

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

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

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

(тема)

Навігаційна система мобільного робота на основі скануючого далекоміра

Виконав: студент 2 курсу, гр. КТРСм-19-1

Михайлов А.С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація

та комп'ютерно-інтегровані технології

освітньої програми Комп'ютеризовані

та робототехнічні системи

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Сінотин А.М.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

Невлюдов І.Ш.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Михайлову Анатолію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Навігаційна система мобільного робота на основі скануючого
далекоміра

затверджена наказом по університету від _____ 02.11. 2020 р. № 1509 Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 09.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи _____ Системи визначення відстані.

Системи визначення координат. Сканування навколишнього простору.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

Принципи організації навігаційних систем. Апаратне забезпечення навігаційних систем. Удосконалена концепція побудови архітектури навігаційної системи.

Можливості апаратної реалізації навігаційної системи на базі Arduino.

Удосконалена концепція побудови архітектури навігаційної системи.

Розробка апаратного забезпечення навігаційної системи.

Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення навігаційної системи мобільної платформи. Тестування навігаційної системи мобільної платформи.

Питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 11 с. формату А4

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	04.11.2020 р.	Виконано
2	Огляд та аналіз стану проблеми орієнтації роботів у просторі	06.11.2020 р.	Виконано
3	Розробка апаратної частини систем орієнтації	11.11.2020 р.	Виконано
4	Розробка програмного забезпечення	28.11.2020 р.	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	08.12.2020 р.	Виконано
6	Подання роботи до екзаменаційної комісії	16.12.2020 р.	Виконано

Дата видачі завдання 05.10.2020 р.

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Михайлов А.С.

(прізвище, ініціали)

проф. Сінотін А.М.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 101 с., 4 табл., 58 рис., 3 дод., 19 джерел.

НАВІГАЦІЯ, ARDUINO, УЛЬТРАЗВУКОВІ ДАТЧИКИ, SLAM, МОБІЛЬНІ РОБОТИ

Об'єктом дослідження є мобільний робот.

Предметом дослідження є методи ідентифікації перешкод для мобільних роботів.

Метою атестаційної магістерської роботи є удосконалення методу визначення перешкод для динамічного середовища.

Наукова новизна роботи полягає у отриманні подальшого розвитку, метод триангуляції розрахунків для визначення координат перешкод для мобільних роботів в динамічному середовищі на базі ультразвукових сенсорів.

Методи дослідження: метод триангуляції, метод побудови Human-machine interface на базі graphical user interface елементів, методи побудови робототехнічних систем та їх сенсорних засобів.

Результати: науковий – запропоноване комплексне рішення системи сканування для навігаційної системи мобільного робота, що має певні переваги у порівнянні з існуючими пристроями, побудованими за схожими технологіями; практичний – розроблена апаратна система, алгоритм та програмне забезпечення для систем навігації мобільних роботів.

Сфера застосування – використання у роботизованих мобільних платформах, промислового та побутового призначення. З метою удосконалення та здешевлення конструкції мобільних платформ.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 101 pp., 4 tab., 58 pic., 3 app., 19 sources.

NAVIGATION, ARDUINO, ULTRASONIC SENSORS, SLAM, MOBILE WORKS

The object of research is a mobile robot.

The subject of research is methods of identification of obstacles for mobile robots.

The purpose of the master's thesis is to improve the method of identifying obstacles to a dynamic environment.

The scientific novelty of the work lies in the further development of the method of triangulation of calculations to determine the coordinates of interference for mobile robots in a dynamic environment based on ultrasonic sensors.

Research methods: triangulation method, method of construction of Human-machine interface on the basis of graphical user interface elements, methods of construction of robotic systems and their sensor means.

Result: scientific - to program a complex system design and scanning for a navigation system and a mobile robot, for the translation of singers at home with simple attachments, prompted by similar technologies; practical - a hardware system, an algorithm and programming for systems with their help have been developed.

Scope – launching robotic mobile platforms, industrial taozovongya pobozovongya pobotovongya With the meta of improving and promoting the design of mobile platforms.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначення	8
Вступ	9
1 Аналіз існуючих навігаційних систем в робототехніці	11
1.1 Принципи організації навігаційних систем	11
1.2 Апаратне забезпечення навігаційних систем	14
1.2.1 Ультразвуковий далекомір та принципи їх роботи	14
1.2.2 Гідролокатори	19
1.2.3 Лазерний далекомір види та принципи роботи	21
1.2.4 Недоліки лазерних далекомірів	24
1.2.5 Лідари	25
1.3 Радіодалекомір	26
1.3.1 Основи і принципи радіолокації	26
1.3.2 Основи і принципи радіодалекомірів та технологія MIMO	27
1.4 Програмно-апаратні комплекси навігаційних систем	31
1.4.1 Огляд технологій сканування простору на ринку	31
1.4.2 Аналіз переваг та недоліків	32
1.5 Висновки до 1 розділу	36
2 Розробка архітектури навігаційної системи мобільного робота	38
2.1 Системи навігації та їх місце у системі керування мобільними роботом	38
2.2 Можливості апаратної реалізації навігаційної системи на базі Arduino	43
2.3 Архітектура навігаційної системи мобільного робота	51
2.4 Удосконалена концепція побудови архітектури навігаційної системи	54
2.5 Висновки до 2 розділу	56
3 Розробка апаратно-програмного забезпечення навігаційної системи мобільного робота	57
3.1 Розробка апаратного забезпечення навігаційної системи	57

3.2 Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення навігаційної системи мобільної платформи	62
3.3 Тестування навігаційної системи мобільної платформи	73
3.4 Питання охорони праці та безпеки життєдіяльності	79
3.5 Висновки до 3 розділу	82
Висновки	83
Перелік джерел посилання	85
Додаток А Лістинг коду	88
Додаток Б Демонстраційний матеріал	95
Додаток В Відомість атестаційної роботи	101

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

БЗ – база знань

НПАОП – нормативно-правові акти з охорони праці

ПЕОМ – персональна електронно обчислювальна машина

ПК – персональний комп'ютер

РЛС – радіолокаційний комплекс

AMCL – Adaptive Monte Carlo Localization

HP – High Precision

HRR – High Resolution Radar

MA – Moving Average

MIMO – Multiple-Input Multiple-Output

SLAM – Simultaneous Localization and Mapping

Sonar – SOund Navigation And Ranging

TOF – Time of Flight

ВСТУП

У сучасному світі спостерігається активний прогрес у галузі використання роботизованих систем як у промислових так і побутових цілях. Корпоративні замовники цікавляться багатофункціональними промисловими роботами, масовий покупець створює попит на інтелектуальну побутову техніку таку як роботи пилососи та інше, спецслужби потребують роботів для виконання небезпечних або фізично важких робіт. Одною з умов якою повинні відповідати сучасні роботи впевнено орієнтуватися у незнайомому навколишньому просторі. На даний момент проблемою усіх існуючих систем мобільних апаратів є самостійне переміщення, без втручання зі сторони людини. Самостійне переміщення мобільних платформ зіштовхуються зі складнощами сканування простору та алгоритмами для аналізу отриманих даних, це відбувається через неідеальність систем сканування простору. З економічної точки зору багато компаній не можуть розробляти системи сканування та розробку алгоритмів обробки отриманих даних через велику вхідну вартість. Затрати на обладнання розробку та удосконалення існуючих систем, проривів у цій сфері не було вже тривалий час, а всі розробки в даній сфері представлені передовими компаніями з великим капіталом.

Але є деякі стартапи які займаються розробкою нових рішень та підходів до орієнтації роботів у просторі та реалізації принципів SLAM.

Об'єктом дослідження є мобільний робот.

Предметом дослідження є методи ідентифікації перешкод для мобільних роботів.

Метою атестаційної магістерської роботи є удосконалення методу визначення перешкод для динамічного середовища.

Наукова новизна роботи полягає у отриманні подальшого розвитку, метод триангуляції розрахунків для визначення координат перешкод для мобільних роботів в динамічному середовищі на базі ультразвукових сенсорів.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні завдання:

- дослідити сучасні методи та засоби сканування простору, а також методи визначення дистанції до цілі;
- розробити модель сканування простору та програмне забезпечення для керування системою сканування.
- створити модель розробленої системи;
- провести тестування, оцінити результати та можливі покращення;
- оформити атестаційну роботу відповідно ДСТУ 3008-2015 [1], навчального посібника з дипломного проектування [2], методичних вказівок до випускної кваліфікаційної роботи рівня «Магістр» [3] та положення про протидію академічному плагіату [4].

Під час виконання магістерської атестаційної роботи опубліковано тези доповіді [5].

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ В РОБОТОТЕХНІЦІ

1.1 Принципи організації навігаційних систем

Для успішної навігації в просторі роботизована система повинна вміти будувати маршрут, керувати параметрами руху, правильно інтерпретувати відомості навколишнього середовища які вони отримують від сенсорів та відстеження власних координат.

Технічними проблемами мобільної навігації є:

- роботу необхідно сформувати достатньо точний образ навколишнього середовища;
- при русі робот повинен швидко і точно керувати моторами та позицією коліс
- робот повинен знати своє фактичне місцезнаходження, а воно майже завжди відрізняється від того що зберігається в бортовій системі.

Роботизовані системи в яких намагаються вирішити проблеми та задовольнити потреби людей, так звані інтегральні роботи. Вони мають деяким ступенем інтелектуальності. Загальна схема таких систем зображена на рисунку 1.1.

Згідно з [6], рівень інтелектуальності робота оцінюється по наступним параметрам:

- складність і динамічність зовнішнього середовища;
- різноманітність сприйняття роботом інформації о зовнішньому середовищі;
- гнучкість плануючої і керуючої системи робота;
- ступінь його автономності.



Рисунок 1.1 – Загальна структура інтелектуального робота

Головною ознакою інтелектуальності систем – є наявність розвитої моделі зовнішнього середовища, динамічної бази знань (БЗ), що дозволяє працювати в умовах невизначеності.

Зі схеми на рисунку 1.1 можна бачити що БЗ забезпечує даними систему побудови моделі простору яка у свою чергу повинна отримати дані з сенсорних систем, а невідомі данні до дати до моделі з бази знань.

Також важливими блоками в цій структурі є модулі оцінки ситуації та планування поведінки. Модуль планування поведінки це модуль який на основі модуля аналізу приймає рішення по роботі зовнішніх модулів. А найскладніший модуль це модуль оцінки ситуації оскільки кількість зовнішніх факторів й змінних при роботі у не визначеному середовищі зверх велике.

Важливою частиною мобільних роботизованих систем є сенсорні системи орієнтації роботів у просторі. Системи орієнтації функціонують на основі систем вимірювання дальності до об'єкта – далекоміри.

Далекомір – пристрій, призначений для визначення відстані від спостерігача до об'єкта. Далекміри поділяються на активні та пасивні.

Активні пристрої вимірювання дальності поділяються на:

- звуковий далекомір;
- лазерний далекомір;
- радіодалекомір;
- інших конструкцій.

Пасивні пристрої вимірювання дальності поділяються на:

- пристрої які використовують оптичний паралакс;
- пристрої які використовують зіставлення об'єктів;
- інші конструкції.

Робота далекомірів активного типу засновані на вимірюванні часу яке затрачене на проходження сигналу посланого далекоміром до об'єкта і назад. Швидкість розповсюдження сигналу вважається відомою. Також до активних методів вимірювання відносяться методи фазового зсуву відображеного сигналу.

Вимірювання далекомірів пасивного типу засноване на визначенні висоти h – рівнобедреного трикутника ABC по відомій стороні $AB = l$ і протилежному куту β . Одна з величин зазвичай відома і є постійною (рисунок 1.2).

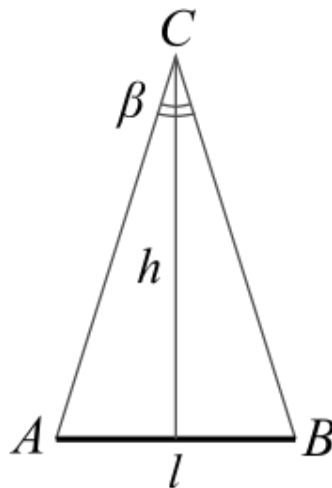


Рисунок 1.2 – Приклад рівнобічного трикутника для визначення відстані пасивними видами далекомірів

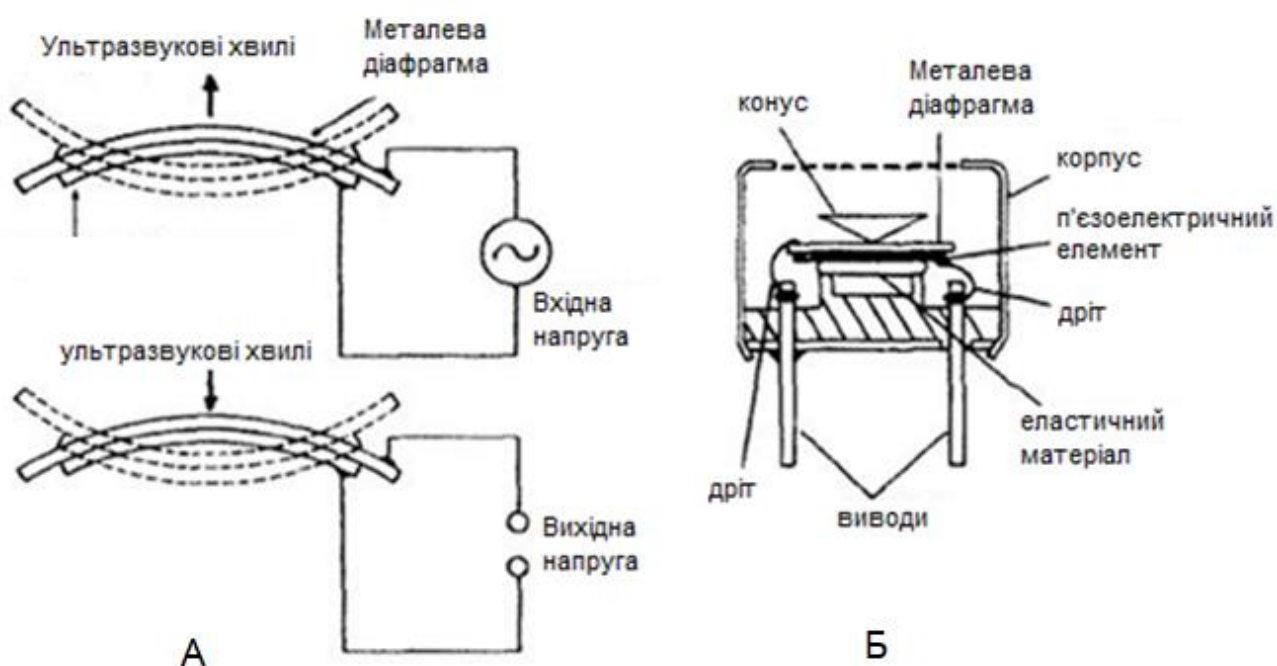
У системах орієнтації застосовуються активні пристрої вимірювання дальності.

1.2 Апаратне забезпечення навігаційних систем

1.2.1 Ультразвуковий далекомір та принципи їх роботи

Ультразвукові далекоміри відносяться до активного типу пристроїв вимірювання відстані до об'єкту й працюють на принципі вимірюванні часу проходження сигналу від датчику до об'єкта і назад. З цього часу прийнявши швидкість звуку за константу можна розрахувати відстань до об'єкта.

Використовуючи перетворювачі на основі п'єзоелектричних або магнітострикційних ефектах можна створити пристрій, що вимірює відстань до об'єктів. На рисунку 1.3 представлена схема влаштування ультразвукового випромінювача/приймача ТСТ40-16R/Т (рисунок 1.4).



А – вхідна напруга приводе до згинання п'єзоелементу що викликає генерацію ультразвукових коливань. Й навпаки в результаті дії ультразвукових хвиль на контактах перетворювача з'являється напруга; Б – ультразвуковий перетворювач з відкритою апертурою для роботи на повітрі

Рисунок 1.3 – П'єзоелектричний ультразвуковий перетворювач



Рисунок 1.4 – Ультразвуковий випромінювач/приймач ТСТ40-16R/Т

Цей випромінювач/приймач є одним з найбільш популярних компонентів для ультразвукових далекомірів на даний час, оскільки дає досить хороші показники по відношенню до його вартості.

Використовуючи ультразвукові перетворювачі виготовляються ультразвукові далекоміри (рисунок 1.5) які складаються з:

- генератора сигналу;
- ультразвукового передатчика;
- ультразвукового приймача;
- обчислювач.

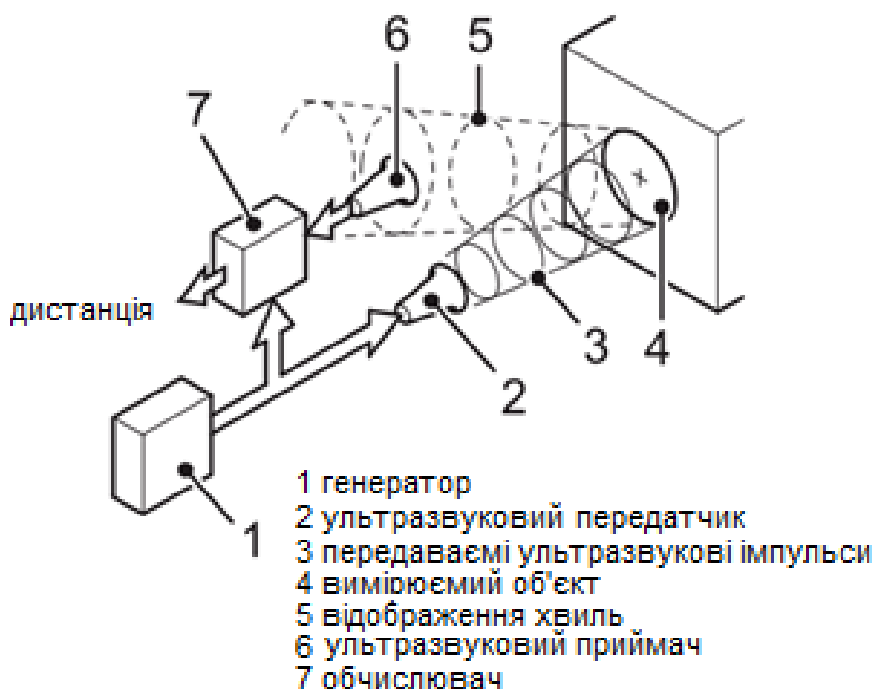


Рисунок 1.5 – Схема ультразвукового далекоміру

При проведенні вимірювання, створюємо електричне коливання за допомогою генератора, яке перетворюючись (наприклад, за допомогою п'єзокристалу) в ультразвукову хвилю, випромінюється в навколишній простір. На рисунку 1.6 вказані сигнали які подаються на передавач U_T – тактовий сигнал початку генерації сигналу, U_R – пакет імпульсів з частотою 40 кГц який подається на випромінювач.

Ця хвиля відбивається від перешкоди і повертається як відлуння в приймач (також можна використовувати п'єзокристал), рисунок 1.6 U_{EC} – сигнал з приймача відбитий від об'єктів у просторі.

Вимірюючи час між посилкою і прийомом нашого t_{EC} (рисунок 1.6) відбитого сигналу і, знаючи швидкість звукової хвилі v , що розповсюджується в даному середовищі (для повітря це величина близько 340 м/с), можемо обчислити відстань до перешкоди.

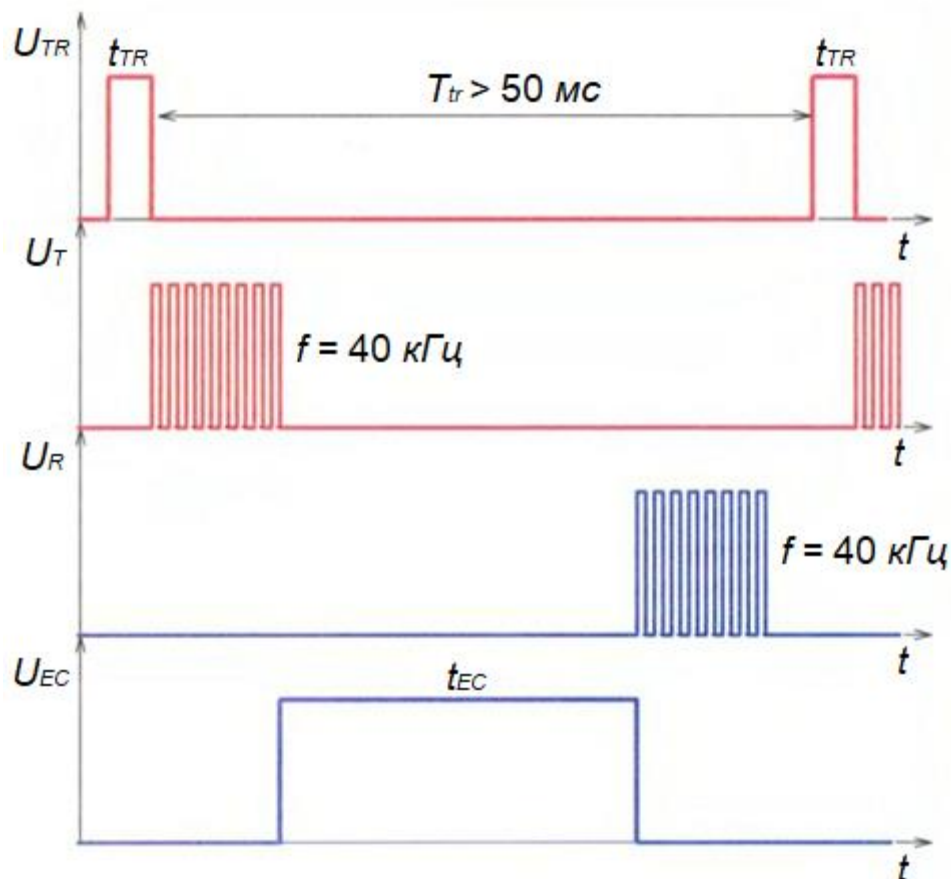


Рисунок 1.6 – Діаграма імпульсів які подаються на випромінювач та зчитуються з приймача

Ультразвукові далекоміри мають ряд недоліків й особливостей у порівнянні з іншими.

Часткові відображення, або як їх називають паразитний луна-сигнал, можуть спотворити результати вимірювань (причиною можуть стати криволінійні або похилі по-відношенню до напрямку випромінювання сигналу поверхні).

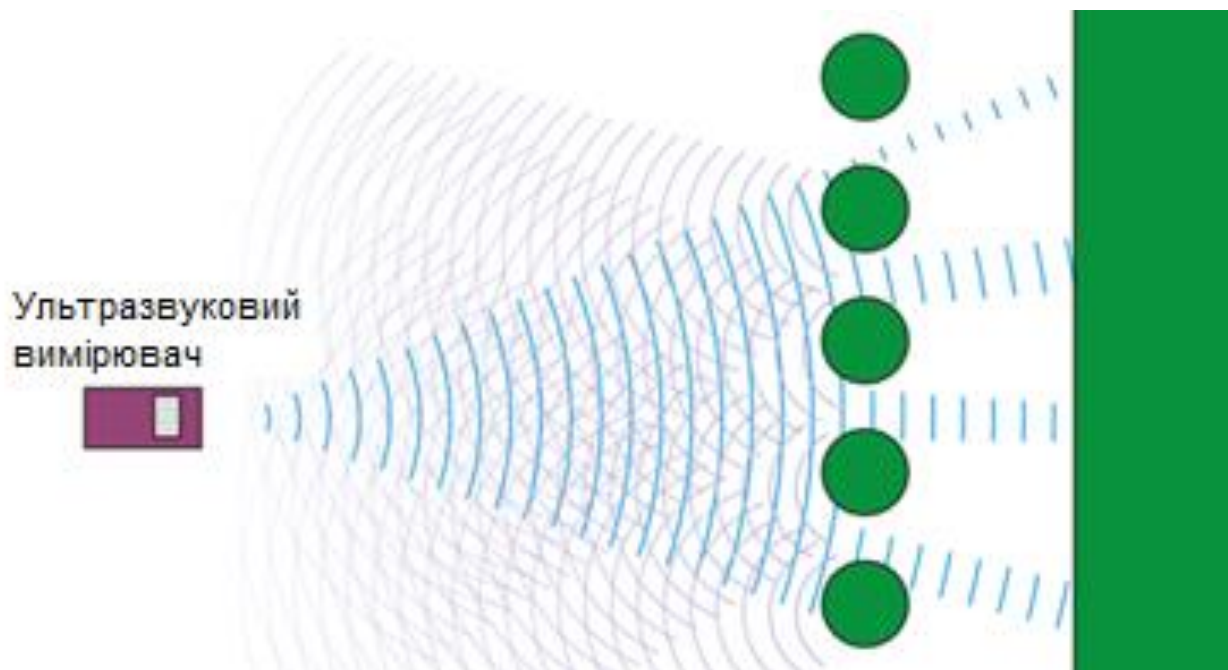


Рисунок 1.7 – Схема звукового перевідбиття хвиль

Вимірювання об'єктів з звукопоглинальних, ізоляційних матеріалів або мають тканинну (вовняну) поверхню можуть привести до неправильних вимірів внаслідок поглинання (ослаблення) сигналу. Домашні тварини можуть стати невидимими для ультразвукового далекоміра.

Чим менше об'єкт, тим меншу відбивну поверхню він має. Це призводить до слабшого відбитого сигналу. Підвищуючи частоту (знижуючи довжину) випромінюваної хвилі можна збільшувати чутливість приладу до більш дрібних об'єктів.

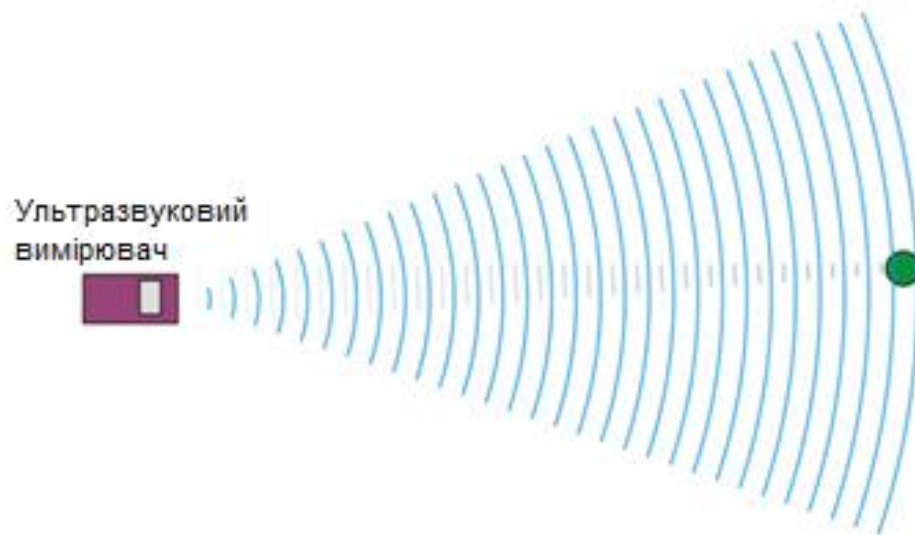


Рисунок 1.8 – Залежність відбитого сигналу від розміру об'єкту

Також треба враховувати що хвилі розповсюджуються не лінійно у кожного далекоміра є діаграма розповсюдження коливань це треба враховувати при проведенні вимірювань.



Рисунок 1.9 – Просторова діаграма випромінювання ультразвукового приймача ТСТ40-16R/Т

При високій вологості (дощ, сніг) сигнал також може частково відбиватися від крапель (сніжинок), що призводить до паразитного луна-сигналу. Сильний вітер може вплинути на поширення хвиль (буквально «здути»), що також призводить до помилки вимірювань.

1.2.2 Гідролокатори

На базі ультразвукових далекомірів будуються більш складні прилади такі як гідролокатори (Sonar, SOund Navigation And Ranging). Гідролокатори – це комплекс для визначення за допомогою акустичних сигналів положення підводних та плавучих об'єктів. Головним елементом гідролокатора є підводний випромінювач потужного акустичного сигналу та чутливий приймач, який реагує навіть на слабкі відображення цього сигналу від об'єктів що знаходяться під водою.

Розроблюються обидва елементи з розрахунком на те щоб їх компоновка в локаторі забезпечувала виявлення напрямку на відбиваючий об'єкт та дистанцію до нього. На рисунку 1.10 відображена схема положення модулів. На підводних та надводних суднах гідролокатори є основний або навіть єдиним засобом збору інформації про ситуацію під поверхнею води.

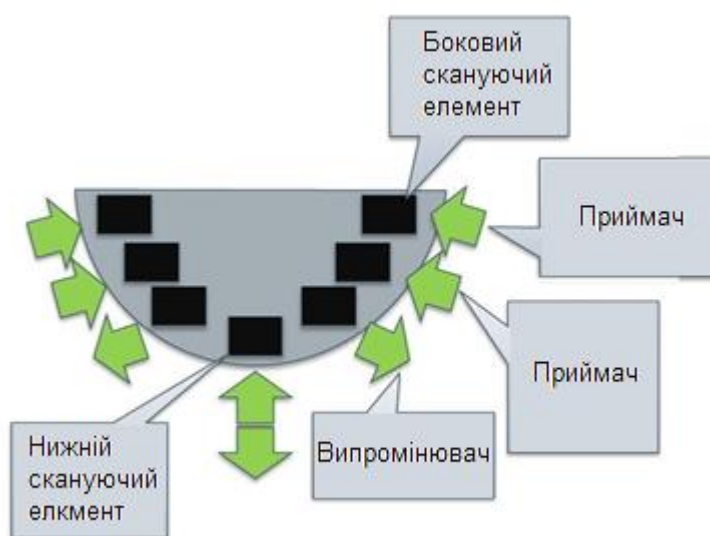


Рисунок 1.10 – Схема положення елементів гідролокатора

Гідролокатори поділяються на два основних типи:

- активні (випромінюючі сигнал та приймаючі його відображення);
- пасивні (приймаючі шуми, які відтворює об'єкт).

Перетворювачі представляє собою пристрій, в котрому електрична енергія перетворюється в механічну і навпаки. Такими перетворювачами є наприклад мікрофони і гучномовці. В гідролокаторі перетворювач виконує обидві функції. Зазвичай він розміщується на дні надводного корабля і в верхній частині корпусу підводного човна.

Перетворювачами служать п'єзоелектричні кристали або використання магнітострикційний елемент наприклад нікелевий стержень з намотаного на нього котушкою індуктивності. На кінці стержня закріплена діафрагма яка контактує з водою.

Набір таких перетворювачів розміщені по колу в горизонтальній площині, кожен з них орієнтований в своєму напрямку. Передатчики одночасно випускають звукові хвилі у всіх напрямках. Але кожен приймач отримує відображений сигнал окремо. На основі отриманих даних можна створити зображення. На рисунку 1.11 приклад роботи сучасного гідролокатора.

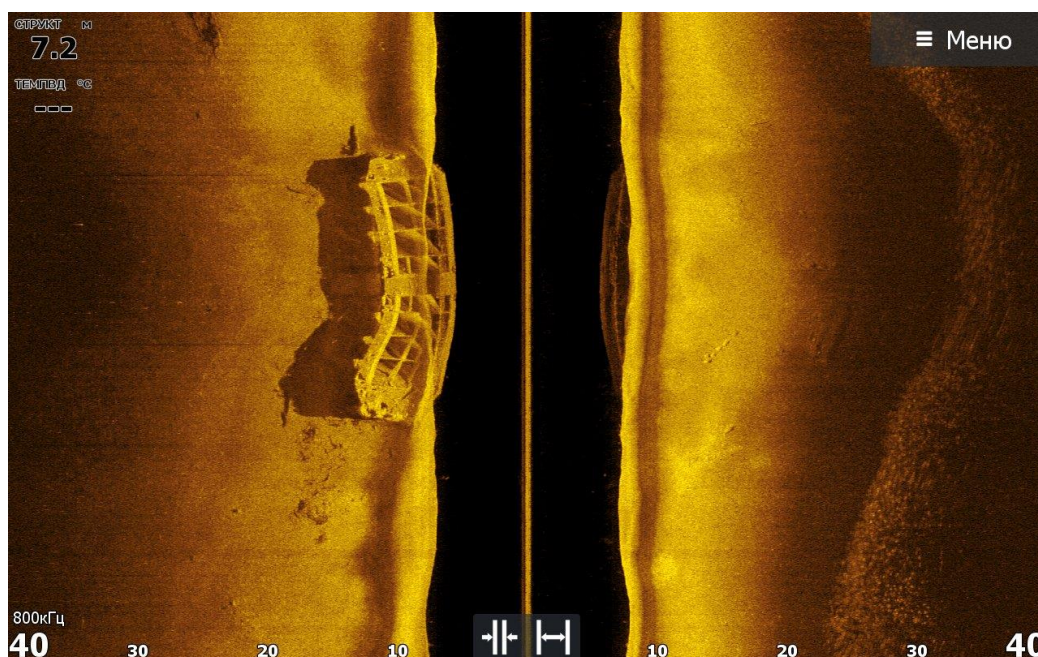


Рисунок 1.11 – Приклад роботи сучасного гідролокатора

1.2.3 Лазерний далекомір види та принципи роботи

Лазерний далекомір – прилад для вимірювання відстаней із застосуванням лазерного променя. Широко застосовується в інженерній геодезії, при топографічній зйомці, у військовій справі, в навігації, в астрономічних дослідженнях, у фотографії. Сучасні лазерні далекоміри в більшості випадків компактні і дозволяють в найкоротші терміни і з великою точністю визначити відстані до об'єктів, що цікавлять.

Лазерні далекоміри розрізняються за принципом дії:

– імпульсні, основані на принципі безпосереднього визначення часу проходження сигналу до об'єкту і назад;

– фазові, основані на різності фаз світлового сигналу.

Імпульсний лазерний далекомір – це пристрій, що складається з імпульсного лазера і детектора випромінювання. Вимірюючи час, який витрачає промінь на шлях до відбивача і назад, і знаючи значення швидкості світла, можна розрахувати відстань між лазером і відображає об'єктом.

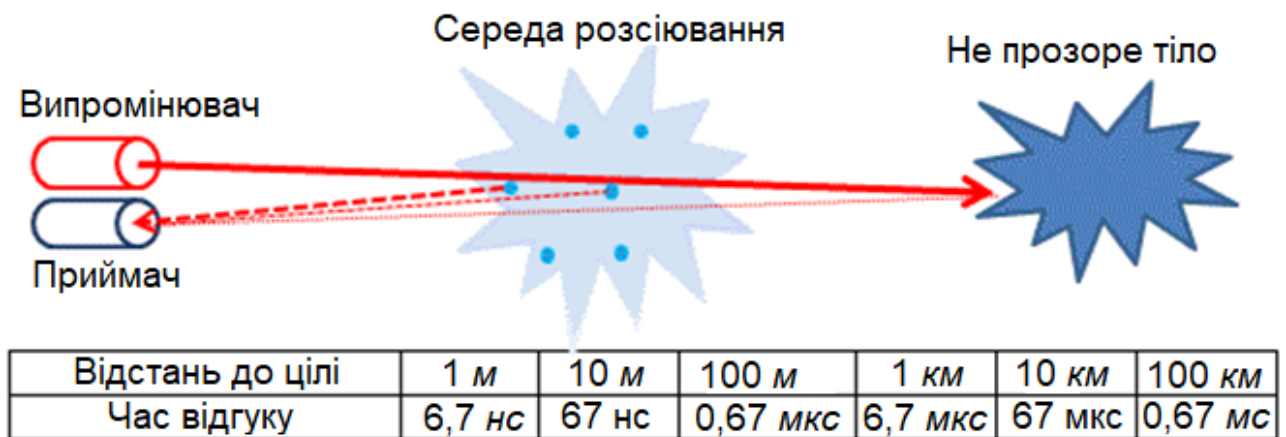


Рисунок 1.12 – Схема імпульсного лазерного далекоміру

Імпульсні лазерні далекоміри розраховують відстань визначенням точного часу проходження імпульсу до цілі і назад. Данна технологія називається Time of Flight (TOF). Простіша схема імпульсного лазерного далекоміру

зображена на рисунку 1.13. Імпульсний лазер генерує багато коротких імпульсів зазвичай в інфрачервоному діапазоні, котрі направляються до цілі. Ці імпульси віддзеркалюються від цілі й повертаються до приймача далекоміру. Швидкість світла може бути точно визначена й розрахована до об'єкту відстань. Вимірювання за допомогою даного принципу зазвичай мають найбільшу дальність, та відповідають високим стандартам безпеки оскільки інтервали між імпульсами не дають змогу накопичити дозу випромінення небезпечну для очей.

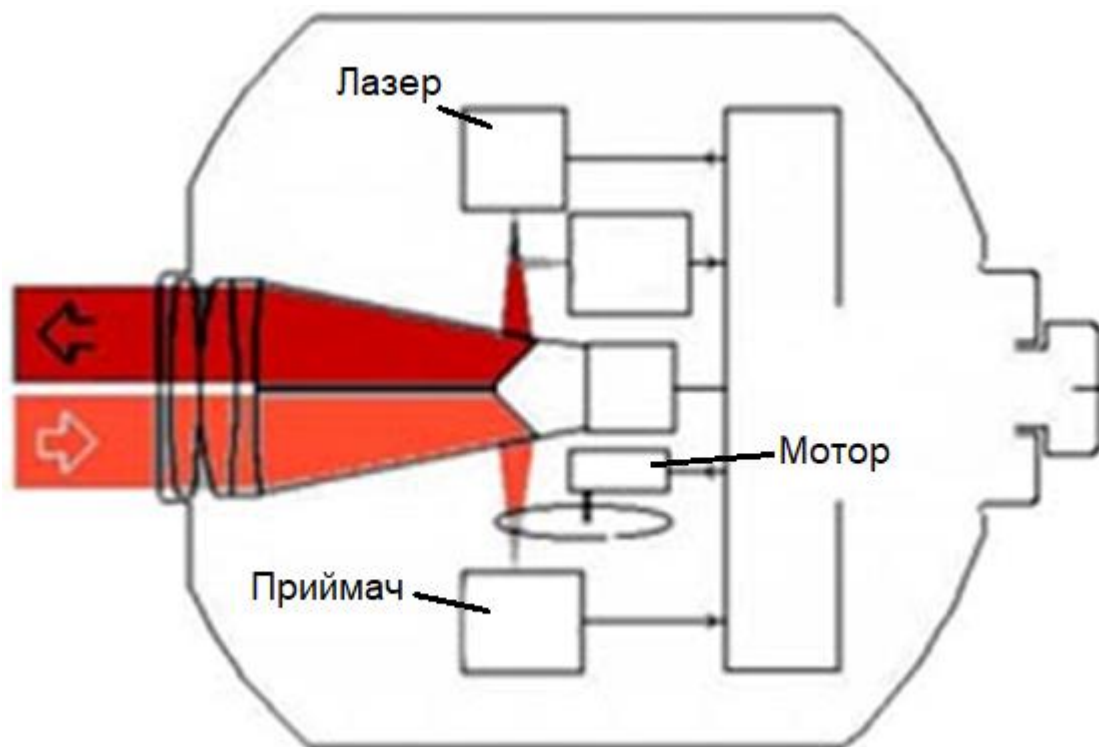


Рисунок 1.13 – Оптична схема імпульсного далекоміру

Кожен імпульс – це одне вимірювання відстані до об'єкту але оскільки кожен секунду можуть бути проведені тисячі вимірювань то за допомогою усереднення результатів досить швидко досягається висока точність вимірювання, на рисунку 1.14 показаний графік усереднення вимірювань

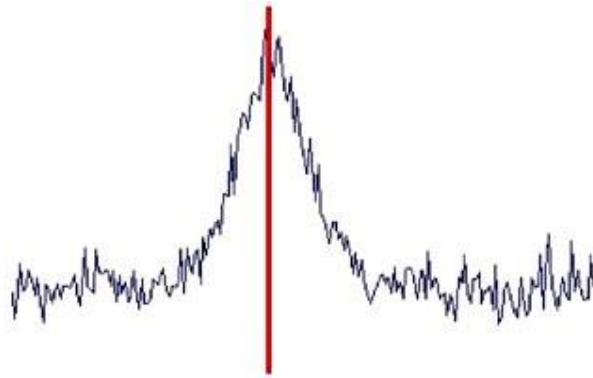


Рисунок 1.14 – Діаграма усереднення імпульсів

Фазові далекоміри – це лазерні далекоміри, засновані на методі порівняння фаз сигналу. Далекомір передає світловий пучок з модуляцією інтенсивності, котрий відбиваються від призми або другої поверхні. Після чого вимірюється різниця між переданим і прийнятим сигналом й визначається відстань. Данна технологія називається НР (High Precision), рисунок 1.15 схема фазового далекоміру.

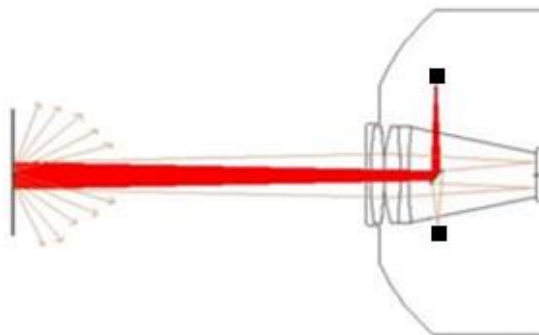


Рисунок 1.15 – Оптична схема фазового далекоміру

В фазових далекомірах лазер працює постійно але його випромінення амплітудно модулюється сигналом певної частоти (зазвичай ця частота менше 500 МГц). Довжина хвилі лазера залишається незмінною й знаходиться в діапазоні від 500 нм до 1100 нм. Відображення від об'єкта фіксується фотоприймачем і його фаза зрівнюється з фазою опорного сигналу від лазера. Наявність затримки при розповсюдженні хвилі створює зсув фаз, котрий і вимірюється далекоміром, схема фазового зсуву рисунок 1.16.



Рисунок 1.16 – Схема фазового зсуву у фазовому далекомірі

Данна технологія є досить точною але є певні особливості щоб вимірювати відстань потрібно щоб дистанція до об'єкта повинна бути менше ніж половина довжини хвилі модулюючого сигналу.

Тобто якщо частота модуляції дорівнює 10 МГц , то вимірювана дистанція може бути не більш ніж 15 м і при зміні відстані від 0 м до 15 м різниця фаз буде змінюватись від 0° до 360° . Зміна фази на 1 градус в такому випадку відповідає переміщенню об'єкта приблизно на 4 см .

Якщо у вимірювану відстань вміщується період або більше виникає неоднозначність й неможливість визначити яка кількість періодів вміщується в вимірювану відстань. Для вирішення такого цієї неоднозначності простіше за все використовувати дві частоти модуляції. На низькій частоті приблизно визначати відстань до об'єкта (максимальна відстань все одно обмежена), на високій частоті визначати відстань з потрібною точністю. При використанні високої частоти точність вимірювання значно вище.

1.2.4 Недоліки лазерних далекомірів

В даних системах вимірювання відстані не так багато недоліків. Основними недоліками даних систем це погані погодні умови які можуть

зменшити інтенсивність лазерного потоку. Неможливість роботи з прозорими об'єктами які мають достатню прозорість для проходження променя через об'єкт. Виникнення похибок у вимірах можливо при потраплянні променя на дзеркальні поверхні та на поверхні з високим коефіцієнтом поглинання світла. Останніх не так багато у навколишньому середовищі.

1.2.5 Лідари

Лідари – це технологія отримання і обробки інформації про віддалених об'єктів за допомогою активних оптичних систем, які використовують явища поглинання і розсіювання світла в оптично прозорому середовищі. Лідар як пристрій являє собою як мінімум активний далекомір оптичного діапазона.

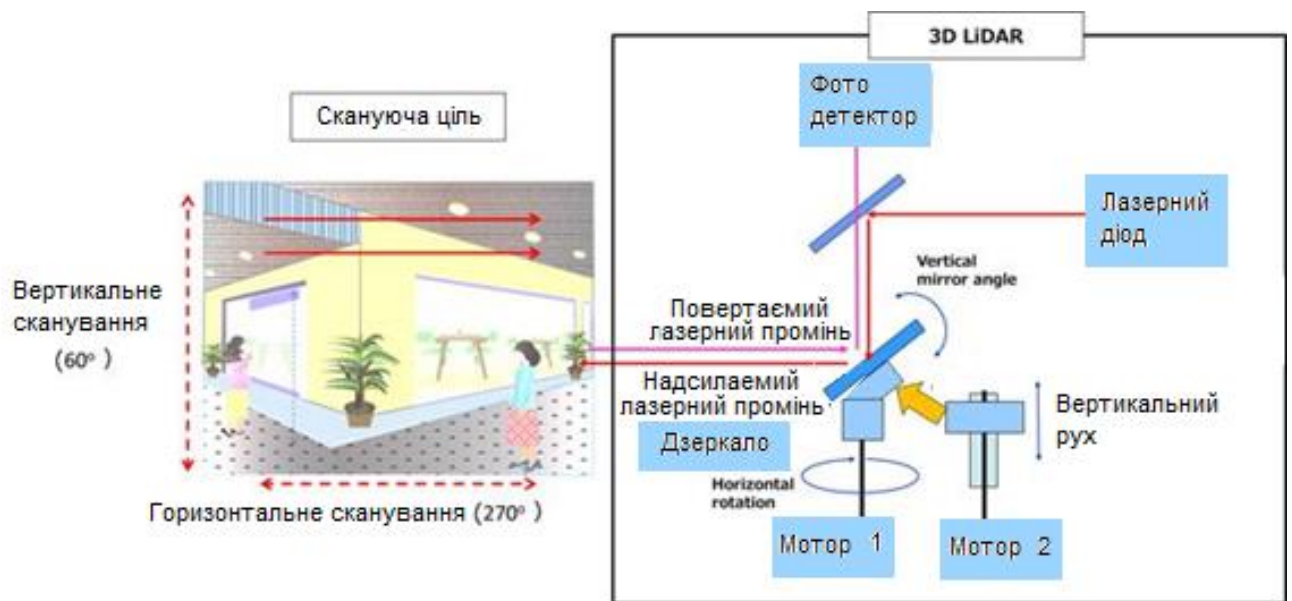


Рисунок 1.17 – Схема одного з лідарів Panasonic

Одномірний лідар це лазерний далекомір, для того щоб зробити двомірний та тривимірний лідари, потрібно додати систему відхилення променя лазера. Після додавання обладнання для забезпечення ступеня свободи, потрібно додати до програмного забезпечення алгоритм обходу простору променем лазера.

1.3 Радіодалекомір

1.3.1 Основи і принципи радіолокації

Радіолокація – це область науки і техніки, яка об'єднує методи і засоби локації (виявлення і вимірювання координат) і визначення властивостей різних об'єктів за допомогою радіохвиль.

Основними закономірностями розповсюдження радіохвиль, котрі дозволяють виявити об'єкти і виміряти координати і параметри їх руху, є такі:

- постійність швидкості і прямолінійність розповсюдження радіохвиль в однорідному середовищі (при проведенні інженерних розрахунків швидкість розповсюдження радіохвиль приймають рівними $3 \cdot 10^8$ м/с);

- можливість радіохвиль відбиватися від різноманітних областей простору, електричні та магнітні параметри яких відрізняються від аналогічних параметрів середовища;

- зміна частоти прийнятого сигналу по відношенню до частоти надісланого сигналу при відносному руху джерела випромінення і приймача радіолокаційного сигналу (ефект Доплера рисунок 1.18) [12].

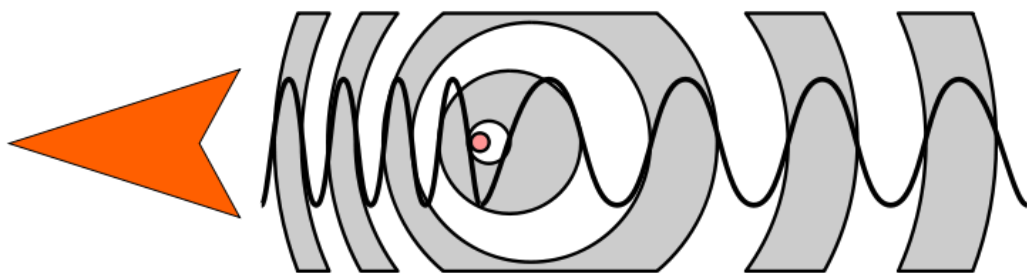


Рисунок 1.18 – Зміна відбитої частоти при переміщенні об'єкту, ефект Доплера

Джерелом інформації про ціль в радіолокації служить радіолокаційний сигнал. Залежно від способів формування радіолокаційного сигналу розрізняють наступні типи РЛС, або методи радіолокації.

Активна радіолокація, при цьому методі за допомогою РЛС формується радіосигнал, який випромінюється в напрямку цілі. В результаті взаємодії сигналу з метою створення відбитого сигналу, який надходить на вхід приймача РЛС і потім обробляється в цьому пристрої з метою отримання інформації про спостерігається мети.

Активна радіолокація з активною відповіддю. Як і в попередньому випадку, за допомогою РЛС формується радіосигнал, який випромінюється в напрямку цілі. Однак радіолокаційний сигнал формується не в результаті відображення випромінюваних електромагнітних коливань об'єктом, а за рахунок перевипромінювання їх за допомогою спеціального пристрою, іменованого відповідачем-ретранслятором. Даний метод широко використовується в системах управління повітряним рухом, а також в радіонавігаційних системах.

Напівактивна радіолокація, при використанні даного методу радіолокаційний сигнал формується, як при активному способі шляхом відображення електромагнітних коливань від об'єкту. Але передавальний пристрій (передавач) і пристрій, що приймає відбиті сигнали (приймач), рознесені в просторі. Даний метод, наприклад, широко використовується при наведенні керованих ракет класу «повітря - повітря» на повітряні цілі.

Пасивна радіолокація, заснований на прийомі власного радіовипромінювання цілей. Відмінною особливістю таких систем є наявність в їх складі тільки приймального пристрою. Відсутність необхідності формування скануючих коливання робить такі системи стійкими до похибок.

1.3.2 Основи і принципи радіодалекомірів та технологія МІМО

Радіодалекомір – це пристрій для визначення відстані безконтактним методом за допомогою радіохвиль, технічно реалізоване у вигляді автономного приладу або в складі радіо далекомірної системи. Радіодалекомір працює на основі принципів радіолокації.

Радіодалекоміри у сучасному світі використовуються досить мало оскільки для лінійного визначення дальності до об'єкту більше підходять лазерні та оптичні далекоміри. Данна технологія активно використовуються на виробництвах та як основа для HRR (High Resolution Radar) – радарі високого розрізняювальної здатності. Технологія HRR у свою чергу заснована на технології MIMO (Multiple-input multiple-output) – дана технологія представляє собою реалізацію нового радіолокаційного методу, система багатьох передатчиків та багатьох приймачів (рисунок 1.19).

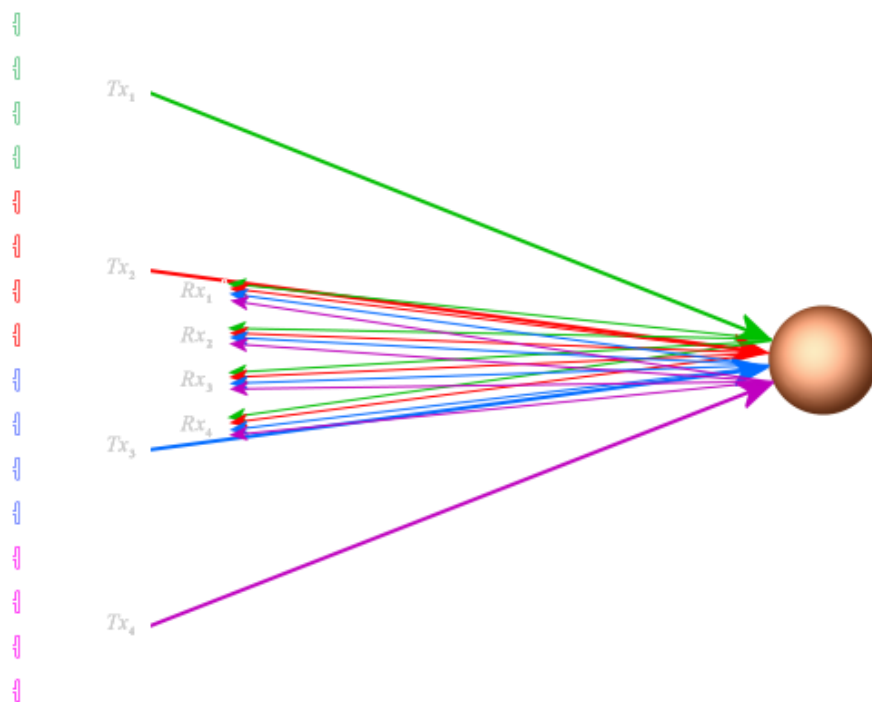


Рисунок 1.19 – Принцип роботи радіолокаційної системи на основі технології MIMO

Кожна передаюча антена випромінює сигнал довільної форми незалежно від інших передаючих антен. Кожна прийомна антена може приймати ці сигнали. Завдяки відмінностям в формі сигналу кожен прийняти сигнал може бути асоційованим з відповідним йому передатчиком. На основі цього на основі антенного поля з N передатчиків та K приймачів шляхом математичної обробки можливо отримати віртуальне поле з $K \cdot N$ із збільшеною апертурою.

Використання технології MIMO необхідне для компактних систем оскільки це дає змогу:

- зменшити фізичні розміри антен приймачів та передатчиків;
- відмовитись від використання рухомих елементів у конструкції радару.

Радари працюють по схожим принципам як і лазерні далекоміри окрім того що лазер замінив антена випромінювач. А саме неперервне випромінення й аналіз відбитих коливань. Проста у реалізації, добре підходить для визначення кутової швидкості об'єкта. Створює перешкоди при визначені відстані до об'єкта. Найбільш розповсюджений метод – це фазова модуляція.

Імпульсний метод радіолокації генерація коливань у вигляді коротких імпульсів за якими йдуть довгі паузи. Паузи вибираються від дальності роботи радару. Даний метод дає можливість розділити між собою зондуючий імпульс і ехо-сигнал. Та визначити дальність до об'єкту по часу його руху до цілі та назад. Також існує багато видів модуляції випромінюваного сигналу для різних цілей та форми цих сигналів.

В останні роки радари для систем автопілотів дуже прогресували і їх активно почали використовувати. Оскільки радіодалекоміри мають багато переваг перед іншими типами систем вимірювання дальності та систем орієнтування. Основними проблемами були це невелика дальність їх роботи зумовленими малою потужністю випромінювача та роздільною здатністю.

Одним з основних вимог до подібних систем було відсутність рухомих елементів при цьому радари повинні працювати в діапазоні та їх роздільна здатність повинна бути достатньою для розпізнання об'єктів які знаходяться поруч один з одним (рисунок 1.20).

Для цього використовуються декілька технологій. Технологія MIMO яка дає змогу зміною потужності на вмикаємих антенах змінювати напрямок пучка радіохвиль (рисунок 1.21).

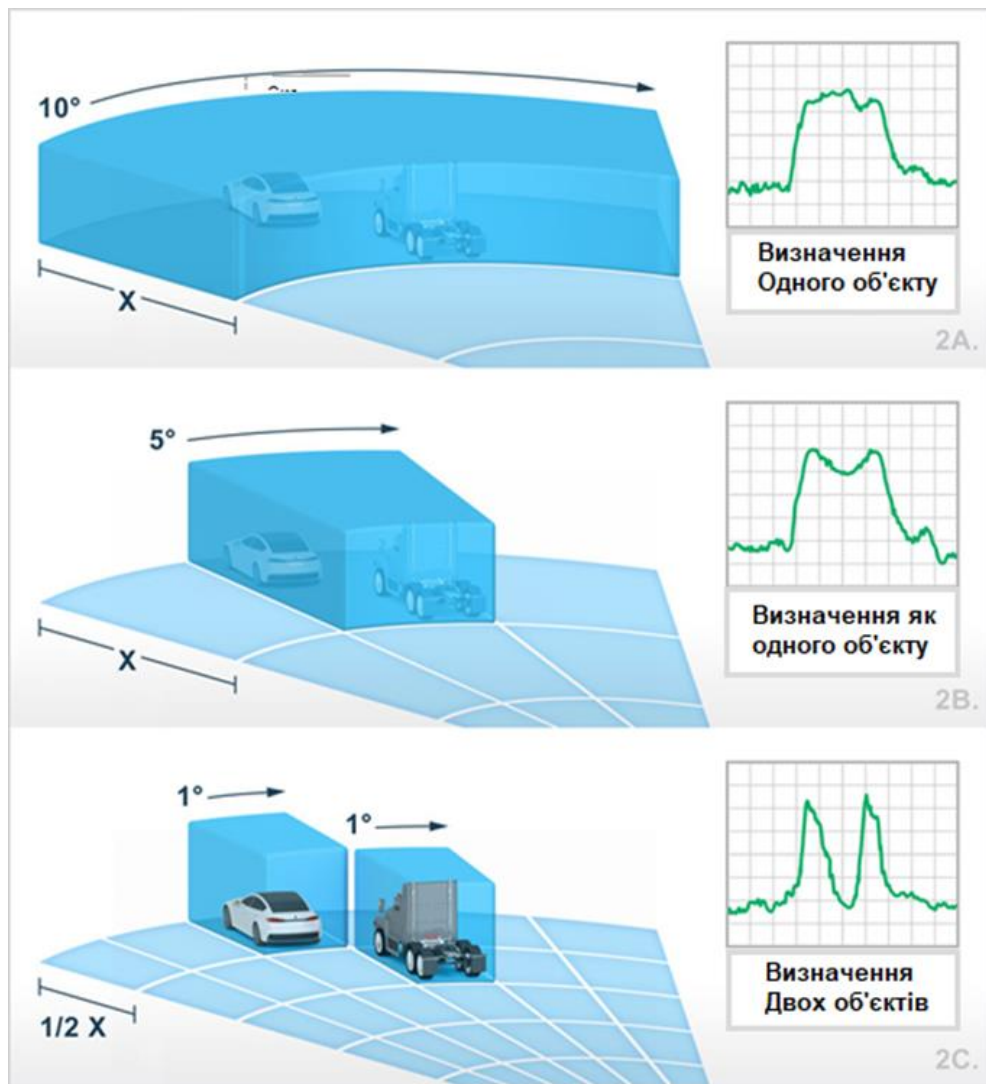


Рисунок 1.20 – Приклади різної роздільної здатності радарів в системах автопілотів

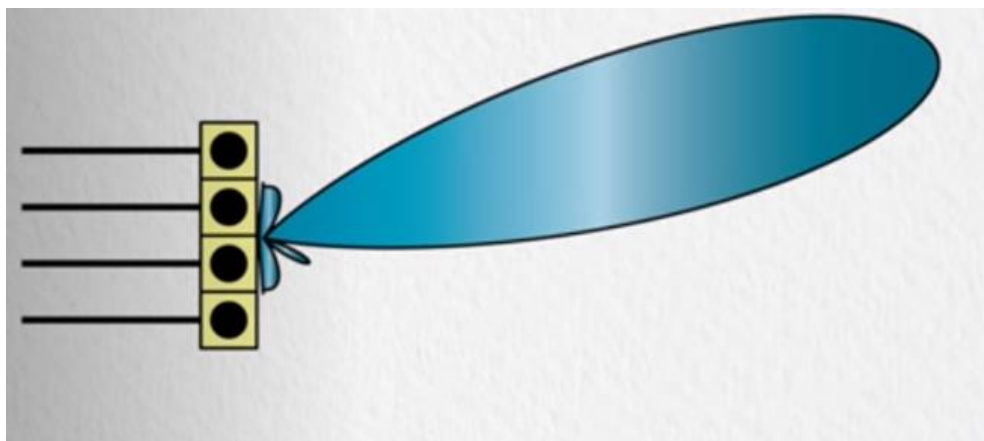


Рисунок 1.21 – Відхилення випромінюваного сигналу

А також при конструкції МІМО в якій приймачі достатньо рознесені можливий додатковий розрахунок кута відхилення. Завдяки різності в часі прийому сигналу. Найкращі результати показувала компанія «NXP» порівняння лідару з радаром високої роздільної здатності (рисунок 1.22).

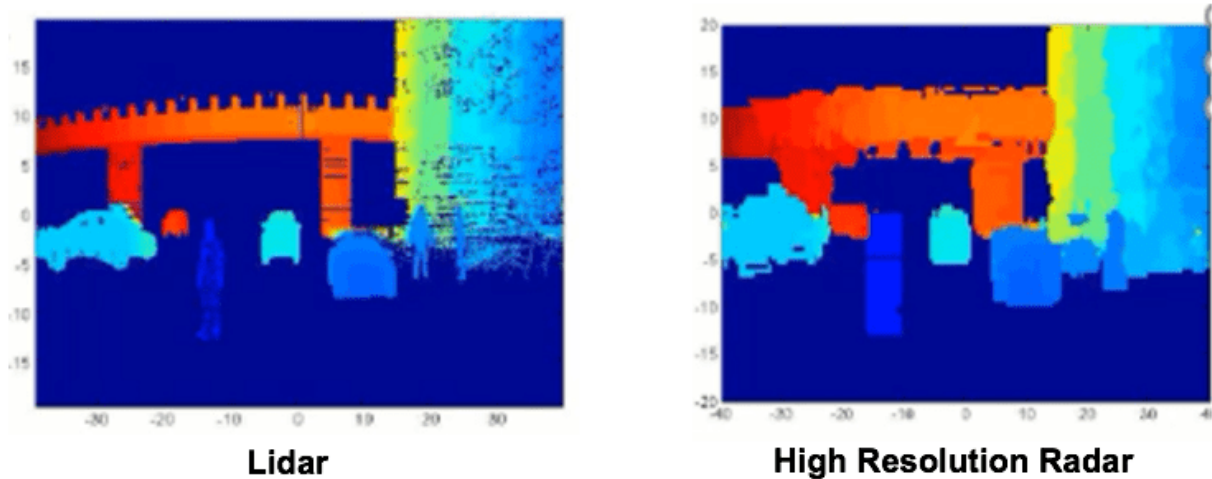


Рисунок 1.22 – Порівняння роботи лідару та радару

1.4 Програмно-апаратні комплекси навігаційних систем

1.4.1 Огляд технологій сканування простору на ринку

У попередньому розділі були розглянуті пристрої визначення дистанції до цілі та короткий опис систем сканування простору на їх основі. Основними системи сканування простору на даний час є:

- радари;
- лідари;
- ультразвукові системи;
- камери;
- інфрачервоні камери.

Про використання камер більш детально описувати не будемо оскільки вони не є системами сканування простору. А картинка з них лише оброблюється за спеціальними алгоритмами для отримання даних про навколишнє середовище.

За даними досліджень на сьогоднішній час лідерами ринку сенсорів для систем автопілотів займають радары та камери, потім ідуть ультразвукові системи та датчики а останніми є лидари (рисунок 1.23).

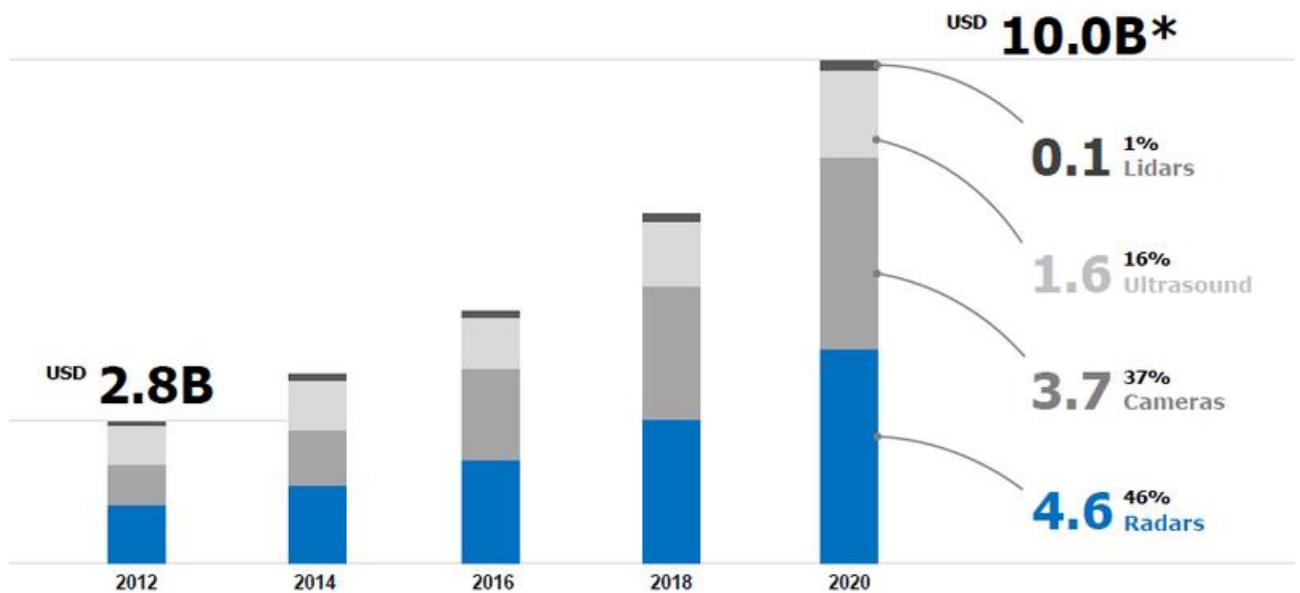


Рисунок 1.23 – Результати досліджень по долі ринку сенсорів основних видів сенсорів

1.4.2 Аналіз переваг та недоліків

Почнемо з радарів як лідерів на ринку по використанню. Виходячи з фізичних властивостей та принципах на яких побудовані радары для сканування простору які використовуються у більшій частині в автопілотах.

Перевагами даної технології є:

- стабільність при роботі радарів в погані погодні умови, умови поганої видимості, не важливий колір об'єкту та освітлення;
- гарна роздільна здатність по дальності та швидкості, доступне пряме визначення дальності та швидкості з гарною точністю;
- швидкодія обробки даних (від 1/20 с до 1/50 с) обробка даних, що важливо на великих швидкостях пересування;
- можливість швидкого накоплення та аналізу інформації за рахунок не великого об'єму даних.

До недоліків даної технології можна віднести:

- не дешевше, а частіше дорожче камер, дорожче 1000 доларів за дальній радар;
- погана роздільна здатність по куту (радару важко розрізнити рух поперек);
- немає прямої можливості класифікації перешкод або оцінки їх габаритів;
- залежність дальності від кута обзору (чим більше дальність радару тим менше кут огляду і навпаки).

На ринку динним типом сенсорів займаються великі компанії і поріг входу дуже великий. Приватних компаній дуже мало майже немає оскільки обладнання для проведення розробки та проведення дослідів дуже дороге. Лідерами ринку є компанії NXP, Bosch Global, Delphi, Smartmicro. Розвиток радарів поволі іде і вони удосконалюються але це займає десятки років.

Наступну долю ринку займають камери. Вони не відносяться до скануючих сенсорів оскільки тільки записують картинку навколишнього світу, а всю іншу роботу по вилученню даних з відео виконують комп'ютерні алгоритми та нейронні мережі (рисунок 1.24).



Рисунок 1.24 – Зображення модулю радару компанії BOSCH

До переваг можна віднести:

- тільки камери можуть розрізняти дорожню розмітку;
- у камер гарна роздільна здатність по куту, камера добре розділяє об'єкти які рухаються поперек руху автомобіля чи робота;
- по картинці з камери можна розрізнити об'єкт (доросла людина, дитина, тварина, легкова машина або вантажівка та ін.);
- камери доступні по ціні.

До недоліків камер відносяться:

- у камер погана роздільна здатність по дальності, вони погано знаходять відстань до об'єкту;
- неможливість прямого та точного визначення швидкості об'єкта;
- залежні від погодних умов та кольорів об'єктів;
- обробка даних з камер займає час.

На ринку дуже багато як стартапів так і великих компаній оскільки все зводиться до алгоритмів обробки зображення та швидкості цього процесу. Поріг входу досить низький, але великих проривів не відбувалося. Приклад обробки зображення камери, рисунок 1.25.

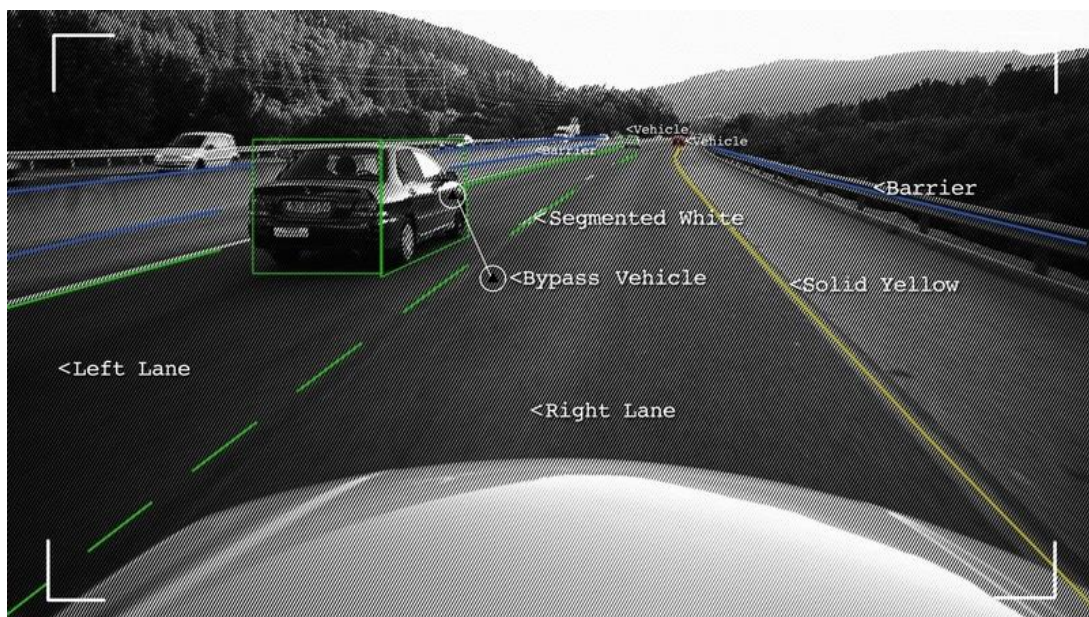


Рисунок 1.25 – Приклад обробки картинки з камери алгоритмами

Третіми типами датчиків які займають значну долю ринку є ультразвукові датчики. Системи сканування простору на даній технології не будуються, в основному використовуються як датчики визначення відстані у близькому просторі.

До переваг відносяться:

- дуже дешева вартість систем подібного типу;
- датчики легко з'єднувати в систему;
- технологія відпрацьована навіть для домашнього використання.

До недоліків відносяться:

- обмежена дальність до одиниць метрів;
- немає можливості зрозуміти кут до об'єкту або прямо виміряти швидкість;
- низька достовірність даних.

На ринку багато обладнання невідомих брендів, розробників мало бажаючих інвестувати в проекти не багато. Але є компанія «Topsens» розробки яких в області ультразвуку почали копіювати інші компанії при розробці радарів.

Найменшу долю ринку замаюють лідари – сильними сторонами камер є слабкості лідарів.

Плюсами даної технології є: бачить все навколо себе з високою точністю. Окрім них так не одна технологія не може;

До недоліків відносяться:

- скануючий лідар бачить дорогу одну і ту ж його частину два-три рази в секунду чого недостатньо;
- висока вартість;
- лідари крихкі;
- чутливість до складних погодних умов.

На ринку є декілька великих компанії які розробляють лідари. Та декілька компаній стартапів. Доля ринку дуже мала і навряд без великих вливань коштів в удосконалень технології. При зниженні вартості й відміні від рухомих частин. Точність радарів падає в десятки разів. Лідари використовується в основному

при роботі роботів, які працюють на невеликих швидкостях у нормальних навколишніх умовах. Приклад зовнішнього вигляду лідарів зображено на рисунку 1.26.



Рисунок 1.26 – Приклад лідарів компанії Velodyne

1.5 Висновки до розділу 1

На основі розглянутих технологій було прийнято рішення провести дослідження в області ультразвукових далекомірів та побудови більш складних систем на основі них. Даний вибір було зроблено засновуючись на інформації про те що для проведення досліджень з технологією радарів потрібно багато коштів і обладнання оскільки великі компанії наблизилися до меж технологій радарів.

Дослідження радарів набагато дешевше але система лідарів наблизилась до свого максимуму. Для автопілотів лідари надто не поміхо стійкі й недостатня швидкодія. А для мобільних роботів їх можливостей більш ніж достатньо.

Ультразвукові технології отримав свій розвиток у системах гідролокації,

за рахунок особливостей розповсюдження звуку в рідинах. Але в повітрі дана технологія не отримала свого розвитку. Окремі компанії займаються розробкою ультразвукових систем.

Тому вхід в ультразвукові системи локації має малий ліміт входу та перспективи для удосконалення та розвитку технології.

2 РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

2.1 Системи навігації та їх місце у системі керування мобільними роботом

Сучасна робототехніка почала свій стрімкий розвиток у 70-х роках. В той час з'явилися перші моделі, котрі ефективно виконували функції людини.

З часом з'явилися системи адаптивної робототехніки – мобільні роботи на платформі нового покоління. Удосконалені модифікації могли розраховувати оптимальний маршрут руху та провести корективи траєкторії руху.

Мобільні роботи з автономними системами навігації могли орієнтуватися в просторі за рахунок змонтованих датчиків сканування. Спеціальна обчислювальна техніка приймала сигнали, на основі яких приймалося рішення по шляху слідування по маршруту. Навігаційна система виконувала роль координатора руху. З часом з'явилися більш сучасні системи навігації роботів з використанням модернізованих датчиків, гіроскопів, супутникової навігації, лазерів та ультразвукових пристроїв.

Основними видами автономної навігації є:

- глобального типу, визначає абсолютні координати робота при переміщенні робота по великій площі;
- локального призначення, виконує фіксацію координат в відповідності з заданими параметрами, виконує визначення функції в межах заздалегідь відомої зони;
- персонального типу, виконується позиціонування з урахуванням прилеглих об'єктів.

Автономна навігація мобільних роботів – одна з ключових задач в мобільній робототехніці: мобільний робот за визначенням повинен переміщуватися в просторі. Розробникам, дослідникам і користувачам цих роботів хочеться, щоб навігація відбувалася в автоматичному режимі. Звісно це

потрібно не завжди. Але наприклад якщо річ іде про масштабну пошукову пошуково-рятувальну операцію, коли працюють десятки або навіть сотні дронів. Знайти сотню кваліфікованих спеціалістів, котрі можуть в режимі реального часу керувати одночасно дронами, проблематично.

Половина наукових робіт по робототехніці пов'язана з саме з питаннями навігації. Іноді теми наукових робіт і досліджень на перший погляд не мають нічого спільного з навігацією, наприклад розпізнання пішохода на дорозі. Безпілотній системі потрібно розпізнати пішохода по відео. Коли розпізнали пішохода потрібно скоректувати навігаційні алгоритми.

Можна виділити чотири основні класи навігаційних задач: локалізація, картування, планування та слідування по траєкторії. Локалізація – це задача, яка формується наступним чином: у нас є мобільний робот, відома карта навколишнього простору але не відомо, де знаходиться робот. При цьому у мобільного робота є радари, лазерні далекоміри, відеокамери. За допомогою інформації отриманої з цих датчиків, робот повинен визначити своє місцезнаходження, методом відношення отриманих даних до відомої карти. Якщо цю задачу вирішувати на протязі якогось проміжку часу, то отримаємо слід точок – траєкторія руху.

Зворотна задача – це картування, коли навпаки знаємо своє місцезнаходження в світовій системі координат, наприклад по GPS. Локалізацію робити не потрібно але нічого не відомо про навколишнє середовище. Потрібно за допомогою тих же датчиків які використовували для локалізації побудувати модель навколишнього середовища. Нанести на карту всі об'єкти навколишнього середовища, бажано з абсолютному розмірі щоб було відомі розміри та дистанції.

Складніше за все коли ці задача об'єднуються. Бувають ситуації, коли у нас немає ні точного положення, ні карти місцевості. Приклад такої ситуації це робот який веде пошукову операцію в зруйнованій будівлі, йому потрібно знайти людей в зруйнованій будівлі. Системи GPS в товщі бетону не працює, мапи будівлі або немає, або вже не актуальна через руйнування. Цю задачу вирішують

клас алгоритмів так звані реактивні алгоритми. В цьому випадку повинні враховувати відсутність мапи рухаємось, по прямій оминаючи перешкоди. Але такий спосіб руху не буде досить ефективним, тому потрібна локалізація, картування та планування. Нам потрібно вирішувати задачі картування та локалізації – на англ. це *simultaneous localization and mapping (SLAM)*, приклад побудови карти на основі SLAM на рисунку 2.1.

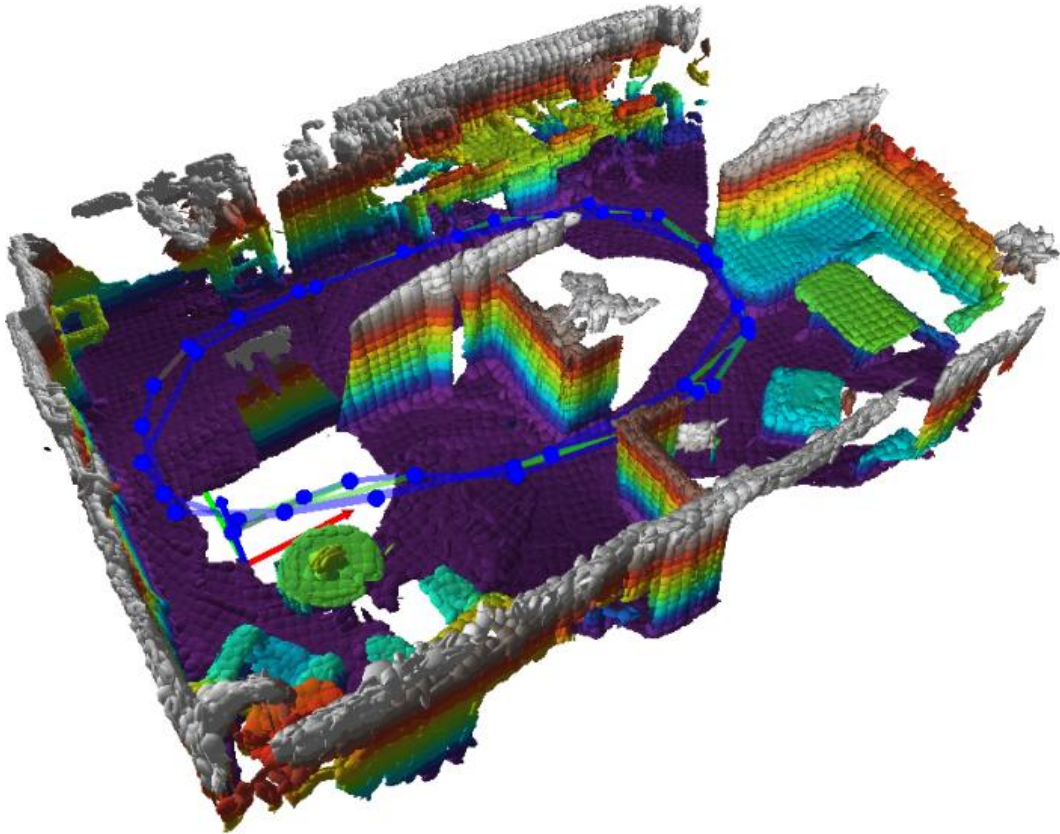


Рисунок 2.1 – Приклад моделі кімнати побудованої по SLAM з прокладеним маршрутом

Найбільш актуальний напрям є SLAM-задачі в контексті відео потоку, так звана – *visual-based simultaneous localization and mapping* – одночасне картування та локалізація по відео потоку, коли у нас із датчиків доступні тільки камери, по яким повинні створити модель світу, зрозуміти, де знаходимося і як рухатись (рисунок 2.2). На великий автомобіль можливо встановити багато різних датчиків, оскільки він великий та може витримати велику масу. Для малих дронів

застосування великих комплексів неможливе, а використання малих, енергоєфективних камер кращий варіант. Другою причиною чому задача аналізу відеосигналу є цікавою це те що людина сприймає багато інформації за допомогою зору.

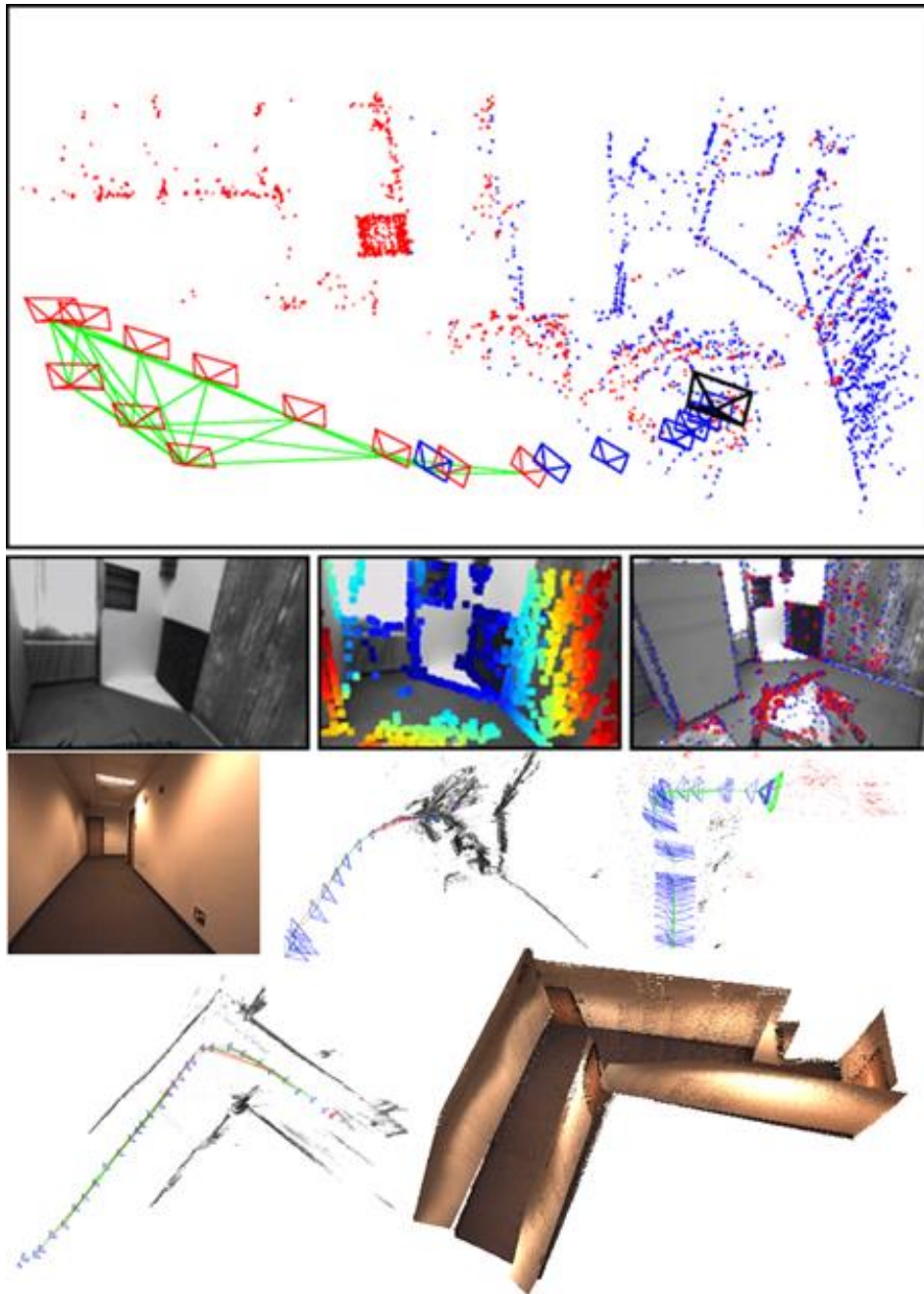


Рисунок 2.2 – Приклад SLAM на основі відео потоку

Наступний клас задач – задачі планування траєкторії. Дивимось зверху на карту, на карті є заштриховані перешкоди. Все інше – це чистий лист, тобто

простір який можна пройти. Нам потрібно просто побудувати лінію, яка поєднує дві точки. Зазвичай задача зводиться до задачі пошуку шляху по графіку. Нескінченний вільний простір має безкінечну кількість точок. Спочатку будуємо його дискретну модель: наскладуючи опорні точки. Їх уже скінченна кількість. Потім деякі з цих точок по певним алгоритмам з'єднуються лініями так, щоб вони не зачіпали заштриховані області. Отримуємо граф варіантів, як добратися від одної точки до іншої (рисунок 2.3). Наша задача – знайти маршрут, котрий підходить нам більш за всі інші по заданим критеріям.

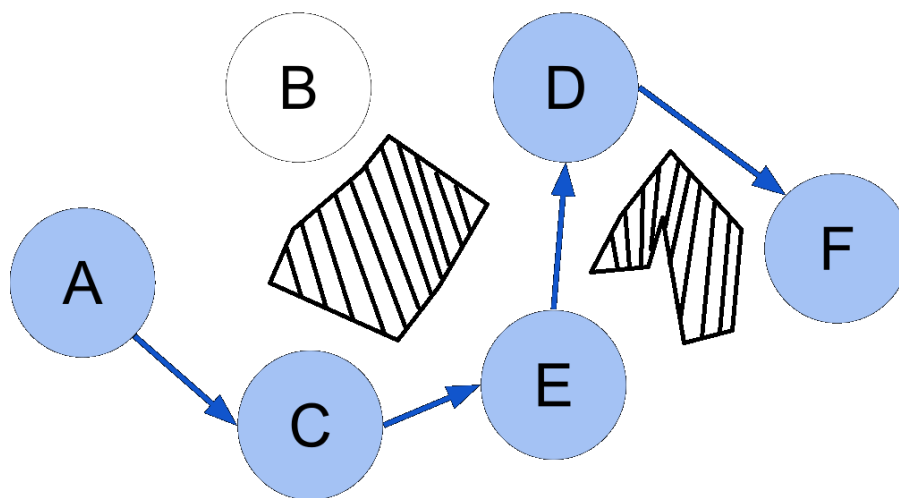


Рисунок 2.3 – Побудова маршруту по графам

Алгоритм ускладнюються в залежності від умов. Було описано простіший приклад, можуть бути ускладнення: трьох мірний простір, наявність динамічних об'єктів.

Після побудови маршруту слідування, потрібно щоб мобільний робот по ній рухався. Четвертий блок задач – це слідування по траєкторії. Коли планували траєкторію, не замислювалися про те як ця лінія повинна виглядати, наприклад могли створити поворот з кутом 90° . Якщо це коптер це не проблема. Але якщо це автомобіль він не може повернути на місці на 90° . Отже потрібно ускладнювати задачі по прокладенню маршруту або вирішувати задачі слідування по маршруту. Задачі по слідуванню слугують для того щоб пройти по маршруту, враховуючи особливості руху рухомого об'єкта з мінімальними

відхиленнями від траєкторії. Якщо відхилення від буде більше ніж задана величина маршрут буде перебудована. Слідування зазвичай вирішується за допомогою теорії систем автоматизованого управління (САУ).

2.2 Можливості апаратної реалізації навігаційної системи на базі Arduino

Arduino – це торгова марка апаратно-програмних засобів для побудови і протипування простих систем, моделей і експериментів в області електроніки, автоматики, автоматизації процесів і робототехніки.

Програмна частина представляє собою програмну середу розробки Arduino IDE для написання, компіляції та програмування апаратної частини.

Апаратна частина представляє собою набір змонтованих друкованих плат. Повністю відкрита архітектура дозволяє вільно копіювати або розширяти лінійку продукції Arduino.

Програмування проводиться цілком через власний безкоштовну програмну середу розробки Arduino IDE. В цьому середовищі розробки присутній текстовий редактор, менеджер проектів, препроцесор, компілятор і інструменти інструментів для завантаження програми в мікроконтролер. Середу розробки написана на Java на основі проекту Processing працює на всіх популярних операційних системах Arduino.

Мова програмування Arduino називається Arduino C і являє собою мову програмування C++ з фремворком Wiring, але він має деякі відмінності в написанні коду. Написаний код компілюється і збирається зв допомогою AVR-GCC.

Завантаження у мікроконтролер відбувається через заздалегідь запрограмований спеціальний завантажник. Завантажник створений на основі Atmel AVR Application Note AN109. Завантажник може працювати через різноманітні інтерфейси RS-232, USB, Ethernet в залежності від стану периферії конкретної плати.

Основними платами в лінійці Arduino є:

- Arduino Uno;
- Arduino Nano;
- Arduino Mega.

Arduino Uno, зображена на рисунку 2.4, використовується для керування різноманітними електронними пристроями в робототехніці для створення автоматичного полива, розумного дому та для багатьох інших цілей. Третя ревізія оснащена новим потужним завантажником, котрий відрізняється високою швидкістю роботи. Плата заснована на мікроконтролері ATmega328 даний мікроконтролер оснащений великим об'ємом пам'яті. В таблиці 2.1 описані характеристики даної моделі Arduino.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд плати Arduino Uno

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики Arduino Uno

Назва параметру	Параметр
Microcontroller	ATmega328P

Продовження таблиці 2.1

Назва параметру	Параметр
Operating Voltage	5 В
Input Voltage (recommended)	від 7 В до 12 В
Input Voltage (limit)	від 6 до 20 В
Digital I/O Pins	14 (6 з них є шим виводами)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 мА
DC Current for 3.3V Pin	50 мА
Flash Memory	32 Кб (ATmega328P)
SRAM	2 Кб (ATmega328P)
EEPROM	1 Кб (ATmega328P)
Clock Speed	16 МГц
LED_BUILTIN	13
Length	68,6 мм
Width	53,4 мм
Weight	25 г

Arduino Nano, зображена на рисунку 2.5, відрізняється компактність і потужність. Плата можна використовувати для створення мініатюрних пристроїв різноманітного призначення. Вона має майже повну функціональність. В ній відсутні роз'єми живлення зовнішніх пристроїв. І працює з кабелем USB-Mini замість стандартного USB. В таблиці 2.2 описані характеристики даної моделі Arduino.

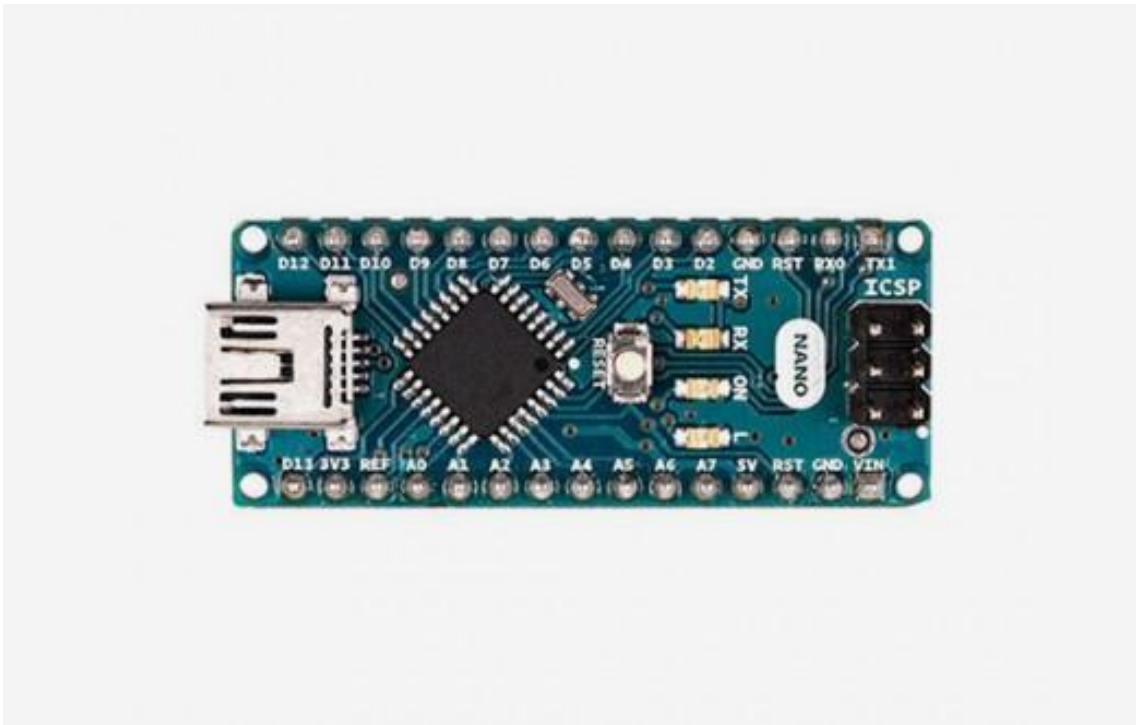


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд плати Arduino Nano

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики Arduino Nano

Назва параметру	Параметр
Microcontroller	ATmega328
Architecture	AVR
Operating Voltage	5 В
Flash Memory	32 Кб
SRAM	2 Кб
Clock Speed	16 МГц
Analog IN Pins	8
EEPROM	1 Кб
DC Current per I/O Pins	40 mA (I/O Pins)
Input Voltage	від 7 В до 12 В

Продовження таблиці 2.2

Назва параметру	Параметр
Digital I/O Pins	22 (6 з них є шим виводами)
PWM Output	6
Power Consumption	19 <i>mA</i>
PCB Size	18 мм x 45 мм
Weight	7 г

Arduino Mega, зображена на рисунку 2.6, відрізняється від інших плат наявністю 54 цифрових виходів/входів. Плата працює на контролерах ATmega1280 або 2560. Просте під'єднання до комп'ютеру захист портів комп'ютеру від коротких замикань на платі. В таблиці 2.3 описані характеристики даної моделі Arduino.

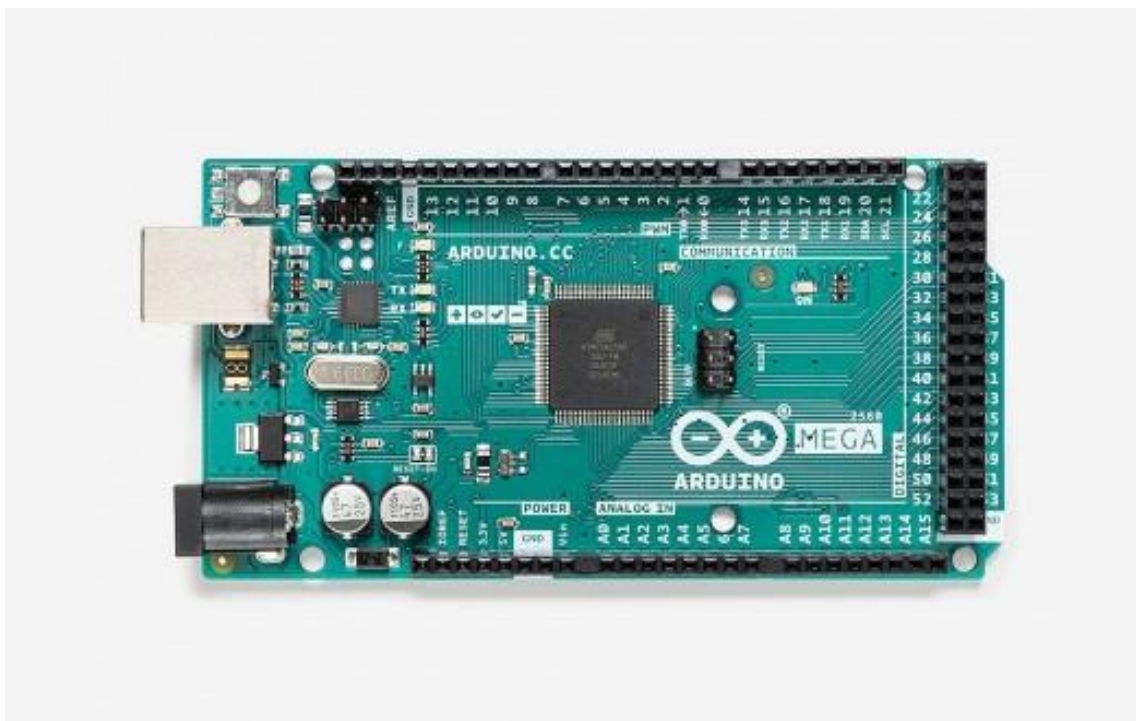


Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд плати Arduino Mega 256

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики Arduino Mega 256

Назва параметру	Параметр
Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5 В
Input Voltage (recommended)	від 7 В до 12 В
Input Voltage (limit)	від 6 В до 20 В
Digital I/O Pins	54 (15 з них є шим виводами)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 мА
DC Current for 3.3V Pin	50 мА
Flash Memory	256 Кб
SRAM	8 Кб
EEPROM	4 Кб
Clock Speed	16 МГц
LED_BUILTIN	13
Length	101,52 мм
Width	53,3 мм
Weight	37 г

Оскільки платформа Arduino досить популярна для неї існує велика кількість модулів розширення та модулів сенсорів. Розглянемо деякі з них в рамках теми даної роботи, які можна використовувати для орієнтації роботів у просторі.

Ультразвуковий далекомір HC-SR04, зображений на рисунку 2.7, самий популярний ультразвуковий датчик, котрий працює по принципу відправлення ультразвукового сигналу пі підрахунок часу до того як відображений від об'єкту сигнал повернеться до приймача. Даний модуль коштує досить дешево, діапазон вимірювання від 2 см до 4 м.

Характеристики:

- робоча напруга від 3,8 В до 5,5 В;
- струм живлення 8 мА;
- робоча частота випромінювача 40 кГц;
- кут вимірювання 30°;
- розміри 45 мм х 20 мм х 15 мм.



Рисунок 2.7 – Ультразвуковий далекомір HC-SR04

Інфрачервоний далекомір Sharp GP2Y0A02YK0F, зображений на рисунку 2.8, досить популярний далекомір заснований на випромінненні сигналу в інфрачервоному діапазоні. Працює по принципу триангуляції. Вимірювання кута відображеного сигналу по відношенню до площини датчику. Діапазон вимірювання від 20 см до 1,5 м.

Характеристики:

- робоча напруга від 4,5 В до 5,5 В;
- струм живлення 33 мА;
- розміри 29,5 мм × 13 мм × 21,6 мм.



Рисунок 2.8 – Інфрачервоний далекомір Sharp GP2Y0A02YK0F

Лазерний далекомір CJVL53L0XV2, зображений на рисунку 2.9. Існує багато лазерних далекомірів подібного типу. Мініатюрний датчик з діапазоном від 50 мм до 2 м.

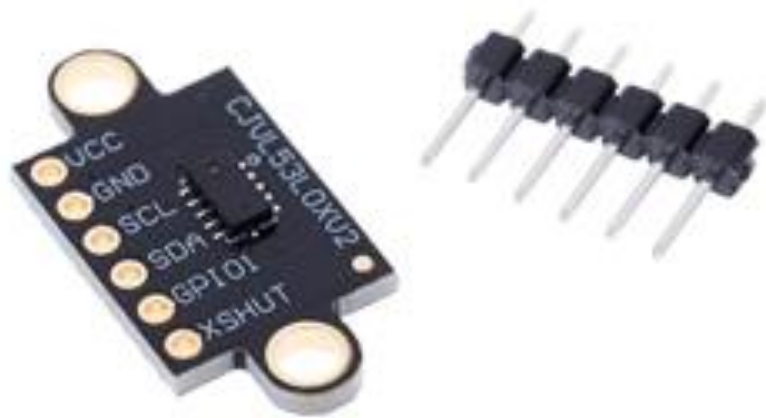


Рисунок 2.9 – Лазерний далекомір CJVL53L0XV2

Характеристики:

- робоча напруга від 3 В до 5 В;
- струм живлення 19 мА;
- довжина лазеру 940 нм;
- розміри 25 мм x 12,7 мм.

2.3 Архітектура навігаційної системи мобільного робота

Архітектура навігаційної системи мобільного робота являє собою комплекс апаратних та програмних засобів у яких є своя архітектура і принципи в їх побудові.

Архітектура мехатроніки, рисунок 2.10, описує інтеграцію датчиків, обчислювальної потужності, керування і приведення в рух мобільного робота. На найнижчому рівні знаходяться датчики, котрі використовуються для сприйняття навколишнього середовища (Hardware Abstraction Layer). В цьому шарі знаходяться різноманітні сенсори такі як Lidar, камери, радары та ін. Які можуть визначити дистанцію до найближчої перешкоди і будувати тривимірну модель навколишнього середовища.

Обчислювальний рівень (OS & Computation Layer) виконує задачі отримання даних і надання команд для внутрішньої системи керування (Actuation Control Layer) приводами платформи (Hardware Actuators).

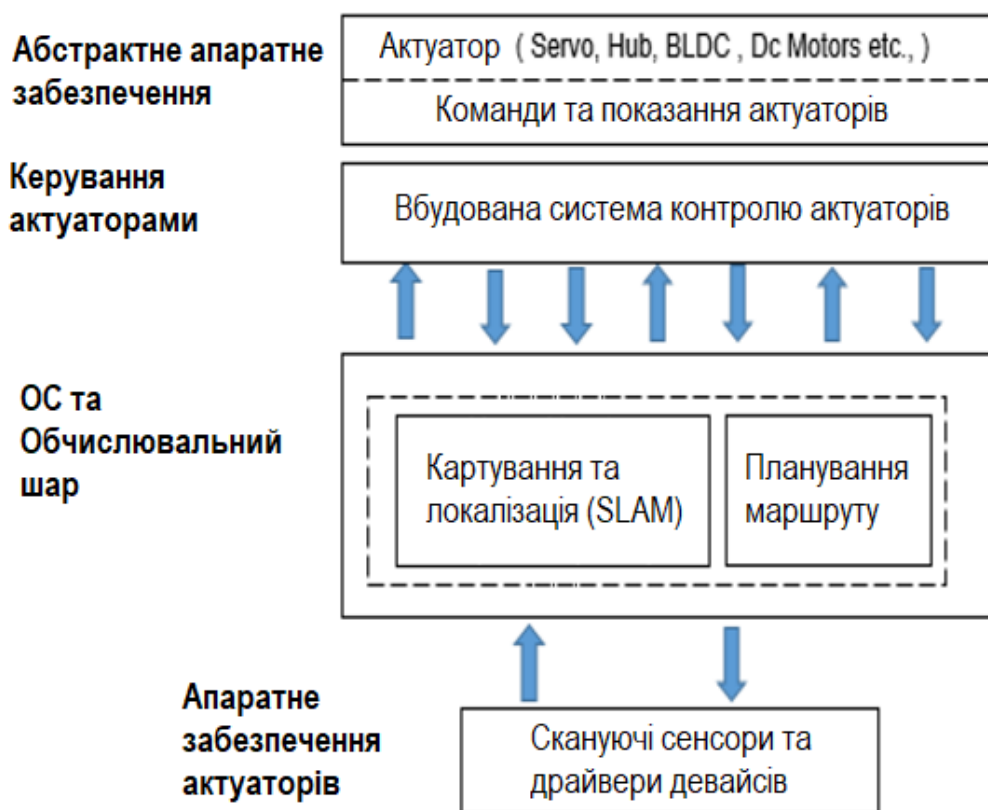


Рисунок 2.10 – Мехатронна система навігаційної системи мобільного робота

Процес навігації можна поділити на SLAM, планування шляху, слідування маршруту, виконання задач та моніторинг виконання.

Actuation Control Layer служить для узгодження сигналів від обчислювального рівня та механізмів виконання. Це також канал зворотного зв'язку від механізмів виконання.

Програмна забезпечення рівня OS & Computation Layer має наступну структуру представлену на рисунку 2.11 , представлена схема є загальною та може мати відмінності. Даний рівень приймає данні з URDF (Unified Robot Description Format) – це файл, XML формату в якому представлена структурна компоновка робота. А також данні з датчиків, на даній схемі з Lidar.

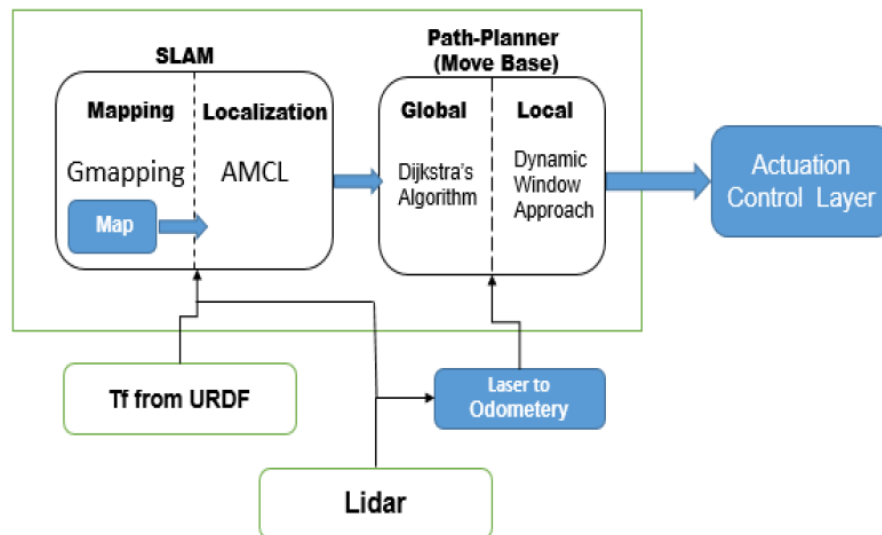


Рисунок 2.11 – Архітектура програмного забезпечення [16]

Блок SLAM – це програмний модуль задача якого одночасна побудова карти навколишнього середовища, і одночасній локалізації себе в створеній карті. На даній моделі картування відбувається за допомогою програмного забезпечення Gmapping – це програмна оболонка для реалізації алгоритму gmapping, побудови карти приміщення по даним Lidar. Локалізація відбувається за допомогою програмного алгоритму AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) – це система ймовірної локації робота який рухається в двомірній системі. Він реалізує адаптивний підхід до локалізації Монте-Карло, котрий

використовує фільтр часток для висліджування позиції робота на відомій карті. Методи Монте-Карло – це група числових методів для вивчення випадкових процесів. Результат роботи даного алгоритму відображене на рисунку 2.12.

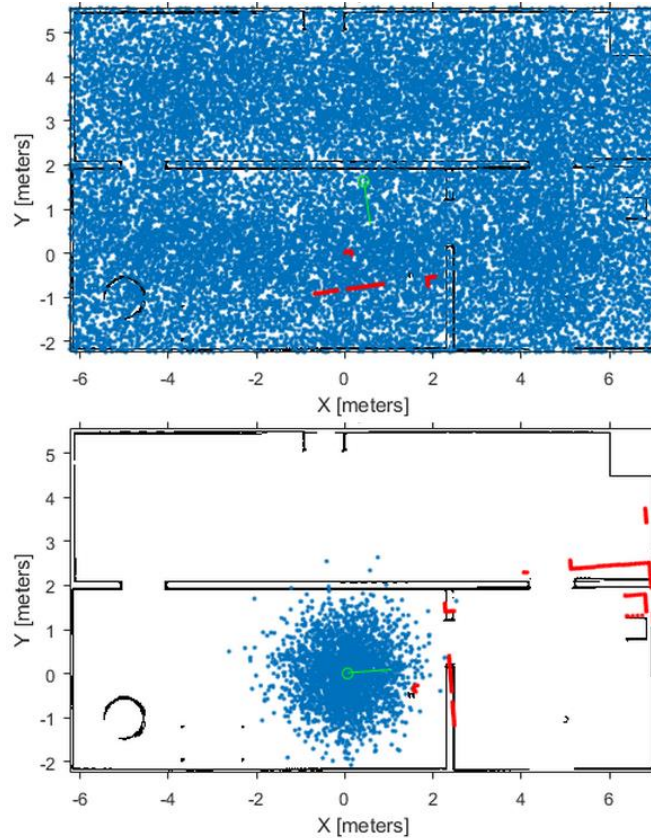


Рисунок 2.12 – Приклад початкового стану простору при роботі алгоритму AMCL, стан після проведення певної кількості ітерацій алгоритму

Алгоритм для локалізації методом Монте-Карло в початковий момент часу розставляє множину точок на просторі. Потім проводиться вимірювання і присвоюється вага точкам котрі можуть бути однозначно визначеними завдяки показаннями датчиків. Наступний етап генерується набір точок більшість генерується в околицях попередніх частин з великою вагою. Повертаємося до першого етапу робот переміщуються всі частини рухаються за ним і накладається шум. Багаторазове повторення даного алгоритму отримуємо щільності точок в просторі. Й з певною долею упевненості можна судити про положення роботу в просторі. Чим більше разів повторюється алгоритм тим більша точність позиціонування.

Також програмним завданням є планування шляху – отримати оптимальний шлях від початкового положення до цільової точки. Двома основними алгоритмами планування маршруту є: глобальний планування шляху та локальне планування. Створити маршрут від початкової позиції до цільової позиції задача – глобального планування. Місцевими плануваннями вирішується задачі обходом перешкод котрі знаходяться в безпосередньої близькості від робота. Це гарантує що робот може безпечно переміщуватися без зіткнень.

Данні одометра разом з результатами SLAM, виконання глобального та місцевого планування маршруту для виконання слідування по маршруту.

2.4 Удосконалена концепція побудови архітектури навігаційної системи

Після розгляду літератури та аналізу за темою, представлено дві моделі для побудови скануючих систем. Перша з них представлена на рисунку 2.13 зображена тримірна модель скануючої системи.

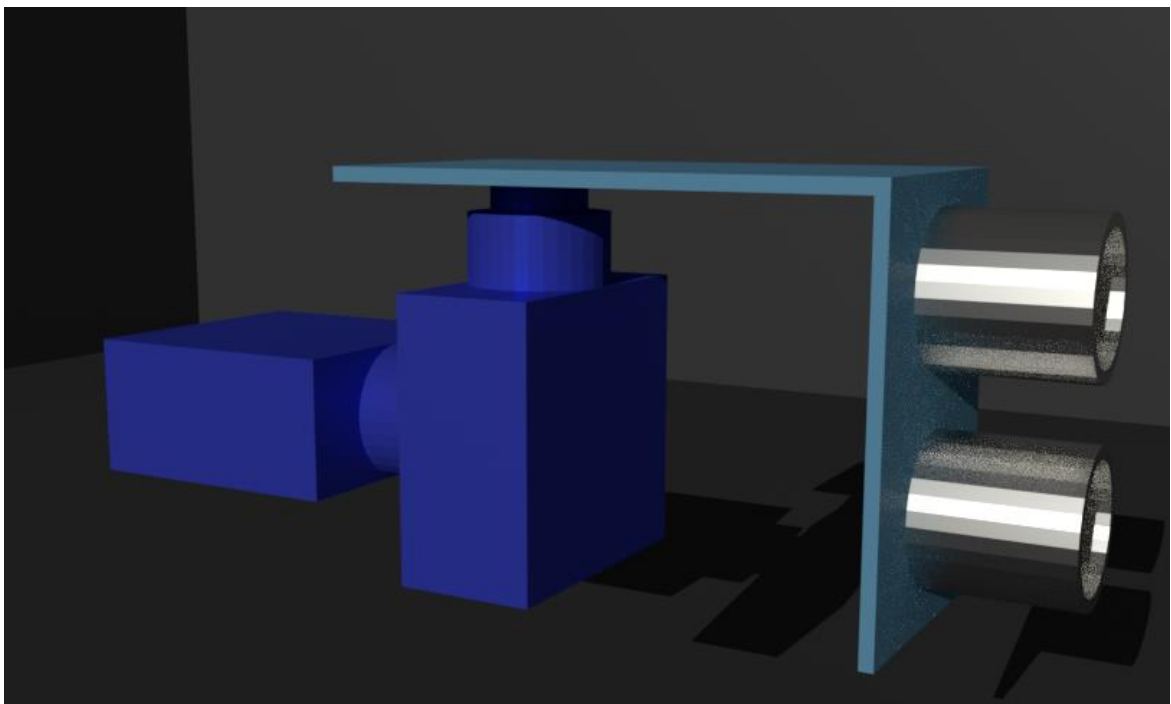


Рисунок 2.13 – Тримірна модель ультразвукової скануючої системи з рухомих ультразвуковим далекоміром

Дана схема розроблена таким чином щоб встановлюватись в передній частині мобільної платформи та охоплювати півсферу на шляху слідування мобільної платформи. Також є можливість працювати як декількох режимах з різним діапазоном сканування, як сканування тонкої лінії на горизонті так і повне сканування для більш детального розуміння навколишнього середовища, в залежності від поставлених завдань.

Друга скануюча система представляє собою статичну модель з двох ультразвукових далекомірів розташованих на певній відстані один від одного, зображена на рисунку 2.14, в системі працює два приймачі та один випромінювач. Завдяки тому що два приймачі сканують одну зону з різних сторін, можливо визначити з достатньою точністю положення об'єкта у зоні сканування.

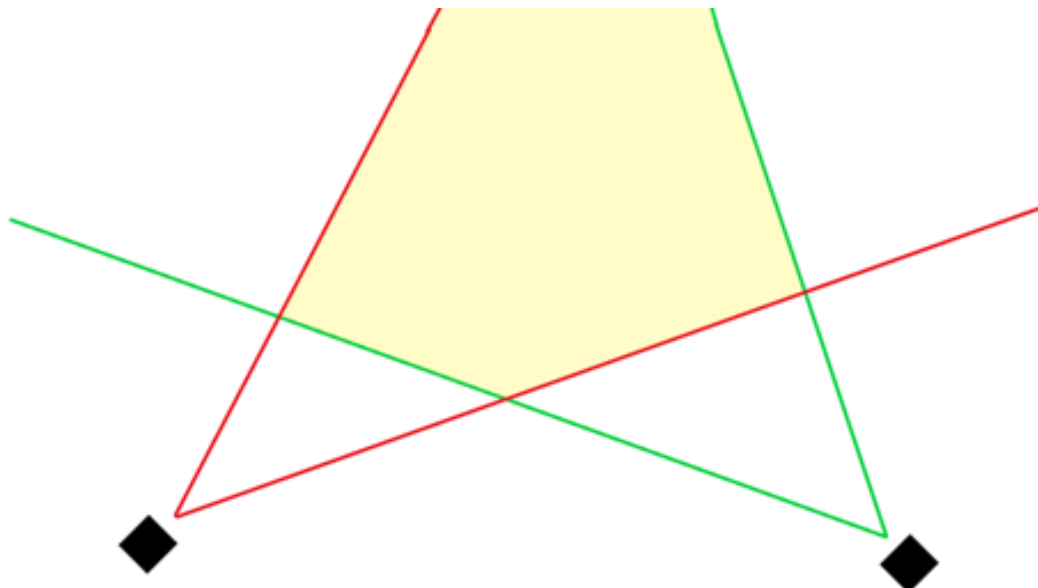


Рисунок 2.14 – Схема розміщення датчиків та зона сканування

На основі розглянутих моделей. Буде побудовано дві сковуючі системи для встановлення на мобільні платформи. Перша скануюча система була побудована на принципі зміни напрямку скануючого далекоміру. Друга скануюча система представляє собою статичну модель з двох ультразвукових далекомірів розташованих на певній відстані один від одного в системі працює два приймачі

та один випромінювач. Завдяки тому що два приймачі сканують одну зону з різних сторін, можливо визначити з достатньою точністю положення об'єкта у зоні сканування.

Перевагами першої системи є простота та можливість тримірного сканування простору. До недоліків можна віднести відносну невисоку швидкість сканування та наявність рухомих елементів в конструкції.

Перевагами другої системи є швидкість роботи та велика точність визначення положення об'єкта в скануючому просторі. До недоліків відноситься без ускладнення конструкції неможливо визначити декілька об'єктів. Даний принцип може сканувати тільки в двомірному просторі.

2.5 Висновки до 2 розділу

Розглянуто системи навігації та її місце керування у системі керування роботами та можливості апаратної реалізації навігаційної системи на базі Arduino. Розглянута архітектура навігаційної системи мобільного робота та принципи побудови що використовуються у апаратній та програмній частині.

Запропоновано дві системи, система сканування простору на базі ультразвукового датчика, з поворотною системою для орієнтації датчика та скануюча система для визначення координат об'єкта.

Описані принципи роботи обох схем та приведені переваги та недоліки представлених систем.

3 РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

3.1 Розробка апаратного забезпечення навігаційної системи

В ході написання магістерської роботи було запропоновано розробити та провести тестування двох моделей пристроїв сканування простору, ультразвуковим датчиком. Один пристрій побудований на основі використання сервомоторів для повороту датчику. Другий без рухомих частин, заснований на принципах ехолокації. Дане рішення було прийняте для виявлення недоліків та переваг динамічної та статичної моделі.

Динамічна схема була побудована на двох сервомоторах SG90, зображених на рисунку 3.1. Даний сервомотор має досить потужний крутний момент 2 кг/см та велику швидкість переміщення. Кут повороту даного сервомотору складає 180° .

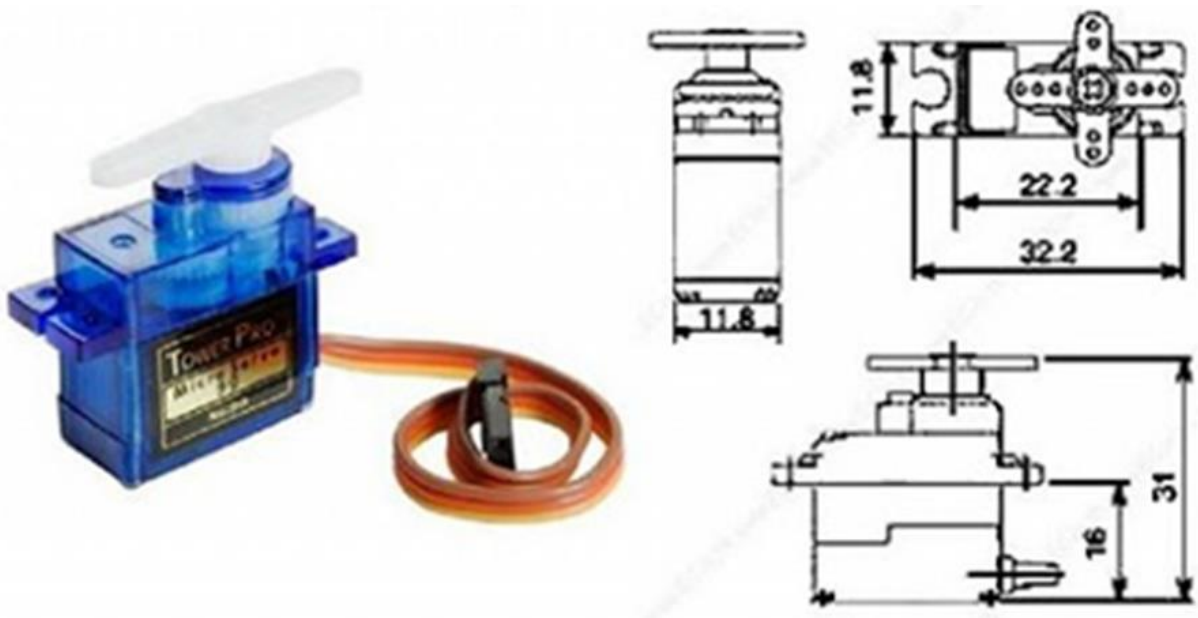


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд та фізичні розміри сервомотору SG90

Для проведення експериментів достатньо двох сервомоторів, які у зв'язці один з одним дають змогу створити кінематичну схему, яка може повертати ультразвуковій далекомір в рамках півсфери, чого достатньо для позиціонування роботу або проведення експериментів. На рисунку 3.2 зображена схема підключення модулів до плати Arduino Uno. В схемі присутнє допущення, що всі модулі можуть житися від плати напряму, що неможливо.

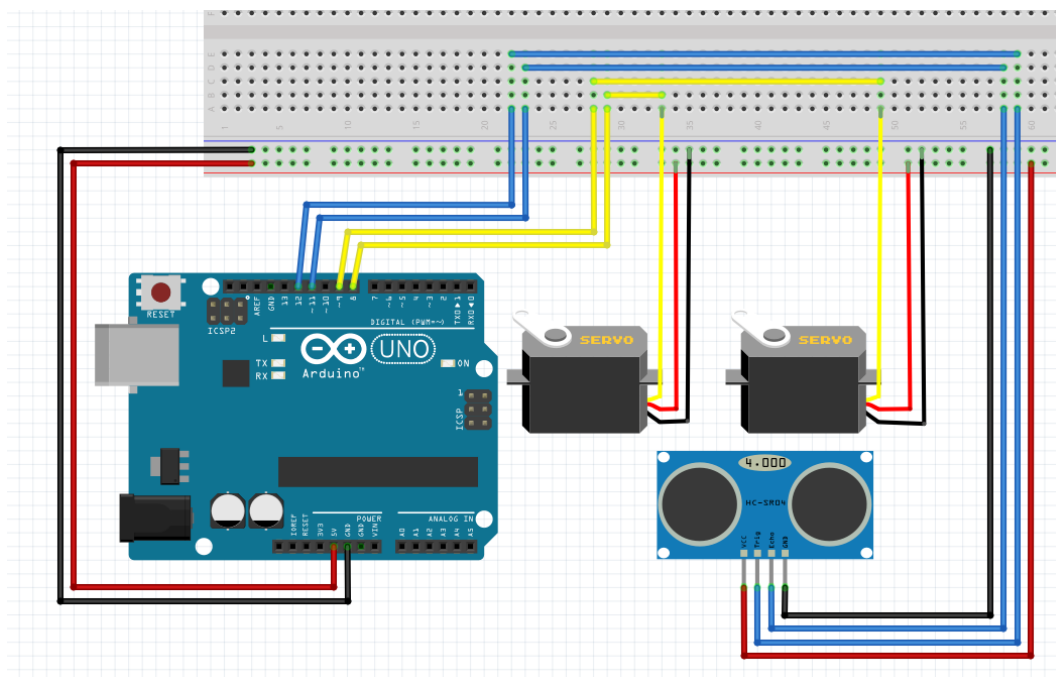


Рисунок 3.2 – Схема підключення модулів до плати Arduino Uno моделі з поворотним ультразвуковим далекоміром

Дана система повинна встановлюватись на стенд для тестування або на мобільну платформу, для проведення досліджень системи та оцінки ефективності конструкції.

Дана схема була реалізована. Фото зібраної моделі зображене на рисунку 3.3.

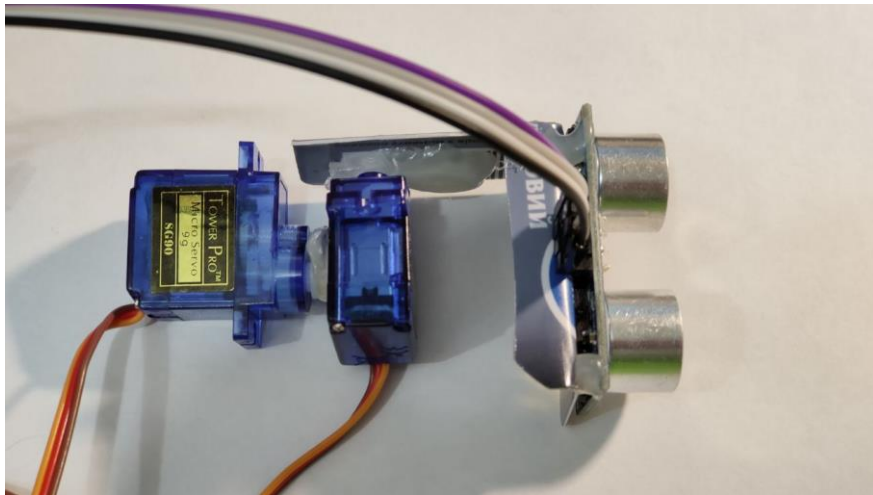


Рисунок 3.3 – Фото реалізованої моделі з поворотним ультразвуковим далекоміром

Друга модель статична, побудована за принципами ехолоту. Дана схема складається з двох ультразвукових далекомірів. На одному з них відключений випромінювач. Датчики розміщуються на певній відстані один від одного, таким чином щоб зони прослуховування накладалися один на одного. На рисунок 3.4 зображена схема перекриття зон прослуховування.

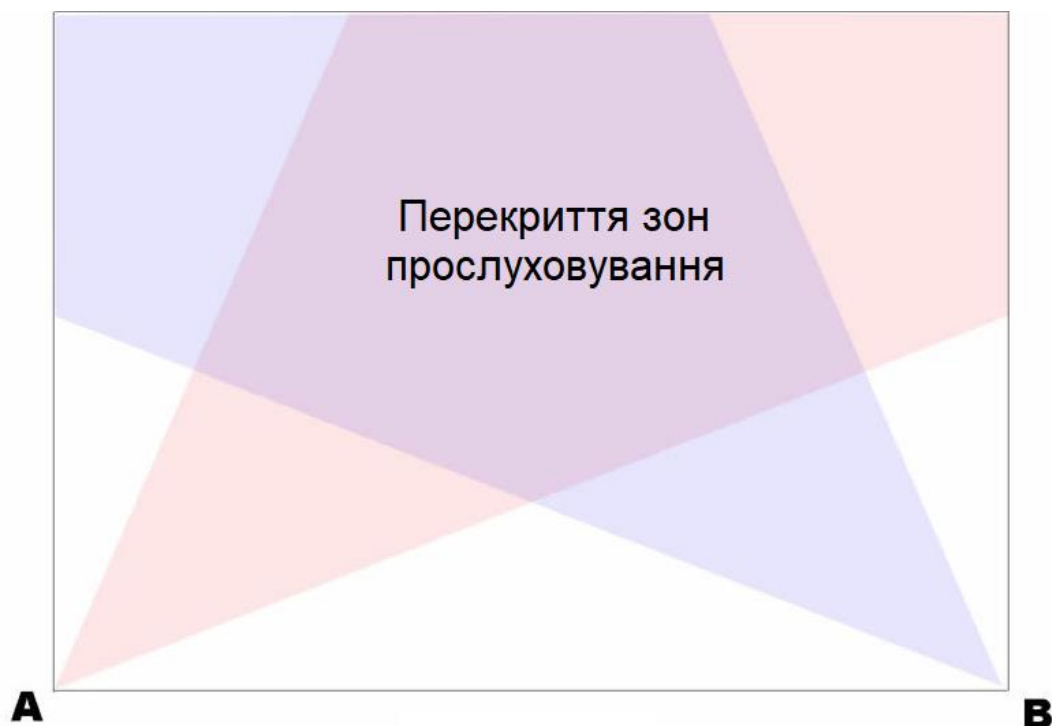


Рисунок 3.4 – Схема перекриття зон прослуховування

На рисунку 3.5 зображена схема посилення і прийняття ультразвукових сигналів, дана модель працює наступним чином. З ультразвукового далекоміру «А» випромінюється сигнал у напрямку зони сканування, якщо в зоні сканування знаходиться об'єкт «С» від його поверхні віддзеркалюється звуковий сигнал. Частина сигналу повертається до приймача «А», інша частина сигналу повертається до приймачу «В». За часом на проходження сигналу від об'єкту до приймачів, можна розрахувати координати об'єкту на площині.

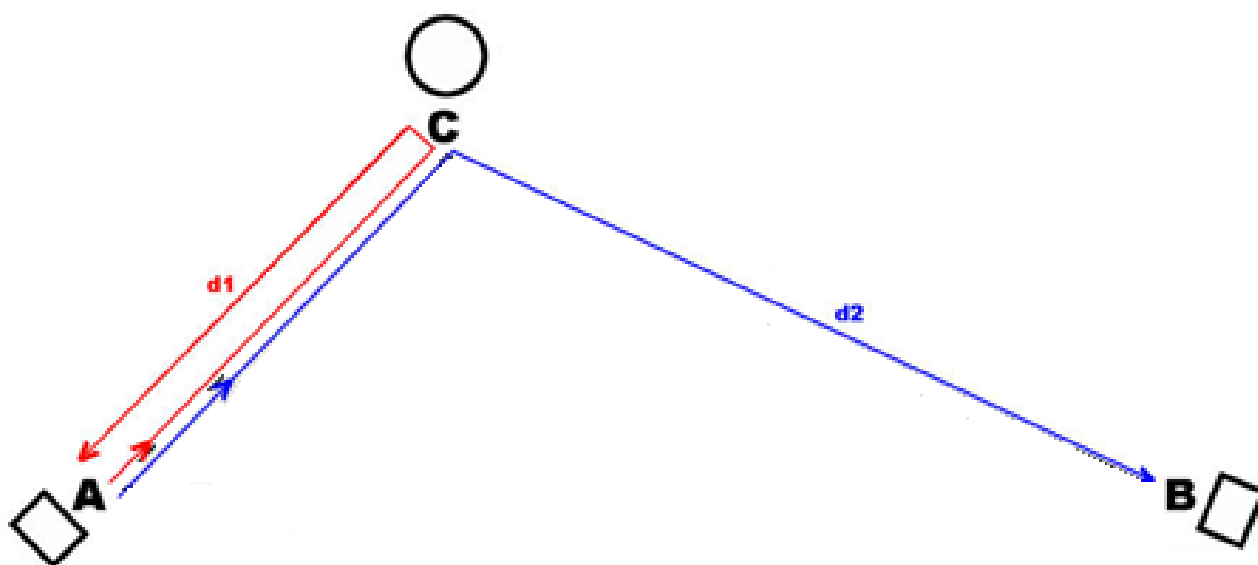


Рисунок 3.5 – Схема передачі сигналу до об'єкта та прийняття відображеного сигналу

На рисунку 3.6 зображена схема підключення двох ультразвукових далекомірів до плати Arduino Uno. На одному з ультразвукових датчиків фізичним чином перекривається випромінювач, оскільки в ультразвукових датчиках HC-SR04 неможливо програмно вимкнути випромінювач. На рисунку 3.7 показано приклад перекриття випромінювача пластиковою пластиною, закріпленою перед випромінювачем.

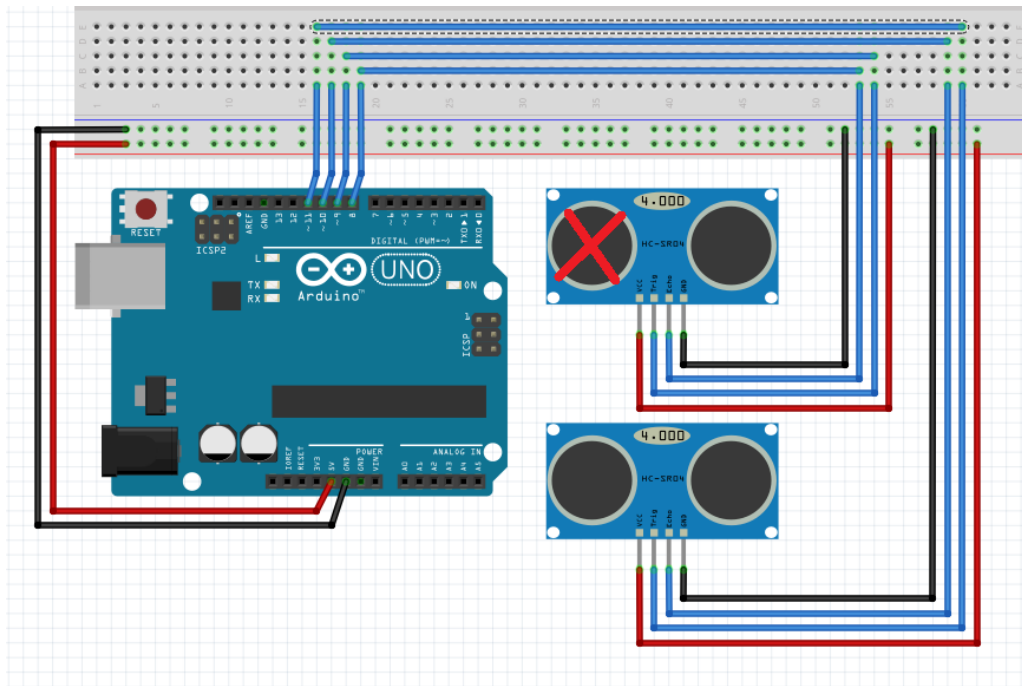


Рисунок 3.6 – Схема підключення модулів до плати Arduino Uno моделі з статичним ультразвуковим далекоміром

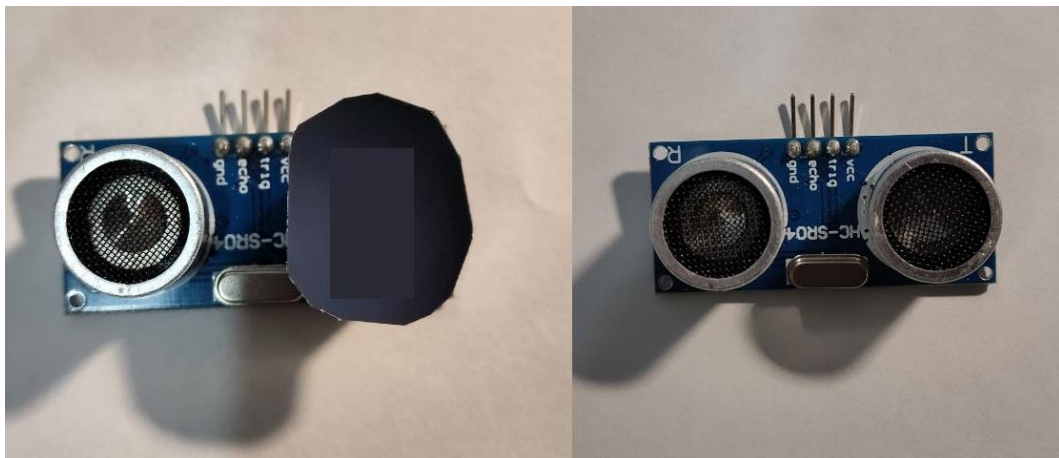


Рисунок 3.7 – Приклад перекриття випромінювача ультразвукового датчика

Модель даного сканеру була зібрана для проведення тестування. На рисунку 3.8 зображена тестова модель для перевірки принципів та особливостей роботи даного пристрою. При закріпленні даного пристрою на мобільній платформі датчики повинні бути нерухомо закріплені на відомій відстані один від одного.

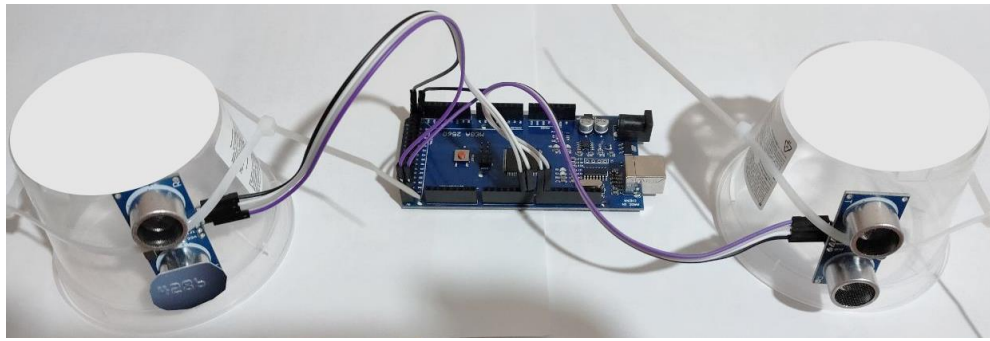


Рисунок 3.8 – Тестовий макет для перевірки принципів та особливостей роботи статичного ультразвукового сканеру

3.2 Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення навігаційної системи мобільної платформи

Для керування та розрахунку положення об'єктів для обох з розглянутих вище технічних рішень потрібне програмне забезпечення. Оскільки технічні рішення зібрані на платах Arduino, то для розробки програмного забезпечення буде використовуватися середа розробки Arduino IDE. Для відображення результатів роботи будуть використовуватися середа розробки інтерфейсів Processing та WebGL для відображення множини точок в тримірному просторі.

Для роботи тримірного сканера з поворотним ультразвуковим датчиком був створений алгоритм обходу простору скануючим сигналом. Він полягає в послідовній зміні кута нахилу ультразвукового далекоміра та сканування дуги в діапазоні вад 0° до 180° . Сканування відбувається зі стартової точки «А» до фінальної точки «В». На рисунку 3.9 зображена частина маршруту слідування ультразвукового датчика.

Оскільки модуль має саме таку траєкторію руху, більша точність сканування буде саме на передній частині простору, що сканується, по шляху слідування мобільної платформи. Далі приведена ділянка коду, що виконує керування рухом датчику та викликає функцію сканування.

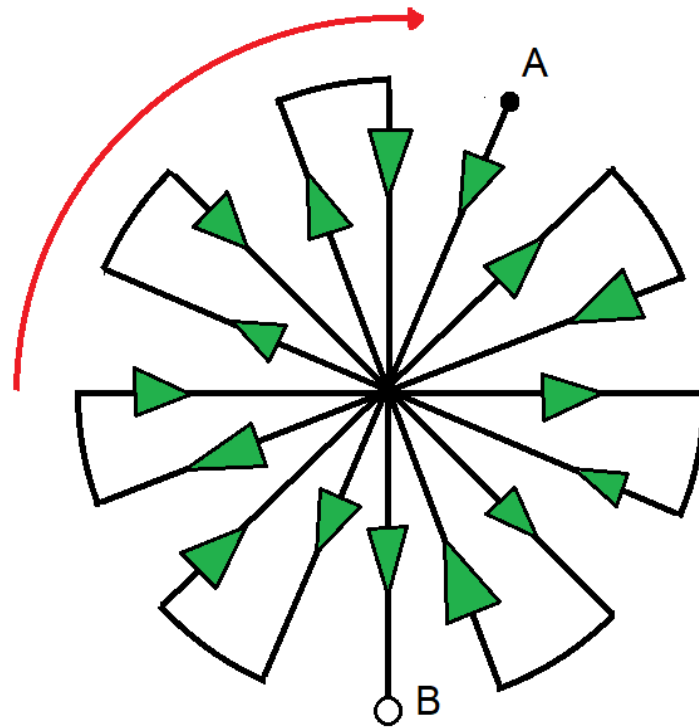


Рисунок 3.9 – Спрощена частина алгоритму обходу простору скануючим пристроєм

```

void loop() {
  pos_1 = myservo_1.read();
  pos_2 = myservo_2.read();
  while ( pos_1 < 180 ) {
    pos_1 = smoothMove( myservo_1, pos_1 + 10, 10 );
    distance = getDistance();
    printDistance( distance );
  }
  pos_1 = smoothMove( myservo_1, 0, 10 );
  if ( pos_2 < 180 ) {
    pos_2 = smoothMove( myservo_2, pos_2 + 10, 10 );
  } else {
    pos_2 = smoothMove( myservo_2, 0, 5 );
  }
}

```

Даний програмний код працює за таким алгоритмом:

- функція «loop» виконується постійно від моменту запуску програми;
- зчитуємо положення сервомоторів, при ініціалізації сервомотори встановлюються в певну позицію, задану раніше;
- починаємо сканування лінії від 0° до 180°;
- при кожному циклі повертаємо сервомотор на заданий кут в даному випадку на 10° за допомогою функції «smoothMove» яка плавно керує переміщенням сервомотору;
- відбувається зчитування даних від датчику за допомогою «getDistance»;
- відбувається вивід даних у серійний порт для обробки його іншими пристроями (координати точки розраховуються в функції «printDistance»);
- після проходження дуги виконання коду продовжується та відбувається або зміна нахилу траєкторію дуги на заданий кут або встановлення початкової позиції;
- далі алгоритм повторюється.

Розглянемо більш докладніше допоміжні функції які були вказані в представленому коді.

Важливою функцією яка слугує для плавного керування сервомоторами це «smoothMove». Код який виконує дану функцію приведений нижче.

```
int smoothMove( Servo servo, int to, int smooth ) {
    int pos = servo.read();
    while ( pos != to ) {
        if ( pos > to ) {
            pos -= 1;
        } else {
            pos += 1;
        }
        servo.write( pos );
        pos = servo.read();
    }
}
```

```

        delay(smooth);
    }
    return servo.read();
}

```

Дана функція приймає об'єкт «Servo» який описує внутрішній стан та методи керування сервомотором. Другим параметром функція приймає фінальне положення сервомотору, та останнім параметром – час за який буде повертатися сервомотор на 1°. Дана на функція після прийняття вхідних параметрів визначає нинішнє положення сервомотору, та напрямок в який потрібно повертати вал. Після чого починається виконання циклу, в якому повертається сервомотор по одному градусу з затримкою вказаною у вхідних параметрів.

Наступна функція є досить важливою це «getDistance» код даної функції представлений нижче.

```

float getDistance () {
    while ( i > 1 ) {
        if ( millis() – sensTimer > 50 ) {
            i++;
            dist_3[i] = (float)sonar.ping() / 57.5;
            sensTimer = millis();
        }
    }

    dist = middle_of_3( dist_3[0], dist_3[1], dist_3[2] );
    delta = abs( dist_filtered – dist );
    if ( delta > 1 ) k = 0.7;
    else k = 0.1;
    dist_filtered = dist * k + dist_filtered * ( 1 - k );
}

```

```

    if ( i > 1 ) i = 0;
    return dist_filtered;
}

```

```

float middle_of_3( float a, float b, float c ) {
    if ( ( a <= b ) && ( a <= c ) ) {
        middle = ( b <= c ) ? b : c;
    } else {
        if ( ( b <= a ) && ( b <= c ) ) {
            middle = ( a <= c ) ? a : c;
        } else {
            middle = ( a <= b ) ? a : b;
        }
    }
}

```

При виконанні даної функції стартує цикл який проводить три вимірювання з періодичність 50 *мс*. Кожне вимірювання додається до масиву значень «dist_3» на основі якого проводиться фільтрація похибок. А саме, спочатку вираховується значення за допомогою стандартного алгоритму медіанного фільтру «middle_of_3» для трьох значень. Даний фільтр не зводить фільтрацію до середнього значення що важливо.

Далі потрібно отримати значення дельта для визначення коефіцієнту, що дозволяє виконати фільтрацію МА (Moving Average). Після чого скинути лічильник та повернути значення.

Останньою функцією, яка використовувалась в коді це «printDistance» – дана функція виконує розрахунок координат заміряних значень та вивід цих координат до серійного порту для подальшого використання. Код, що виконує ці функції приводиться нижче.

```

void printDistance ( float distance ) {
    pos_1 = myservo_1.read();
    pos_2 = myservo_2.read();
    pos_1 = pos_1 - 90;
    pos_1_rad = pos_1 * 3.14 / 180;
    pos_2_rad = pos_2 * 3.14 / 180;

    x = dist * sin( pos_2_rad ) * cos( pos_1_rad );
    y = dist * sin( pos_2_rad ) * sin( pos_1_rad );
    z = dist * cos( pos_2_rad );

    Serial.print(x);
    Serial.print(',');
    Serial.print(y);
    Serial.print(',');
    Serial.print(z);
    Serial.println(',');
}

```

В даній функції отримується дистанція до цілі, отримаємо дані про те в якому положенні знаходяться сервомотори. Спершу потрібно створити умови, в яких значення одного з сервомоторів зменшилось на 90° . Це служить для правильного розрахунку. Після чого градуси потрібно перевести у радіани та за допомогою формул перетворення сферичних координат таких як азимут, полярний кут та радіус в декартову систему координат. Після чого відправляємо дані в послідовний порт.

Для статичної системи також був написаний програмний код для організації роботи знаходження координат об'єктів у зоні сканування. Код для виконання даного принципу декілька відрізняється від звичайного вимірювання дальності до об'єкту. Нам потрібно максимально синхронно отримати час, за

який сигнал пройде до об'єкту та повернеться назад. Далі приведений код головного циклу програми та особливої системи переривань.

```

void loop() {
    if ( TaskFlag1 ) {
        TaskFlag1 = false;
        measure();
        Serial.print(Distance1);
        Serial.print(",");
        Serial.println(Distance2);
    }
}

ISR( TIMER2_COMPA_vect ) {
    TaskTimer1++;
    if ( TaskTimer1 > 499 ) {
        TaskTimer1 = 0;
        TaskFlag1 = true;
    }
}

```

В головній функції «loop» вказана умова «TaskFlag1» яка контролюється внутрішнім таймером та системою переривань Arduino, для того щоб проводити вимірювання один раз в 50 *мс*.

Функція ISR – це спеціалізована функція для включення в систему переривань. Параметр «TIMER2_COMPA_vect» вказує на підписку на переривання по таймеру. Дана система переривань виконується кожному мілісекунду на основі чого побудована затримка для замірів.

Кожні 50 *мс* виконується функція «measure», дана функція виконує алгоритм заміру та розрахунку. Після чого дані виводяться в послідовний порт. Код функції «measure» наведений нижче.

```

void measure() {
    unsigned long start_time;
    unsigned long finish_time1;
    unsigned long finish_time2;
    unsigned long time_taken;
    boolean echo_flag1;
    boolean echo_flag2;

    digitalWrite( Trig1, HIGH );
    digitalWrite( Trig2, HIGH );
    delayMicroseconds( 10 );
    digitalWrite( Trig1, LOW );
    digitalWrite( Trig2, LOW );

    while( !digitalRead( Echo1 ) );
    while( !digitalRead( Echo2 ) );

    start_time = micros();

    echo_flag1 = false;
    echo_flag2 = false;

    while( ( !echo_flag1 ) || ( !echo_flag2 ) ) {
        if ( ( !echo_flag1 ) && ( !digitalRead( Echo1 ) ) ) {
            echo_flag1 = true;
            finish_time1 = micros();
            time_taken = finish_time1 - start_time;
            Distance1 = ( (float)time_taken ) / 59;
        }
    }
}

```

```

if ( ( !echo_flag2 ) && ( !digitalRead( Echo2 ) ) ) {
    echo_flag2 = true;
    finish_time2 = micros();
    time_taken = finish_time2 - start_time;
    Distance2 = ( (float)time_taken ) / 29.5;
}
}
}

```

На початку даного коду описуються локальні змінні та ініціалізація далекомірів коротким імпульсом в 10 *мс*. Далі схема отримання сигналів відрізняється від стандартного. Запускаються цикли які закінчують своє виконання тільки після того, як отримаємо високий сигнал від лінії приймача. Після чого запускаємо таймер, обнуляються прапорці стану та запускається цикл очікування. Коли приймається відповідь, розраховується час, за який прийшов сигнал, час перетворюється у відстань ділячи час на 59 для ультразвукового датчику «А» з відкритим випромінювачем та час отриманого сигналу на 29,5 для датчику «В» з вимкненим (закритим) випромінювачем (рисунок 3.10).

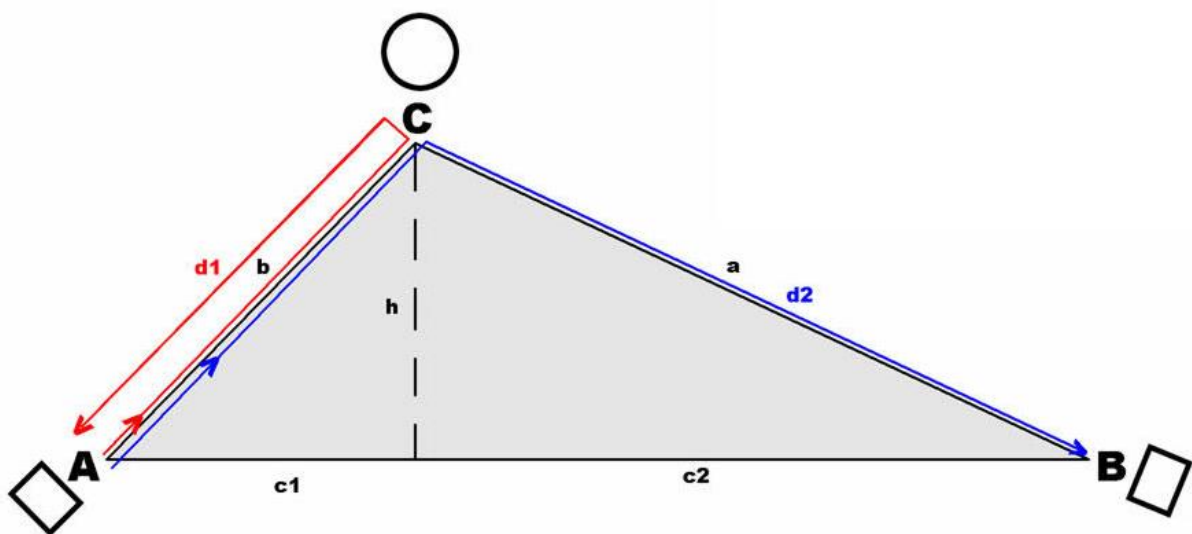


Рисунок 3.10 – Схема для геометричних розрахунків координат об'єкта

Тому що час на проходження сигналу до об'єкту не витрачається, є тільки час за пройдений шлях від об'єкту до датчику.

Для того щоб визначити координати на просторі потрібно виконати деякі розрахунки. А саме визначити площу трикутника АВС зображеного на рисунку 3.10, де А, В – це датчики, а С – це об'єкт.

Для визначення координат точки С потрібно визначити півпериметр, завдяки чому можна визначити площу трикутника по відомим сторонам. Сторони АС та СВ відомі від пристрою, сторона АВ є статичною і залежить від встановлення на мобільну платформу. Висота даного трикутника, визначається як дві площі трикутника, поділені на сторону, на яку висота опущена, таким чином визначили Y. Тепер можемо визначити за теоремою Піфагора сторону c1, яка і буде координатою X. Далі представлена частина коду, з програми, написаної для тестування в програмі «Processing».

```
void serialEvent( Serial myPort ) {
    Input_string = myPort.readStringUntil( '\n' );
    println( Input_string );

    if ( Input_string != null ) {
        Input_string = trim( Input_string );
        String[] values = split( Input_string, ';' );

        float a = float( values[1] ) - float( values[0] );
        float b = float( values[0] );
        float c = Baseline;
        float d = c*1.414;
        float d = sqrt( 150*150 + 100*100 );
        float s = ( a + b + c ) / 2;

        boolean distances_valid = true;
```

```

if (
(a < 0) ||
(b > d) ||
(a > d) ||
((s - a) < 0) ||
((s - b) < 0) ||
((s - c) < 0)
) {
    distances_valid = false;
    X = 1000;
    Y = 1000;
}

if ( distances_valid ) {
    float area = sqrt( s * ( s - a ) * ( s - b ) * ( s - c ) );
    Y = area * 2 / c;
    X = sqrt( b * b - Y * Y );
    print( " d1: " );
    println( b );
    print( " d2: " );
    println( a );
    print( " base: " );
    println( c );
    print( "offset: " );
    println( Offset );
    print( " s: " );
    println( s );
    print( " area: " );
    println( area );
    print( " X: " );
}

```

```

        println( X );
        print( "   Y: " );
        println( Y );
        println( "" );
    }
    myPort.clear();
}
}
}

```

В даній частині коду отримуємо з послідовного порту дані від скануючого пристрою та підготовлюємо його. Оскільки прийнята інформація має тип «String», потрібно перевірити чи прийшли з послідовного порту данні. Якщо інформація присутня, в отриманому рядку слід видалити відступи та розбити перелічені данні через кому. Після чого перевести його зі строки в число з плаваючою точкою. Довжина AC вже відома, а довжину CB потрібно розрахувати шляхом віднімання Distance1 від Distance2, оскільки шлях, який пройшов від випромінювача до сенсору B, включає в себе дистанцію AC.

Після отримання даних відрізків, виконуємо розрахунки по визначенню півпериметру, площу трикутника та розрахунку координат X, Y положення об'єкта.

3.3 Тестування навігаційної системи мобільної платформи

Після виконання проектування та збірки описаних вище прототипів було проведено тестування сканеру з рухомим ультразвуковим датчиком та зі статичною системою визначення координат об'єкта.

При проведенні тестування система була закріплена на нерухомому стенді, підключена до комп'ютеру та запущене сканування. Координати точок сканування друкувалися у консоль послідовного порту. Дані з консолі потрібно перенести у спеціальний WEB-додаток завдяки якому зможемо візуально

побачити крапки сканування у просторі. При встановленні на мобільну платформу дані оброблюються засобами Arduino. Або передаються через послідовний порт в пристрій розрахунку.

При проведенні тестування системи з поворотним далекоміром. Система після початку роботи починає рухатися по траєкторії та сканувати навколишній простір. В цей час консолі послідовного порту друкуються координати точок поділених комою, рисунок 3.11. Кожна новий рядок складається з координат X, Y, Z. Для перевірки отриманих результатів копіюємо їх з консолі в js-файл та за допомогою скрипту на мові програмування JavaScript відобразимо точки у вікні браузеру.

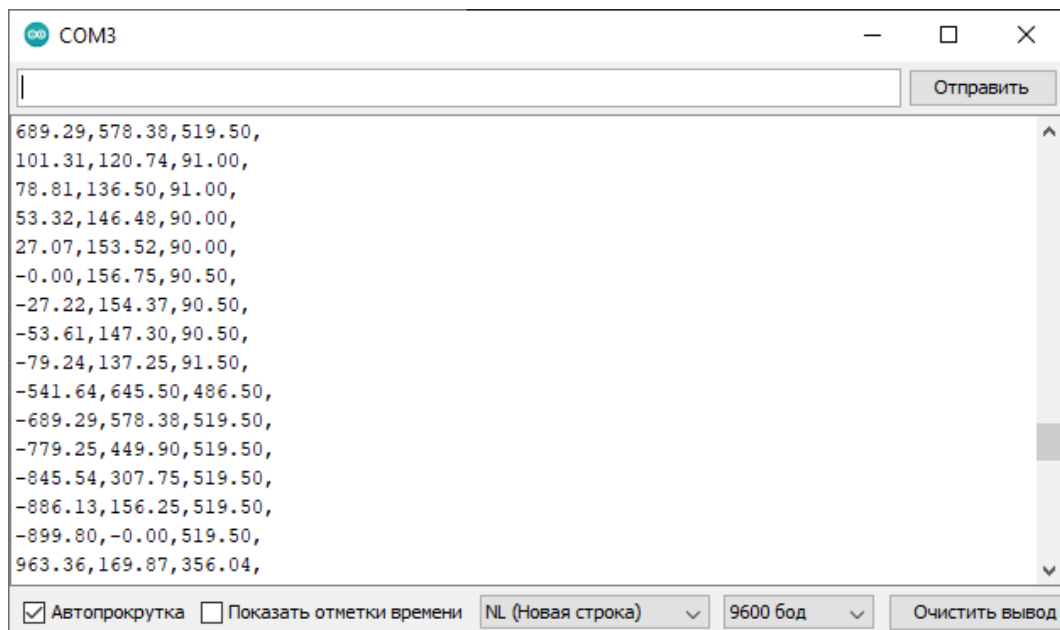


Рисунок 3.11 – Консоль послідовного порту з частиною даних

При тестуванні роботи сканеру було проведено ряд сканувань робочого столу з монітором на ньому. В результаті отримали зображення, рисунок 3.12, на яких чітко можна розрізнити:

- поверхня столу;
- площа екран монітору;
- стійка монітору.

Інші об'єкти які знаходилися на столі неможливо розрізнити, тому що у використаного далекоміру недостатня роздільна здатність. Також негативним моментом є те що вимірювана дистанція має похибку вимірювання навіть з урахуванням того що були використані алгоритми фільтрації, похибку видно на рівній площині екрану монітору.

Можна припустити що це відбувається через модуль ультразвукового датчику який не може дати достатній рівень точності сканування. Слід відмітити що в роботі показаний найкращий результат виконання алгоритму оскільки в схемі є рухомі елементи, пристрій є макетом та з'єднання датчиків з платою Arduino не є жорстким, тому багато замірів дальності, приблизно 20% проводиться некоректно. Та великим недоліком є швидкість роботи для роботи на мобільній платформі діапазон сканування потрібно звужити.

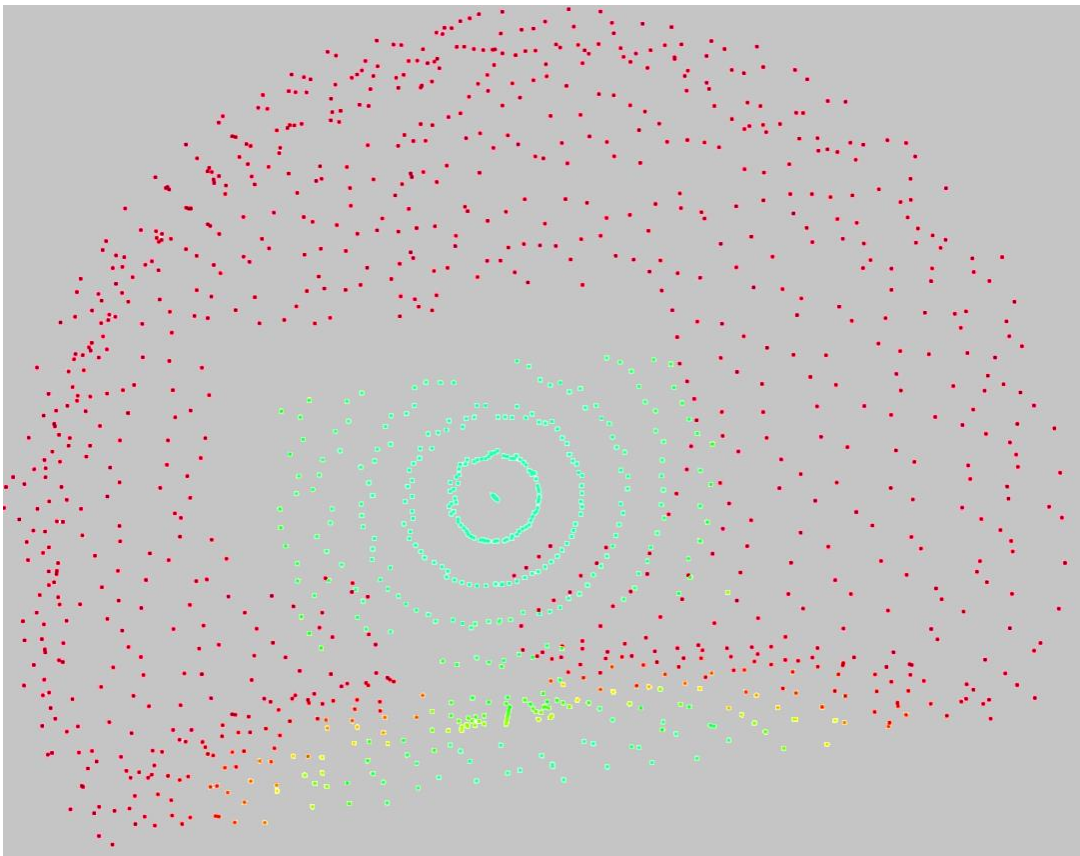


Рисунок 3.12 – Результат відображення координат у просторі, «Стіл з монітором»

Другим на черзі проводилося тестування системи зі статичними далекоміром. При тестуванні було встановлено два датчика на відстані одного метру один від одного та направлені під кутом для створення зони перекриття двох зон сканування. Дані отримані від Arduino були передані в програму побудови інтерфейсів Processing, в ній був написаний простий інтерфейс (рисунок 3.13), що представляє собою поле вибраного масштабу. На якому відображується крапка за координатами які розраховані за даними отриманими від Arduino.

При увімкненні системи в консоль послідовного порту починають надсилатися данні з дистанціями які пройшли сигнали від випромінювача до приймачів на рисунку 3.14. Дані які не вдалося розрахувати друкуються так як вони були отримані. У випадку визначення точки в консоль друкуються додаткові дані, такі як: площа трикутника; дистанції від сенсорів до об'єкту; базову відстань між сенсорами; зміщення сенсора відносно зони сканування.

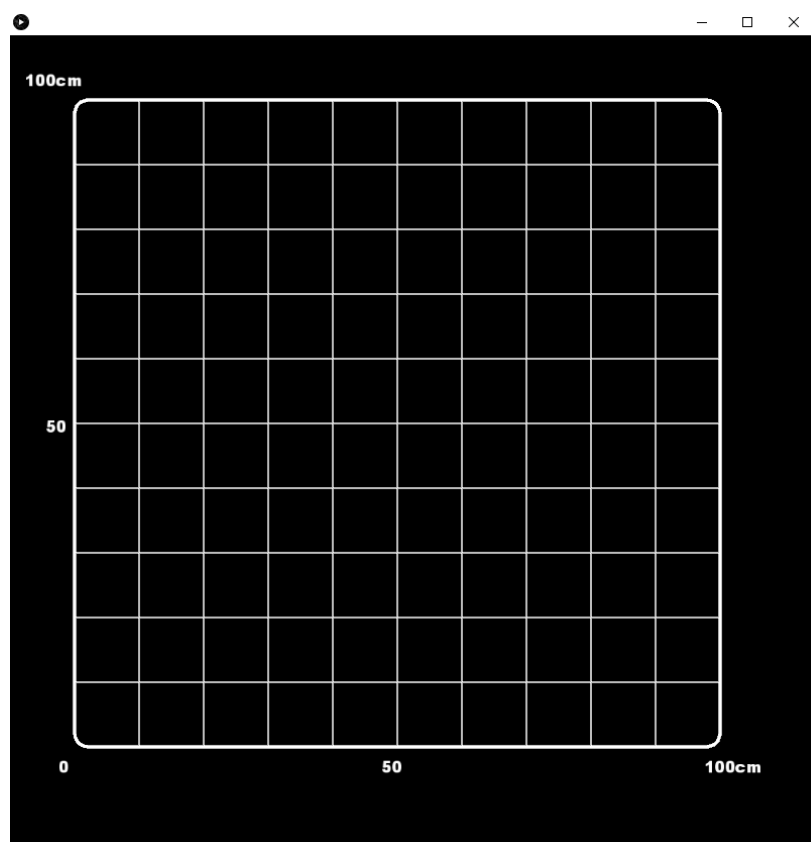


Рисунок 3.13 – Приклад поля створеного в програмі Processing

```
1022.31,160.00  
  
94.10,159.05  
  
92.81,158.24  
  
    d1: 92.81  
    d2: 65.43001  
    base: 100.0  
    offset: 50.0  
    s: 129.12  
    area: 2948.771  
    X: 71.66307  
    Y: 58.975418
```

Рисунок 3.14 – Приклад частини лістингу консолі Processing

Також при визначені точки на координатній площині малюється червона мітка яка визначає положення об'єкту у просторі. Дана система досить точно визначає положення об'єкту у просторі з точністю до декількох сантиметрів. При русі об'єкту оперативно проводить перерахунок координат об'єкту.

На рисунках 3.15 - 3.16 зображений результат роботи системи, зображенням лістингу консолі та міткою згідно визначених координат.

При проведенні тестування роботи даної системи було доведено не здатність розрізнявати декілька об'єктів на площині що є великою проблемою для використання, рішенням даної проблеми може стати збільшення кількості датчиків які зможуть створити додаткові зони для сканування. Другим негативним моментом є те що неможливо оцінити розмір перешкоди так як отримуємо дані по найближчій точці яка має достатній розмір для відображення ультразвукової хвилі.

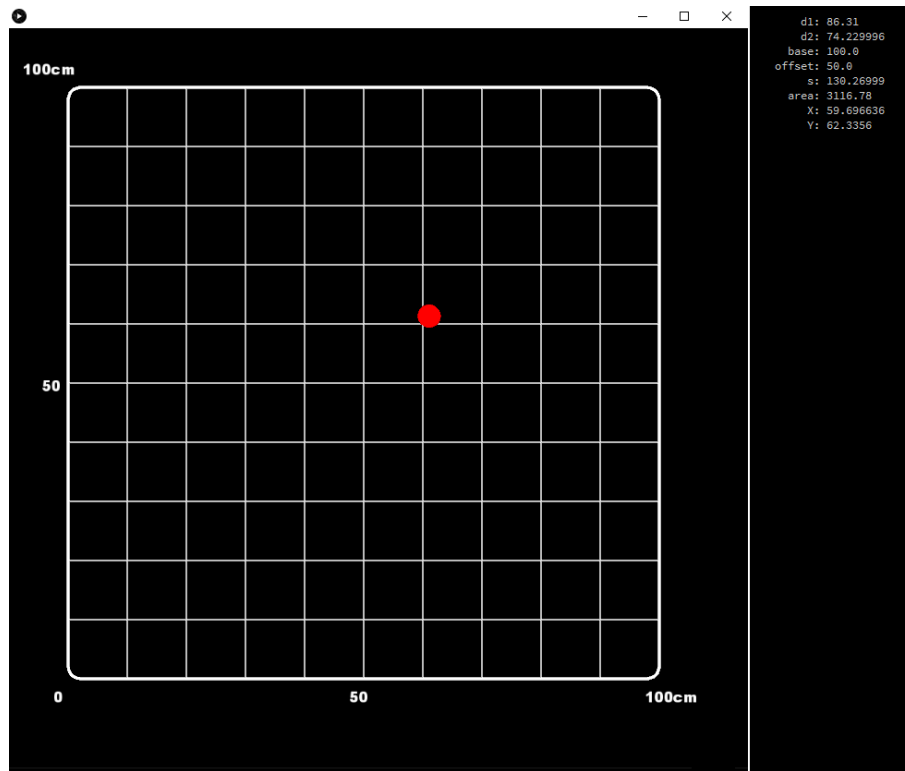


Рисунок 3.15 – Приклад поля створеного в програмі Processing

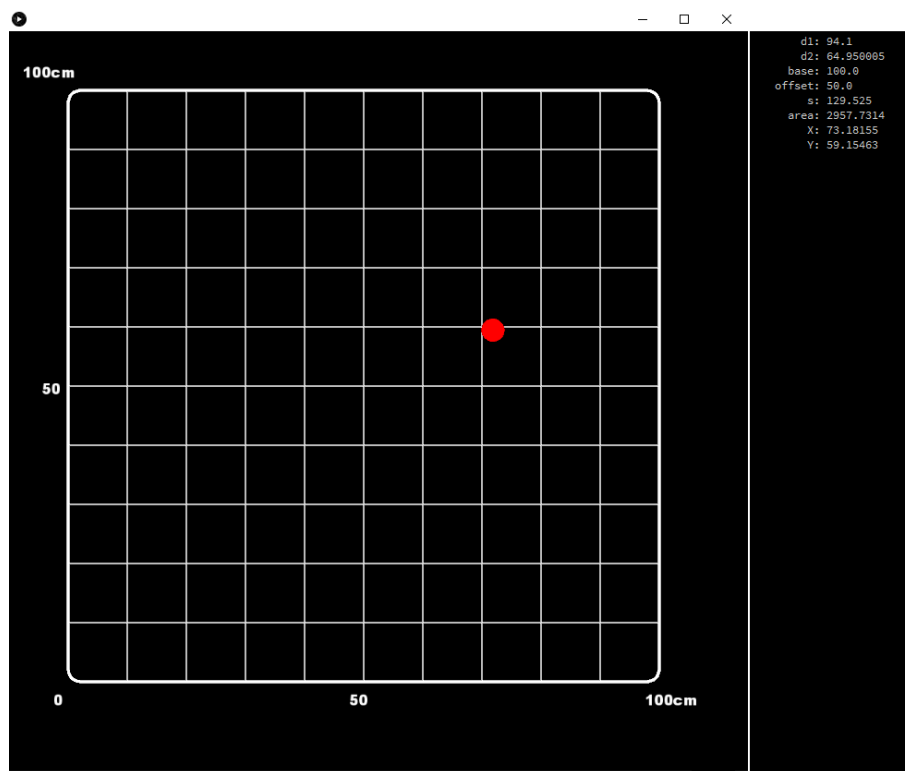


Рисунок 3.16 – Приклад поля створеного в програмі Processing

3.4 Питання охорони праці та безпеки життєдіяльності

Розробка проводиться в спеціальному приміщенні в якому знаходиться три робочих місця, два ПК (с рідкокристалічними моніторами). Електрична мережа приміщення має такі характеристики: трифазна чотирипровідна мережа напругою 380/220 В змінного струму, частота 50 Гц, глухозаземленою нейтраллю. Функціональна схема одного робочого місця представлена на рисунку 3.17.



Рисунок 3.17 – Функціональна схема робочого місця

Приміщення із робочими місцями користувачів комп'ютерів для забезпечення електробезпеки обладнання, а також для захисту від ураження електричним струмом самих користувачів ПК повинні мати достатні технічні засоби захисту відповідно до НПАОП (Нормативно-правові акти з охорони праці) 40.1-1.07-01 «Правила експлуатації електрозахисних засобів», НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

Приміщення відділу для розробки програмного забезпечення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки поразки людей електричним струмом згідно з НПАОП 40.1-1.21-98, так як немає умов створюють підвищену або

особливу небезпеку. У приміщенні знаходиться електрощит, на якому встановлено пристрій струмового захисту. Всі розетки мають застережливий напис «220». З робітниками проводяться інструктажі з охорони праці відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05.

Згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.12-05 необхідно проводити вступний, первинний на робочому місці, повторний, а при необхідності – позаплановий і цільовий інструктажі.

Схема занулення представлена на рисунку 3.18, параметри цієї схеми відображені в таблиці 3.1.

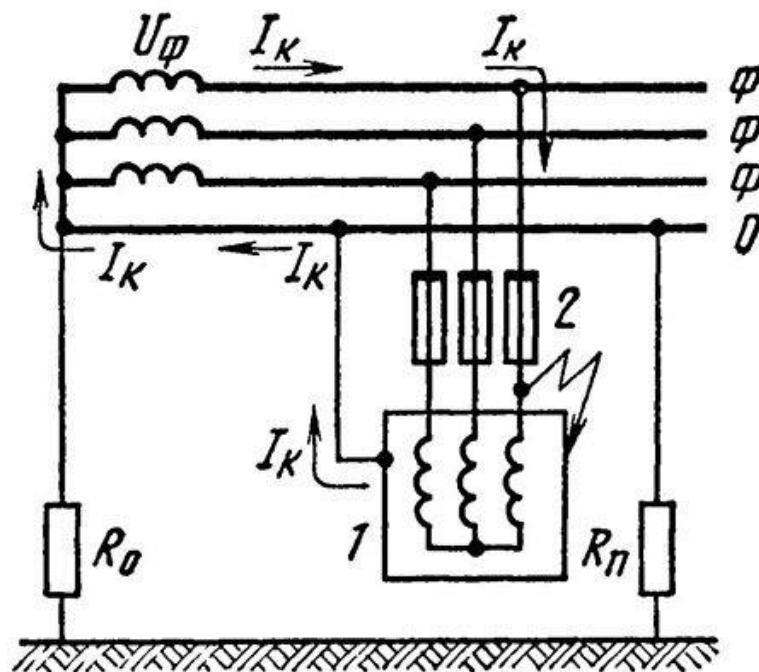


Рисунок 3.18 – Принципова схема занулення в трифазній мережі до 1000 В

Таблиця 3.1 – Параметри схеми занулення в трифазній мережі до 1000 В

Позначення	Описання
<i>1</i>	корпус електроустановки;
<i>2</i>	апарати захисту від струмів короткого замикання (КЗ)
<i>Ф</i>	фазний провід;
<i>НЗ</i>	нульовий захисний провідник;
<i>R_o</i>	опір заземлення нейтралі обмотки джерела струму;

Продовження таблиці 2.1

Позначення	Опис
R_n	опір повторного заземлення нульового захисного провідника;
I_k	струм КЗ;
I_n	частина струму КЗ, що протікає через нульовий захисний провідник;
I_z	частина струму КЗ, що протікає через землю.

Лінія електромережі для живлення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ виконується як окрема групова трьохпровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів.

Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється. Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника.

ПЕОМ, периферійні пристрої ПЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення ПЕОМ та периферійних пристроїв ПЕОМ до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПВЕ до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання;
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів [18].

3.5 Висновки до розділу 3

В даному розділі розглянутий процес побудови навігаційних систем, а саме скануючого модулю з поворотним ультразвуковим далекоміром та систему з статичними далекомірами. Був представлений та описаний принципи роботи системи та представлений програмний код та пояснення по його функціонуванню. Проведене тестування та описані основні негативні моменти у роботі цих пристроїв. Розглянуті відомості охорони праці по роботі з ПК та роботи у спеціалізованих комп'ютерних приміщеннях.

ВИСНОВКИ

В рамках атестаційної магістерської роботи здійснено розробку навігаційної системи мобільного робота на основі скануючого далекоміру.

Проведений огляд літератури та існуючих рішень по методам та пристроям визначення дальності. Розглянуті технології сканування простору на основі визначення дальності. Виокремлена найперспективніша галузь в якій розробка технічних і програмних рішень ведеться найменше у порівнянні з іншими галузями.

Для реалізації скануючих пристроїв була вибрана ультразвукова технологія визначення дальності, оскільки в даній технології розробка ведеться найменше й вона є потенційно не вивченою і перспективною для удосконалення та внесення інновацій.

На основі цього було розроблено дві моделі сканування простору та визначення координат об'єктів навколишнього простору. Першою з них є система з поворотним ультразвуковим модулем. Після реалізації та проведення тестування можна з впевненістю сказати що дана модель є дієздатною та може встановлюватись на мобільні платформи для проведення сканування навколишнього простору. Успішне використання можливе за умови покращення компонентів з яких зібраний прототип, оскільки у процесі тестування було виявлено що ультразвуковий модуль HC-SR04 володіє недостатніми показниками точності що в свою чергу призводить до неточності у вимірюванні в межах від 1 см до 5 см. Також удосконалення потребують сервомотори оскільки їх роздільна здатність обмежена, а пластиковий редуктор не може дати достатньої жорсткості. При проведенні цих удосконалень можна збільшити швидкість сканування яка є головним недоліком даної моделі.

Другою представленою моделлю була система зі статичним положенням датчиків яка показала себе набагато краще в точності проведення вимірів координат об'єктів але має ряд критичних особливостей. Дана модель не може

створювати трьохмірний простір, визначати габарити об'єкту та визначати декілька об'єктів, але має велику точність вимірювання, похибкою цієї системи складає в межах від 0,5 см до 1,5 см.

Якщо провести ряд удосконалень можна частково вирішити ці проблеми, наприклад шляхом збільшення кількості скануючих модулів що приведе до сегментації зон сканування і тоді з'являється можливість до визначення декількох об'єктів у просторі. Або як альтернатива створення поворотної бази для сенсорів завдяки чому можливе зміщення зони сканування в наслідок чого також з'являється можливість сегментації зони сканування.

Незалежно від можливих модифікацій дана система підходить для встановлення на мобільні платформи як система оповіщення про найближчі до мобільної платформи яка здатна з точністю до декількох сантиметрів визначити координати об'єкта у просторі.

В даних технологіях отримав розвиток метод триангуляції для використання у рішенні задач які дозволяють швидко та з високою точністю знаходити координати динамічного об'єкта в просторі мобільного робота.

Безумовною перевагою є комбінування цих систем на мобільних платформах для отримання найкращих результатів при навігації у просторі.

У ході виконання атестаційної роботи біло розроблено дві системи навігації, побудовані прототипи та написане програмне забезпечення для функціонування та тестування.

Наукова новизна роботи полягає у отриманні подальшого розвитку, метод триангуляції розрахунків для визначення координат перешкод для мобільних роботів в динамічному середовищі на базі ультразвукових сенсорів.

Результати атестаційної роботи можуть бути використані для оснащення мобільних платформ промислового та побутового призначення та як основа для подальшого удосконалення ультразвукової орієнтації роботів у просторі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст] - К.: ДП «УкрНДНЦ» , 2016. – 31 с.

2. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. – К.: пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 320 с.

3. Невлюдов, І.Ш. 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.

4. Положення про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/Polozhennya-pro-protidiyu-akademichnomu-plagiatu-v-HNURE----290-vid-28.04.2017.pdf (дата звернення: 29.08.2019р.). – Назва з екрану.

5. Михайлов, А.С. Системи орієнтації роботів в робочому просторі [Текст] / А.С. Михайлов // АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020). – 2020. – Вип. 1. – С. 91 – 95.

6. Моделирование взаимодействия работа с внешней средой на основе пространственных логик и распространения ограничений [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=2528> (дата

звернення: 01.12.2020). – Назва з екрану.

7. Ультразвуковые датчики | Академия робототехники ограничений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mirrobo.ru/micro/ultrazvukovye-datchiki/#> (дата звернення: 05.12.2020). – Назва з екрану.

8. Вильнер, В. Методы повышения точности импульсных лазерных дальномеров [Текст] / В. Вильнер, А. Ларюшин, Е. Рудь. // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2008. – №3 – С. 118 – 123.

9. Trimble DR: технология безотражательных измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kmcgeo.com/Articles/DRplus.htm> (дата звернення: 06.12.2020). – Назва з екрану.

10. Самодельный фазовый лазерный дальномер / Хабр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/213749/> (дата звернення: 06.12.2020). – Назва з екрану.

11. Бакулев, П.А. Радиолокационные системы [Текст] : учебник / П.А. Бакулев – М : Радиотехники, 2004. – 320 с.

12. Белоцерковский, Г. Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства [Текст] : учебник / Г. Б. Белоцерковский – М : Советское радио, 1975 – 336с.

13. Теоретические и физические основы радиолокации и специального мониторинга [Текст] : учебник / А. Н. Фомин, В. Н. Тяпкин, Д. Д. Дмитриев и др. ; под общ. ред. И. Н. Ищука. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 292 с.

14. «Радиолокация для всех»: просто о сложном [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rostec.ru/news/radiolokatsiya-dlya-vsekh-prosto-o-slozhnom/> (дата звернення: 06.12.2020). – Назва з екрану.

15. Автономная навигация мобильных роботов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://postnauka.ru/video/95572> (дата звернення: 09.12.2020). – Назва з екрану.

16. Development of GenNav: A Generic Indoor Navigation System for any Mobile Robot [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/vc/arxiv/papers/2005/2005.08567v1.pdf> (дата звернення:

10.12.2020). – Назва з екрану.

17. Гандзюк, М.П. Основи охорони праці [Текст] : навчальний посібник / М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський – К : Каравела, 2004. – 408 с.

18. НПАОП 0.00-1.31-99. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dnaop.com/html/245_3.html (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрану.

19. Цимбал, О.М. Системи адаптації роботів і технологія OpenCV [Текст] : навчальний посібник / О.М. Цимбал, А.І. Бронніков – Харків : ХНУРЕ, 2019. – 148 с.

20. Bronnikov, Artem. Flexible manufacturing tendencies and improvements with visual sensing [Текст] / Artem Bronnikov, Nevliudov Igor, Oleksandr Tsymbal. – Eskisehir Technical University Journal of Science and Technology. Applied Sciences and Engineering, 2019. Vol. 20, ICONAT issue, P. 77-83.

21. Nyevelyudov, I. Methods and Models of Intellectual Decision-Making Support for Automatized Control of Flexible Integrated Manufacturing [Текст] / I.Nyevelyudov, O.Tsymbal, A.Chochowski, V.Lysenko, V.Reshetiuk, D.Komarchuk, B. Kuliak – K.: Agrar Media Group, 2016. – 356 p.