100,29
	99	100	-1	1,6641	100,29
	100	100	0	0,0841	100,29
	105	100	5	22,1841	100,29
	99	100	-1	1,6641	100,29
	100	100	0	0,0841	100,29

Рисунок 5.3 – Дані виміру відстаней для дистанції 100 мм

На рисунках 5.3 та 5.4 показані не всі дані, але необхідні для оцінки точності виміру дистанції.

	482	500	-18	264,3876	498,26
	489	500	-11	85,7476	498,26
	495	500	-5	10,6276	498,26
	493	500	-7	27,6676	498,26
	501	500	1	7,5076	498,26
	501	500	1	7,5076	498,26
	490	500	-10	68,2276	498,26
	511	500	11	162,3076	498,26
	502	500	2	13,9876	498,26
	486	500	-14	150,3076	498,26
	497	500	-3	1,5876	498,26
	487	500	-13	126,7876	498,26
	506	500	6	59,9076	498,26
	498	500	-2	0,0676	498,26
	507	500	7	76,3876	498,26
	505	500	5	45,4276	498,26
	486	500	-14	150,3076	498,26
	496	500	-4	5,1076	498,26
	492	500	-8	39,1876	498,26
	495	500	-5	10,6276	498,26
	512	500	12	188,7876	498,26
	494	500	-6	18,1476	498,26
	506	500	6	59,9076	498,26
	497	500	-3	1,5876	498,26
	497	500	-3	1,5876	498,26
	503	500	3	22,4676	498,26
	495	500	-5	10,6276	498,26
	498	500	-2	0,0676	498,26
	503	500	3	22,4676	498,26
	496	500	-4	5,1076	498,26
	494	500	-6	18,1476	498,26

Рисунок 5.4 – Дані виміру відстаней для дистанції 500 мм

На основі отриманих даних були побудовані графіки зміни значень визначення дистанції для 100 мм та 500 мм відповідно (рисунок 5.5 та рисунок 5.6).



Рисунок 5.5 – Графік зміни значень визначення дистанції для 100



Рисунок 5.6 – Графік зміни значень визначення дистанції для 500

При аналізі отриманих даних в результаті проведення експерименту з виміру відстані до перешкоди при стаціонарно розміщеному датчику та предмету, що відбиває лазерний промінь, похибка визначення дистанції визначається величиною, яка розраховується за формулою (5.1):

$$\Delta = \bar{Z} - Z_{\text{дист}} \pm 3\sigma, \quad (5.1)$$

де \bar{Z} – середнє арифметичне значення дійсного стану дистанції до перешкоди при багаторазовому підході (математичне очікування), мм;

$Z_{\text{дист}}$ – очікувана величина дистанції між датчиком та перешкодою, мм;

σ – величина розкиду значень від середнього арифметичного (середньоквадратичне відхилення), що характеризує вплив випадкових процесів, мм.

Середнє арифметичне значення дійсного стану дистанції до перешкоди визначається за формулою (5.2):

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n}, \quad (5.2)$$

де n – число вимірювань дистанції до перешкоди, шт.

Величина очікуваної оцінки розкиду похибки визначення відстані розраховується за формулою (5.3):

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Z_i - \bar{Z})^2}{n - 1}}, \quad (5.3)$$

Величина найбільшого ймовірного випадкового розсіювання відхилень від середньоарифметичного приймається рівною $\pm 3\sigma = \pm 3S$.

При нормальному законі розподілу розсіювання в межах $\pm 3\sigma$ охоплюється понад 99% всіх можливих відхилень.

На рисунках 5.7 та 5.8 показані результати розрахунку величини очікуваної оцінки розкиду похибки визначення відстані S за формулою 5.3.

Z=	100,29			7,925152
			S=	2,815165

Рисунок 5.7 – Величина очікуваної оцінки розкиду похибки позиціонування при вимірюванні на відстані 100 мм

Z=	498,26			61,20444
			S=	7,823327

Рисунок 5.8 – Величина очікуваної оцінки розкиду похибки позиціонування при вимірюванні на відстані 500 мм

Як можна побачити з наведених розрахунків, величина очікуваної оцінки розкиду похибки позиціонування складає 2,82 мм при вимірюванні на відстані 100 мм. Величина очікуваної оцінки розкиду похибки позиціонування складає 7,82 мм при вимірюванні на відстані 500 мм.

5.3 Висновки до п'ятого розділу

В результаті виконання даного розділу кваліфікаційної роботи проведені експериментальні дослідження аналізу точності визначення відстані до перешкод за допомогою технології LiDAR. Зібрано лабораторний стенд для проведення експерименту. В результаті, отримані необхідні дані для оцінки точності визначення дистанції, на основі яких були побудовані графіки зміни значень визначення дистанції.

Таким чином, можна зробити висновки, що точність позиціонування для малих дистанцій складає 2,82 мм, для більших дистанцій – 7,82 мм. Максимальна відстань, що може бути визначена даним датчиком складає 2 м та похибка її виміру може складати 10 мм, що відповідає технічній документації на даний пристрій.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Вимоги до приміщення

Питання охорони праці розглядаються для приміщення де можна виконувати роботу по програмуванню розробленого модуля та безпосередньо розробки модуля, виконання паяних робіт із використанням паяльника. Приміщення має робоче місце проектувальника-програміста з персональним комп'ютером та місце для виконання паяного з'єднання компонентів модуля.

Робота в приміщенні проводиться сидячи і не вимагає фізичної напруги. Тому вона відноситься до категорії Ia (легкі фізичні роботи, енерговитрати до 120 ккал/год). З метою забезпечити комфортні умови для працівників та відповідно до державних санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99 – санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень, в приміщенні встановлені такі метеорологічні параметри [20]:

- температура повітря від 23 °С до 25 °С;
- вологість повітря від 40 % до 60 %;
- швидкість руху повітря $\leq 0,1$ м/с.

Нормалізація мікрокліматичних умов здійснюється за рахунок раціонального планування приміщення і оптимального розміщення в ньому обладнання, а також приладів регулювання тепловиділення, холодовиділення і вологовиділення.

Приміщення, де виконується розробка конструкції модуля, має наступні характеристики:

- площа приміщення 16 м² (4 м × 4 м);
- висота 2,5 м;
- кількість робочих місць – 2;
- робочі місця: стіл з персональним комп'ютером (ПК) та стіл з обладнанням для пайки.

Приміщення, відповідно до нормативно-правових актів охорони праці НПАОП 0.00-7.15-18 – вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, має забезпечувати 6 м² площі і 20 м³ об'єму на одне окреме робоче місце з ПК [21]. Фактичне значення корисної площі приміщення сягає 16 м², а об'єм складає 40 м³ таким чином видно, що вимоги щодо площі та об'єму робочого місця виконано.

Рівень шуму на робочому місці інженерів не повинен перевищувати 50 дБ, а в залах з машинним обладнанням – 65 дБ. Тривалий вплив шуму вище 80 дБ на слух людини викликає його часткову або повну втрату [22].

Шум погіршує умови праці, здійснюючи шкідливу дію на організм людини, можливі роздратованість, головні болі, запаморочення.

У приміщенні виконання робіт шум був відсутній.

6.2 Вимоги до безпеки здійснення паяного з'єднання компонентів

При виконанні робіт, пов'язаних з проведенням пайки, необхідно чітко дотримуватися правил техніки безпеки. У зворотному випадку можна завдати шкоди своєму здоров'ю.

Відповідно до НПАОП 28.52-1.32-14 – правила охорони праці під час паяльних робіт, параметри мікроклімату в межах робочої зони повинні відповідати вимогам санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, які зазначені вище [23].

У роботі важливо використовувати якісні та справні матеріали та інструменти. Перед початком роботи необхідно переконатись у надійності монтажного інструменту і його відповідності критеріям якості [24]:

- штепсельна вилка, розетка та шнур живлення повинні бути у належному стані;
- стрижень паяльника не повинен гойдатися, ручка його не повинна мати тріщин, а шнур не повинен мати порушень ізоляції;

- потрібно подбати про захист кабелю паяльника від зіткнення з гарячими предметами і захист від випадкового механічного пошкодження.

Особливу увагу слід приділити підготовці робочого місця перед проведенням робіт із використанням пайки [25]:

- робоче місце не повинно мати легко запалювальні матеріали;
- робоче місце повинно бути обладнано якісною вентиляцією;
- необхідно подбати про достатнє освітлення робочої зони;
- на робочому місці повинні бути присутні якісні припої та флюс, пінцет для тримання деталей, інструмент для зачистки проводів, рідина для очищення місця пайки від залишків флюсу, металічна підставка для паяльника, засіб для чистки жала паяльника, захисні окуляри.

При пайці на працівника можуть впливати різні шкідливі фактори. До таких можна віднести підвищену загазованість повітря парами хімічних речовин, пожежонебезпеку, бризки флюсів і припоїв, підвищену температуру повітря робочої зони. В даному випадку вкрай важливо мати засоби індивідуального захисту.

В процесі пайки необхідно дотримуватись наступних правил [26]:

- в процесі пайки потрібно використовувати захисні окуляри;
- не можна торкатися руками або іншими кінцівками до жала паяльника;
- щоб уникнути утворення бризок при паяльних роботах необхідно флюс наносити тонким шаром, а зайвий припій з жала паяльника видаляти спеціально призначеними для цього засобами;
- паяльник в перервах між пайкою слід тримати на металевій або теплостійкій підставці;
- аби уникнути перегріву паяльника, слід періодично його відключати від мережі живлення, або постійно контролювати температуру нагріву жала паяльника.

Після закінчення роботи необхідно:

- відключити паяльник від електромережі;

- не прибирати паяльник доти, поки жало паяльника не охолоне до кімнатної температура;
- обтерти інструменти і прибрати їх у відведені для цього місця;
- очистити робоче місце від припою, каніфолі, протерти вологою серветкою поверхню столу;
- сполоснути руки однопроцентним розчином оцтової кислоти, потім вимити їх гарячою водою з милом, прополоскати рот і почистити зуби.

6.3 Вимоги до освітлення та вентиляції приміщення при пайці

При виконанні робіт з використанням пайки, робоче приміщення обов'язково повинно мати якісне освітлення та вентиляцію. Оскільки дефіцит вентиляції та/або освітлення може мати шкідливі наслідки для здоров'я виконавця роботи.

У приміщенні здійснення робіт, призначених для пайки та на ділянках пайки, де виконуються візуально напружені роботи, мають бути передбачені природне та штучне освітлення. Лампи розжарювання і люмінесцентні лампи, що застосовуються на ділянках пайки, повинні бути укладені в корпус. Освітлювальні прилади потрібно розташувати таким чином, щоб світло не «било» в очі працівнику. Також, при природному освітленні необхідно розташувати робоче місце таким чином, щоб світло не заважало та не осліплювало виконавця роботи по пайці. Нормою освітлення робочого місця при пайці повинно задовольняти умові не менше 300 люкс штучного освітлення, при умові наявності природнього освітлення робочого місця [27].

Приміщення з ПК та місця для пайки повинні мати параметри природного та штучного освітлення відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 % [27].

Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, викладеної в [28].

Розрахунок освітлення виконується з формулою (6.1):

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (6.1)$$

де W – питома потужність, Вт/м²;

S – площа приміщення, м²;

W_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки, Вт.

Загальна потужність освітлювальної установки розраховується за формулою (6.2):

$$W_{\Sigma} = W_{\text{св}} \cdot \eta_{\text{св}}, \quad (6.2)$$

де $W_{\text{св}}$ – потужність одного світильника, Вт;

$\eta_{\text{св}}$ – кількість світильників в приміщенні, шт.

Таким чином, розрахуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$W_{\Sigma} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ Вт.}$$

Розрахуємо питому потужність:

$$W = \frac{400}{16} = 25 \text{ Вт/м}^2.$$

Питомої потужності 25 Вт/м² відповідає освітленість в 350 люкс, при мінімальній допустимій освітленості 300 люкс.

Таким чином, створюються сприятливі зорові умови в приміщенні.

Вимоги до вентиляції приміщення повинні задовольняти умовам безпеки дихальних органів працівника в процесі роботи, оскільки довготривале паяння у непровітрюваному приміщенні може спричинити отруєння виконавця роботи.

Робоче місце повинно мати як природне, так і штучне провітрювання. Для задовільнення умовам природного провітрювання, необхідно розташувати робоче місце поблизу вікна, забезпечивши невеликий протяг повітря. В якості штучного провітрювання можна мати вентилятори або витяжки. Місцеві витяжні пристрої повинні забезпечувати швидкість руху повітря безпосередньо на місці пайки не менше 0,6 метрів за секунду [27].

6.4 Електробезпека при розробці та експлуатації модуля

В процесі розробки модуля виникла необхідність виконання паяного з'єднання деяких електронних компонентів модуля. У зв'язку з цим необхідно чітко перевірити місця з'єднання, аби вони не торкались сусідніх контактів, щоб уникнути короткого замикання на платі та скорою втратою модулем експлуатаційних характеристик та можливості подальшої роботи.

Оскільки розроблюваний модуль має у своєму складі електричні компоненти та в процесі експлуатації є необхідність використання електричного джерела його живлення, використання модуля дозволено лише у сухому (не вологому) приміщенні. Також, заборонено торкатися корпусу модуля, кнопки вмикання та місця підводу живлення мокрими руками, оскільки це може призвести до потрапляння вологи на струмопровідні елементи модуля та виведення його з ладу.

Необхідно також подбати про герметичність корпусу, аби уникнути потрапляння всередину пилу та струмопровідної рідини, які можуть стати причиною замикання електричних контактів.

У разі перегріву модуля необхідно застосовувати пасивне або активне охолодження пристрою. Незважаючи на те, що в процесі роботи модуля,

компонентів із високими температурами не виявлено, було передбачено пасивне охолодження мікросхеми драйверу двигуна A4988 у вигляді радіатора для того, щоб уникнути можливого перегріву компоненту та самозаймання.

Важливо, також слідкувати за тим, аби з'єднання контактів модуля із зовнішнім джерелом живлення було надійне та міцне для того, щоб опір у місці з'єднання був мінімальним, що дозволить уникнути перегріву та самозаймання.

Для можливості роботи розробленого модуля допускається напруга живлення 12 В постійного струму. Неможливо використовувати розроблений модуль у місцях із підвищеною вологістю повітря, у локаціях із сильними вібраційними процесами та при підвищених або понижених температурах.

При несправності обладнання його слід негайно відключити від мережі, розкрити корпус, з'ясувати причину поломки та постаратись її усунути.

6.5 Техніка безпеки при роботі за комп'ютером

Розробка програмного забезпечення модуля, а також ознайомлення із літературними джерелами потребували користування персональним комп'ютером (ПК). При роботі за ПК слід виконувати декілька простих правил:

- перевірити і відрегулювати освітлення робочого місця;
- приготувати до роботи всі пристосування і пристрої;
- не слід розташовувати екран по відношенню до працівника ближче ніж на 50 сантиметрів;
- сидіти за ПК слід прямо, вільно і не напружуючись. В процесі роботи на ПК необхідно дотримуватися режиму праці та відпочинку;

– перерви слід заповнювати комплексами вправ для очей, вправами і масажем для зняття втоми з плечового поясу і кистей рук; тривалість роботи на ПК без перерв не повинна перевищувати двох годин.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто її мети по розробці макету модуля прокладення шляху мобільної платформи з використанням технології LiDAR. Були розроблені як апаратна, так і програмна частини модуля. Були дотримані всі вимоги технічного завдання, які були успішно виконані.

В результаті виконання аналізу предметної області розглянуті основні принципи застосування LiDAR в автономній робототехніці. Технологія LiDAR використовує лазерний імпульс для збору даних вимірювання відстані до перешкод вимірювань, які потім можна використовувати для створення 3D-моделей, карт об'єктів і навколишнього середовища.

Розглянуті відмінності в принципі роботи трьох різних видів LiDAR: 1D, 2D або 3D.

Проведено аналіз методів визначення відстані до об'єктів (імпульсний, частотний, фазовий) та обрано оптичний метод виміру дистанції до перешкод за допомогою лазера, як найбільш доступний для практичної реалізації в даній роботі.

В результаті виконання другого розділу кваліфікаційної роботи розроблена структурна схема модуля керування мобільним роботом, визначені основні блоки, що складають його конструкцію. Описано формат передачі інформації з LiDAR до блоку збору даних, наведено формат цих даних та дано коротке пояснення основних полів інформаційного кадру.

Для виконання навігації в локальному середовищі обрано метод одночасної навігації і побудови карти SLAM.

Розроблена структурна схема лазерного сканеру LiDAR та описано принцип його роботи. Використання крокового двигуна дало можливість точно позиціонувати сканер та багато разів повторювати операцію сканування без втрати точності встановлення кута. Блок керування задає кут

сканування, який може бути кратний $1/16$ кроку двигуна, що складає $0,1125$ градус. Повний кут обертання не може бути більше 180 градусів, після чого напрям обертання повинен бути змінений на протилежний.

Розроблено алгоритм керування мобільним роботом з використанням технології LiDAR та методу побудови карти місцевості SLAM.

В результаті виконання третього розділу кваліфікаційної роботи розроблено апаратну частину макету на основі датчику VL53L0X. Для визначення відстані використовується технологія TOF (timeofflight), заснована на вимірюванні часу, який витрачає електромагнітна хвиля на подолання відстані між випромінювачем електромагнітної хвилі до перешкоди і повернення її до приймача після її відбиття від перешкоди.

Розроблений 3D макет модуля прокладення шляху мобільного робота LiDAR. 3D модель корпусу спроектована за допомогою САПР PTC CREO. Загалом, вся конструкція складається із чотирьох основних компонентів: основний корпус з коміркою для плати контролеру з усіма компонентами; рухома насадка; вставка для кріплення; кришка.

В результаті виконання четвертого розділу кваліфікаційної роботи розроблена програма для контролеру Arduino Uno, яка написана мовою програмування C++ у середовищі розробки Arduino IDE, яка має два основних етапи роботи: етап початкової ініціалізації підключених модулів та основний робочий цикл.

Для аналізу даних з датчику відстані розроблена програма для персонального комп'ютера мовою програмування C# у середовищі розробки Visual studio 2019. В програмі передбачено графічний інтерфейс для відображення отриманих даних. Основна частина екрану являє собою робоче поле для відображення довжини всіх променів, що були випромінені та відбиті від перешкод навколо скануючого пристрою.

В результаті виконання п'ятого розділу кваліфікаційної роботи проведено експериментальні дослідження аналізу точності визначення відстані до перешкод за допомогою технології LiDAR. Зібрано лабораторний

стенд для проведення експерименту. В результаті, отримані необхідні дані для оцінки точності визначення дистанції, на основі яких були побудовані графіки зміни значень визначення дистанції.

Таким чином, можна зробити висновки що точність позиціонування для малих дистанцій складає 2,82 мм, для більших дистанцій – 7,82 мм. Максимальна відстань, що може бути визначена даним датчиком складає 2 м та похибка її виміру може складати 10 мм, що відповідає технічній документації на даний пристрій.

Можна зазначити, що розроблений пристрій має меншу ціну собівартості на відміну від аналогів, дуже простий в експлуатації та обслуговуванні, забезпечує безвідмовність своєї роботи. Однак, також варто зауважити, що розроблений модуль має вузько направлене функціональне призначення, має окремі вимоги щодо вбудованості, кліматичних умов та умов експлуатації.

Практичне використання результатів роботи дозволить мобільним роботам безперешкодно рухатись, аналізуючи навколишні перешкоди у діапазоні 180 градусів, на локальних підприємствах невеликих масштабів, кладовищах, у просторі домашнього господарства тощо.

Напрямами подальшого удосконалення розробки можуть бути: збільшення швидкості оберту валу крокового двигуна; розширення діапазону вимірювань та збільшення дальності розпізнавання об'єктів; можливості налаштувань параметрів пристрою у інтерактивному режимі у вигляді мобільної або комп'ютерної програми; вдосконалення корпусу пристрою: мініатюризація, та уніфікація комплектуючих пристрою, зменшення їх розмірів та підвищення ефективності роботи; додавання до пристрою автономного джерела живлення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Д'яченко С. Ф. Розробка модуля прокладання шляху мобільної платформи із застосуванням технології LiDAR / С. Ф. Д'яченко, С. П. Новоселов // Матеріали III форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2021. – Харків, ХНУРЕ, 2021. – С. 9-12.
2. ДСТУ 3008–2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Документація. – Введ. 2015-06-22. - К.: Держстандарт України, 2015. - 31 с.
3. Основи наукових досліджень: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396 с.
4. Методичні вказівки з «Розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.В. Косенко, В.В. Євсєєв. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 55 с.
5. Garrido-Jurado, S., Munos-Salinas R., Madrid-Cuevas F. J., Marin-Jimenez M. J. Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion // Pattern Recognition. 2014. Vol. 47, № 6. P. 2280–2292.
6. Урваев И. Н. Навигация мобильного робота на основе методов лазерной дальнометрии // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1. С. 44–51.

7. What is LiDAR technology? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.generationrobots.com/blog/en/what-is-lidar-technology/> – Дата звернення 18.10.2021 р.

8. Gistroy – Портативное оборудование. Лидар. Все что нужно знать. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gistroy.ru/article/lidar/> – Дата звернення 18.10.2021 р..

9. Pedrosa, E., L. Reis, C. M. D. Silva and H. S. Ferreira. Autonomous Navigation with Simultaneous Localization and Mapping in/outdoor. 2020.

10. Google Cartographer ROS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://google-cartographer-ros.readthedocs.io/en/latest/#> – Дата звернення 04.10.2021 р.

11. RTAB-Map, Real-Time Appearance-Based Mapping [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://introlab.github.io/rtabmap/> – Дата звернення: 22.09.2021 г.

12. Building Maps Using Google Cartographer and the OS1 Lidar Sensor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ouster.com/blog/building-maps-using-google-cartographer-and-the-os1-lidar-sensor/> – Дата звернення: 20.09.2021 г.

13. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг.: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.

14. Робоча програма професійної практики для студентів спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійної програми Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва (КІТПВ) / Упоряд. О.О. Чала, В.В. Косенко, І.Ш. Невлюдов – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 24 с.

15. Обзор лазерного дальномера VL53L0X [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://robotchip.ru/obzor-lazernogo-dalnomera-vl53l0x/> – Дата звернення: 10.11.2021 г.

16. Белов А. В. ARDUINO: от азов программирования до создания практических устройств: учебник / А. В. Белов. – Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2018. – 480 с.

17. Песочница: CNC Shield 3.0 – Железо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/xedos/sandbox-cnc-shield-v30-iron> – Дата звернення: 12.11.2021 г.

17. Песочница: CNC Shield 3.0 – Железо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/xedos/sandbox-cnc-shield-v30-iron> – Дата звернення: 12.11.2021 г.

18. DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pololu.com/file/download/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf?file_id=0J450 – Дата звернення: 12.11.2021 г.

19. Советы для начинающих. Arduino и шаговый двигатель Nema 17 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arduino-diy.com/arduino-sovety-dlya-nachinayushchikh-shagovuyu-dvigatel-Nema-17> – Дата звернення: 18.11.2021 г.

20. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 [Электронный ресурс]: постанова Міністерства охорони здоров'я України № 42 від 01.12.99 м. Київ. – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99> – Дата звернення: 1.12.2021 г.

21. Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями [Электронный ресурс]: наказ Міністерства соціальної політики України № 207 від 14.02.2018. – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18> – Дата звернення: 1.12.2021 г.

22. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання [Текст] / упоряд.: Б. В. Дзюндзюк, В. А. Айвазов, Т.Є. Стищенко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.

23. Про затвердження Правил охорони праці під час паяльних робіт [Електронний ресурс]: наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 118 від 06.02.2014. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0513-14> – Дата звернення: 1.12.2021 г.

24. Техника безопасности при пайке и лужении [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rem-serv.com/tehnika-bezopasnosti-pri-paуke-i-luzhenii/> – Дата звернення: 1.12.2021 г.

25. Техника безопасности при пайке и лужении [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.znakcomplect.ru/poleznosti/example/tehnika-bezopasnosti/tehnika-bezopasnosti-pri-paіke-i-luzhenii.html> – Дата звернення: 1.12.2021 г.

26. Инструкция по охране труда при выполнении паяльных работ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ohranatruda.of.by/instruktsiya-ro-okhrane-truda-pri-vypolnenii-payaіnykh-rabot.html> – Дата звернення: 1.12.2021 г.

27. ДБН-В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення / Державні будівельні норми України. – Вид. офіц. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 96 с.

28. Левченко О. Г. Основи охорони праці: навч. посібник / О. Г. Левченко. – Київ : НТУ «КП», 2015. – 198 с.