

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

КАНЮКА РУСЛАН ЮРІЙОВИЧ

Допускається до захисту :
в.о.завідувача кафедри
інформаційних технологій,
к.т.н. , доцент,
_____ О. В. Зелінська

« ____ » _____ 20__ р.

**ВИЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛА АКУСТИЧНОЇ ХВИЛІ
ОДНОПОЗИЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ ЗВУКОЛОКАЦІЇ**

Спеціальності 122 Комп'ютерні науки

Кваліфікаційна(магістерська) робота

Науковий керівник:
О. П. Ротштейн, професор кафедри
інформаційних технологій,
д. т. н., професор

(підпис)

Оцінка: _____ / _____ /

(бали/за шкалою ЄКТС/за національною шкалою)

Голова ЕК: _____
(підпис)

Вінниця 2024

АНОТАЦІЯ

Канюка Р. Ю. Визначення джерела акустичної хвилі однопозиційною системою звуколокації. спеціальності 122 “Комп’ютерні науки”, Освітня програма «Комп’ютерні технології обробки даних (Data Science)», Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, 2024.

У кваліфікаційній роботі досліджено методів звукової локації та літератури по темі. Дослідження існуючих варіантів вирішення проблематика однопозиційності та методик, що застовуються в різних галузях. Показано: Розробка прототипів та їх подальше покращення, для досягнення задовільного результату. Встановлено власну однопизційну систему звукової локації.

Ключові слова: *ультразвукова локація, акустика, Arduino, датчик руху, звукова локація, Метод Калмана.*

ABSTRACT

Kaniuka R.Y. "Determination of the Source of an Acoustic Wave Using a Monostatic Sonar System". Specialty 122 “Computer Sciences,” Educational Program “Computer Data Processing Technologies (Data Science),” Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia, 2024.

The qualification work explores methods of acoustic location and literature on the subject. The study examines existing solutions to the challenges of monostatic sonar systems and techniques applied across various fields. The work demonstrates the development of prototypes and their subsequent improvement to achieve satisfactory results. A proprietary monostatic acoustic location system was established.

Keywords: ultrasonic location, acoustics, Arduino, motion sensor, acoustic location, Kalman filter method.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ	5
1.1 Звукові датчики руху та їх застосування в військовій справі.....	5
1.2. Відомі роботи в галузі звукових датчиків.....	11
1.3. Огляд вирішуваних завдань.....	16
РОЗДІЛ 2. ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНИХ ЗАВДАНЬ ТА ДОДАВАННЯ ДОДАТКОВОГО ФУНКЦІОНАЛУ	22
2.1 Вибір інструментарію для розробки та протипування.....	22
2.2 - Схематичне відображення розробляемого продукту та покращення точності, проектування прототипу системи акустичної локації	28
2.3 - Реалізація апаратно програмної взаємодії. Arduino бібліотеки та IDE. Створення та тестування прототипу	32
2.4 Перші технічні випробовування.....	41
РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ , ТЕСТУВАННЯ ПРОТОТИПІВ ТА ПРИЛАДУ	45
3.1 Перехід від теорії до реалізації прототипу. Прототип “пульта”	45
3.2. Додавання додаткового функціоналу та обробки даних.	56
3.3. Покращення продукту. Мінімізація розмірів приладу.....	66
3.4 - Фінальна реалізація продукту та його покращення	72
ВИСНОВОК.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76
ДОДАТКИ.....	79

ВСТУП

Було пройдено практичну підготовку на підприємстві «ІТ-СЕРВІС-ВІН». Де ми, щотижнево, здобували практичні навички разом з керівником фірми Стус Вікторією Олександрівною. В процесі при плідній праці з керівником практики було прогнозовано наступні кроки для проведення дослідження та розвитку ідеї даної роботи.

Звукові сигнали широко застосовуються в різних галузях. Одним із популярних застосувань є звукова локалізація. За допомогою якої місцезнаходження і напрямок джерела звуку визначаються шляхом аналізу звукового сигналу.

В даній роботі досліджується проблема виявлення звукових сигналів та розробляється система звукових датчиків для їх аналізу. Локалізація акустичних джерел зазвичай вимагає кілька мікрофонів, але також можливо використовувати одного мікрофону і дані отриманні ним на основі фізичних якостей сигналу.

Акустична локація широко використовуються як у військовому, так і в цивільному секторі для різних цілей, таких як навігація, геофізика, медицина та інші галузі. Компактне рішення, як одно позиційна система чудово підходить, як датчик для розумного будинку. В роботі досліджуються однопозиційна звуко локація. Вивчається точність отриманих данні з датчиків. Описуються схеми та принципи роботи системи звуко локації. Створюватимуться прототипи системи. Визначатиметься точність кінцевого результату та розглядатимуться різні підходи до комплектації системи.

Метою даної роботи є дослідження методів та літератури по темі для реалізації власної системи визначення джерела акустичної хвилі. Покращення її за допомогою аналізу отриманих даних фізичних явищ. Створення компактного та зручного прикладного рішення. Розробка власного програмного забезпечення при обмежених можливостях апаратного забезпечення.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Звукові датчики руху та їх застосування в військовій справі.

Акустичне позиціювання — це технологія, яка використовує звукові хвилі для виявлення, визначення місця розташування та аналізу об'єктів. Вона працює за принципом відправлення звукових імпульсів і вимірювання часу, який потрібен для повернення відлуння.

Незалежно від середовища або мети використання, принцип ґрунтується на застосуванні одного або кількох датчиків (мікрофонів) для збору даних і вимірювання через активний або пасивний пошук. Цей метод створює зображення або карту середовища та об'єктів, навіть у темряві чи під водою, що дозволяє визначати відстані в просторі. Завдяки акустичному позиціюванню ми можемо відстежувати об'єкти.

У дослідженнях цю технологію застосовують для вивчення атмосферних явищ, таких як блискавка чи турбулентність, а також у геофізичних дослідженнях, включаючи сейсмічну активність. В промисловості акустичне позиціювання використовується для неруйнівного контролю матеріалів і конструкцій, таких як труби, мости та будівлі.

Простота даної технології дозволяє реалізувати прототип за допомогою отриманих знань, так як для реалізації потрібен лиш мікрофон чи будь, який аналогічний приладів. Але, покращення роботи системи загалом досягається через збільшення кількості датчиків їх правильну взаємодію та правильну обробку даних. Загалом, звуколокація надає можливість виявляти, ідентифікувати та відстежувати об'єкти, що робить її надзвичайно корисною в різних технологічних та наукових

областях.

Перелік використання звуколокації варіюється в залежності від галузі застосування:

- Найвідомішим прикладом гідролокація кораблів є сонар.
- Природня здатність ехолокація кажанів, дельфінів та китів
- Дослідження сейсмічної активності
- Ультразвукова діагностика
- Протиракетна боротьба
- Пошук літаків(Застаріла технологія)

Однопозиційна система звуколокації (монопульсова система) – це система, яка використовує один пристрій або антену для випромінювання і прийому акустичних хвиль.

Однопозиційна система акустичної локації є простішою в конструкції та використанні, порівняно з багатопозиційними системами, які використовують кілька приймачів або антен для визначення місця розташування джерела звуку. Однак однопозиційні системи можуть мати обмежену точність у визначенні напрямку на джерело звуку, особливо у складних акустичних середовищах.

Перевагою таких систем є компактність та зручність використання через малі відстані датчиків(мікрофонів, антен) один від одного. Проблемою же, є неможливість, на відміну від багатопозиційних систем, зменшення точності даних та залежність результату від якості датчиків.

Односенсорна система звуколокації – це система, що використовує лише один датчик, як мікрофон, в пристрої для прийому акустичних хвиль.

Односенсорна сильно обмежена в можливостях на відміну від однопозиційні чи інших систем акустичної локації. Методи локалізації джерел в основному ґрунтуються на використанні варіацій єдиного фізичного параметру між отриманими сигналами, які походять з певного джерела. Наприклад з віддаленням об'єкту сигнал втрачає енергію і, отже, його амплітуда зменшується з відстанню. Якщо ми знаємо, яка амплітуда сигналу на початковій відстані, ми можемо оцінити відстань, аналізуючи зменшення амплітуди. Також при віддаленні змінюється : фаза, дистанція, гучність сигналу. При приближенні данні показники зростають.

Але даний підхід потребує початкових даних, що призводить до необхідності мати фіксоване розташування звукового джерела. На жаль, існуючі методи локалізації з використанням одного мікрофона обмежені акустичними джерелами, що мають фіксоване розташування.

Тож, важливо зазначити, що наявність хоча б двох сенсорів є необхідністю для розрахунку дистанції акустичного сигналу, що рухається, та початкове положення чи інші характеристик, якого для досліджувача не відомі.

Акустична локація включає два основні типи: активну та пасивну. Кожен з них має свої особливості та області застосування.

Активна акустична локація:

Активна акустична локація передбачає використання звукових імпульсів, які випромінюються в напрямку об'єкта, а потім аналізуються за допомогою відбитого сигналу. Цей метод дозволяє точно визначати відстань до об'єкта, його розмір, форму і навіть матеріал. Активна звуколокація широко використовується в таких сферах, як морська навігація (ехолот), медицина (ультразвукова діагностика), а

також в рятувальних операціях і військових застосуваннях (сонар для виявлення підводних човнів).

Пасивна акустична локація:

Пасивна акустична локація не передбачає випромінювання звукових імпульсів. Натомість, вона полягає у виявленні та аналізі вже існуючих звукових хвиль, що випромінюються самими об'єктами або іншими джерелами. Цей метод використовується для спостереження і моніторингу без активного втручання в середовище. Пасивна звуколокація застосовується для виявлення та відстеження джерел шуму, таких як двигуни підводних човнів, морські ссавці, а також у екологічних дослідженнях для моніторингу шумового забруднення і вивчення природних звуків.

Обидва типи акустичної локації мають свої переваги і обмеження. Активна локація забезпечує точніші дані, але може бути виявлена іншими об'єктами через випромінювання сигналу. Пасивна локація менш помітна, але залежить від наявності природних або штучних звукових джерел.

Приклади систем:

Сонар є пристроєм для визначення відстаней і розташування об'єктів за допомогою акустичних хвиль. Він складається з випромінювача, який генерує акустичні сигнали, та приймача, який отримує ехо-сигнали, відбиті від об'єктів. Отримані дані обробляються для визначення відстані до об'єктів, їх розміру та напрямку. Сонар використовується у морській навігації, рибальстві, підводних дослідженнях, обороні, медицині та інших галузях для дослідження і вимірювання у водних середовищах.

Військове застосування, наприклад, За кордоном широке поширення отримали системи «Бумеранг», розроблені міністерством оборони США, які реєструють звуки пострілу та прохід кулі або снаряду для виявлення та ідентифікації джерела вогню зі стрілецької та іншої зброї, незалежно від умов - будь то щільна забудова чи відкрита місцевість.

Окремою розробкою Укроборонпрому є система з назвою “Положення-2”(“Положеніє-2”).Розробка була розпочата в 1995 році та завершена в грудні 2012 року.

Про дану розробку описано небагато. “1AP1 “Положення-2” – автоматизований звукометричний комплекс розвідки вогневих позицій артилерійських гармат і мінометів... У склад комплексу “Положення-2” входять апаратна машина на базі багатоцільового транспортера МТ-ЛБу, три акустичні бази, дев’ять високочутливих датчиків-мікрофонів (звуко приймачів), метеостанція тощо.”[1]

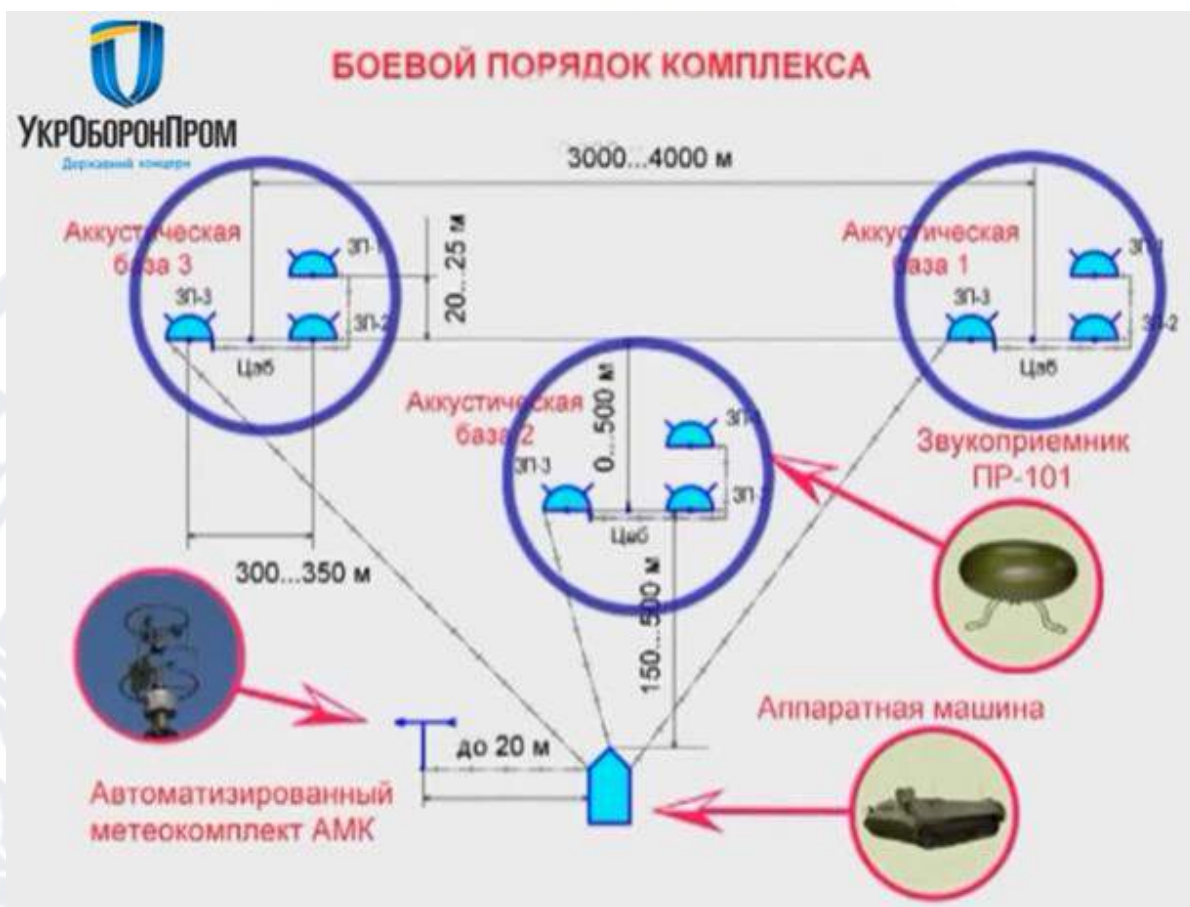


Рис 1.1 Схема роботи системи "Положення-2"

Ультразвук в медицині використовується для діагностики та лікування різних захворювань. Ультразвукова діагностика включає ультразвукове обстеження органів черевної порожнини, серця, щитовидної залози, м'яких тканин, акушерське УЗД вагітності та інші процедури для оцінки стану пацієнта. Ультразвук також використовується для терапевтичних цілей, наприклад для зняття біологічних тканин і лікування травм, відновлення тканин після травм або операцій, а також для знищення ракових клітин.

Далекомір серед різних пристроїв вимірювання дальності ультразвукове визначення дистанції є однією з найточніших опцій порівняно з лазерним вимірюванням. Далекомір генерує ультразвукові імпульси, які відбиваються від об'єкта і повертаються до датчика. Час, що потрібно для того, щоб ультразвуковий

сигнал відбився від об'єкта і повернувся до сенсора, використовується для вимірювання відстані. Вони використовуються, наприклад, в автомобільній промисловості для паркування та уникнення зіткнень, у вимірюваннях в медичній апаратурі, а також в промислових і робото-технічних системах для навігації і вимірювання відстаней.

Загалом використання систем акустичної локації має широке застосування, але невелике компакте рішення має безліч застосування, найцікавішим мабуть, є використання для вимірювання відстаней між IoT-пристроями або відстаней до об'єктів у фізичному середовищі. Це може бути корисно для автоматичного визначення місцезнаходження об'єктів або для моніторингу відстані між об'єктами. Дозволяючи визначити карти висот за допомогою ультразвуку чи матиме інше застосування.

1.2. Відомі роботи в галузі звукових датчиків.

Звук – це фізичне явище, яке виникає внаслідок механічних коливань частинок у середовищі (наприклад, повітря, вода, тверді тіла). Ці коливання передаються у формі хвиль і сприймаються людським вухом як звуки. Основні характеристики звуку як фізичного явища включають:

Величини звуку:

1. Частота (Frequency)

- о Вимірюється в герцах (Гц).
- о Визначає висоту звуку (високі чи низькі тони).
- о Діапазон чутності людського вуха: приблизно від 20 Гц до 20 000 Гц.

2. Амплітуда (Amplitude)

- о Визначає гучність звуку.
- о Вимірюється у децибелах (дБ).

- о Більша амплітуда відповідає гучнішому звуку.

3. Швидкість звуку (Speed of Sound)

- о Визначає швидкість поширення звукових хвиль у середовищі.
- о Залежить від типу середовища (наприклад, у повітрі при 20°C приблизно 343 м/с, у воді – приблизно 1500 м/с).

4. Довжина хвилі (Wavelength)

- о Відстань між двома послідовними піками або западинами хвилі.

5. Тривалість (Duration)

- о Час, протягом якого звук сприймається.

6. Тембр (Timbre)

- о Характеристика звуку, яка дозволяє відрізнити звуки однакової частоти і амплітуди, але різних джерел.
- о Визначається складом гармонік і спектральним складом звуку.

Поширення звуку в просторі та властивості:

- **Прямолінійне поширення:** Звукові хвилі поширюються прямо від джерела.
- **Відбиття (Reflection):** Звукові хвилі можуть відбиватись від перешкод, як-от стіни.
- **Заломлення (Refraction):** Зміна напрямку звукових хвиль при переході між середовищами з різною щільністю.
- **Дифракція (Diffraction):** Здатність звукових хвиль огинати перешкоди і поширюватися за ними.
- **Поглинання (Absorption):** Зменшення енергії звукових хвиль під час проходження через середовище.

Фізичні властивості та приклади:

- **Тон:** Одноманітний звук з постійною частотою.
- **Шум:** Неперіодичний звук з випадковими коливаннями частоти та амплітуди.
- **Музика:** Складний звук, що складається з основного тону і гармонік.

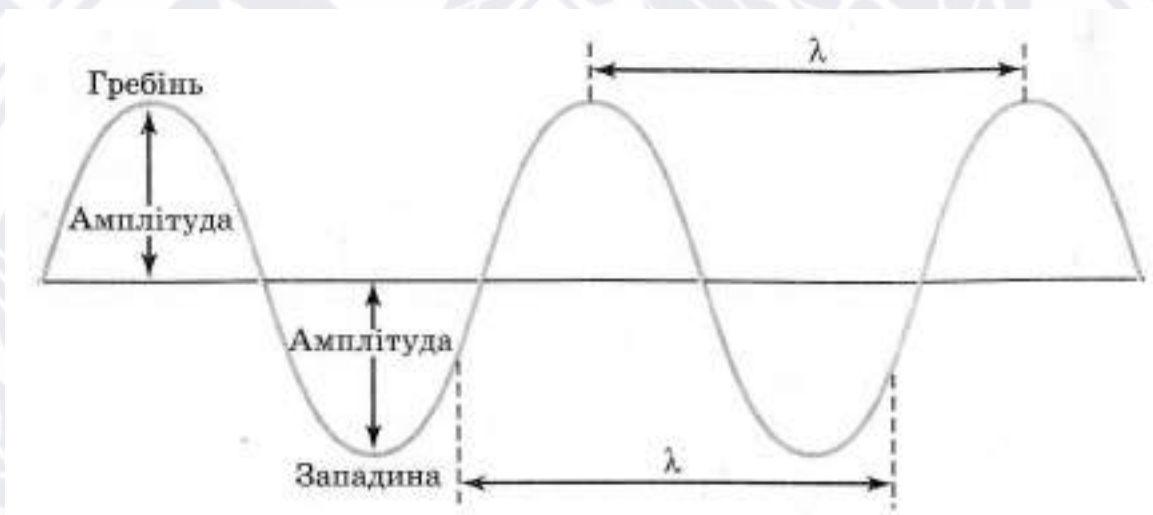


Рис 1.2 Представлення звукової хвилі та її властивостей.

Методи при активній акустичній локації:

Відстань до об'єкта можна обчислити, знаючи базову відстань між двома точками спостереження і кути, під якими об'єкт спостерігається з цих точок за допомогою тригонометрії.

Найпростішим та найлогічнішим методом для визначення відстані є обрахування часу за який акустичний сигнал передається до цілі та назад, що має назву **метод часу польоту (Time of Flight,ToF)**.

Цей метод заснований на вимірюванні часу, який потрібен звуковому імпульсу для досягнення об'єкта і повернення назад до приймача. Відстань до об'єкта визначається за формулою:

$$d = \frac{vt}{2}, \quad (1.1)$$

де d – відстань;

v – швидкість звуку у середовищі;

t – час затримки.

У повітрі при кімнатній температурі швидкість звуку зазвичай приймається як 343 м/с.

Інший метод базується на ефекті Доплера призначений більше для реакції для руху вже визначеного тіла. Рухоме звукове джерело створює ефект Доплера, коли частота звукового сигналу змінюється в залежності від швидкості і напрямку руху джерела відносно приймача. Аналіз доплерівського зсуву частоти дозволяє визначити швидкість і напрямок руху джерела.

Методи для пасивної акустичної локації:

Для даної локації необхідно, як мінімум два приймача(антени, мікрофона та інші). Використовується кілька приймачів, розташованих на певних відстанях один від одного. Вимірюється різниця в часі прибуття звукового сигналу до кожного приймача, що дозволяє визначити напрямок на джерело звуку та відстань до нього. синхронізуються між собою, що дозволяє точно виміряти час прибуття сигналу. Даний метод має назву **різниці часу прибуття (Time Difference of Arrival, TDOA)**.

Зазвичай використовується три або більше приймачів для точного визначення положення джерела звуку в двовимірному або тривимірному просторі. Дані про різницю часу прибуття сигналу між приймачами використовуються для побудови

гіперболічних кривих, перетин яких вказує на положення звукового джерела. Різниці часу прибуття можуть бути розраховані так для двох приймачів:

$$\Delta t = t_1 - t_2 \quad (1.2)$$

Де Δt – різниця часу;

t_1 – час отримання для першого приймача;

t_2 – час отримання для першого приймача.

На основі різниць часу прибуття обчислюються гіперболи (у двовимірному просторі) або гіперболоїди (у тривимірному просторі), які представляють можливі положення джерела звуку. Перетин цих гіпербол або гіперболоїдів визначає точне місце розташування джерела.

Для точного визначення TDOA необхідно мати достатньо велику відстань між датчиками. Чим менша відстань між датчиками, тим менше часова різниця приходу сигналу до них. Це може зробити вимірювання часових різниць менш точними, що значно ускладнює визначення місцезнаходження. Що для однопозиційні системи, є не припустимим так, як датчики знаходяться безпосередньо поруч.

Оскільки система рівнянь є нелінійною, часто використовують методи лінеаризації для спрощення розрахунків. Один із методів полягає у лінеаризації рівнянь за допомогою розкладання Тейлора або застосування числових методів, таких як метод Ньютона-Рафсона.

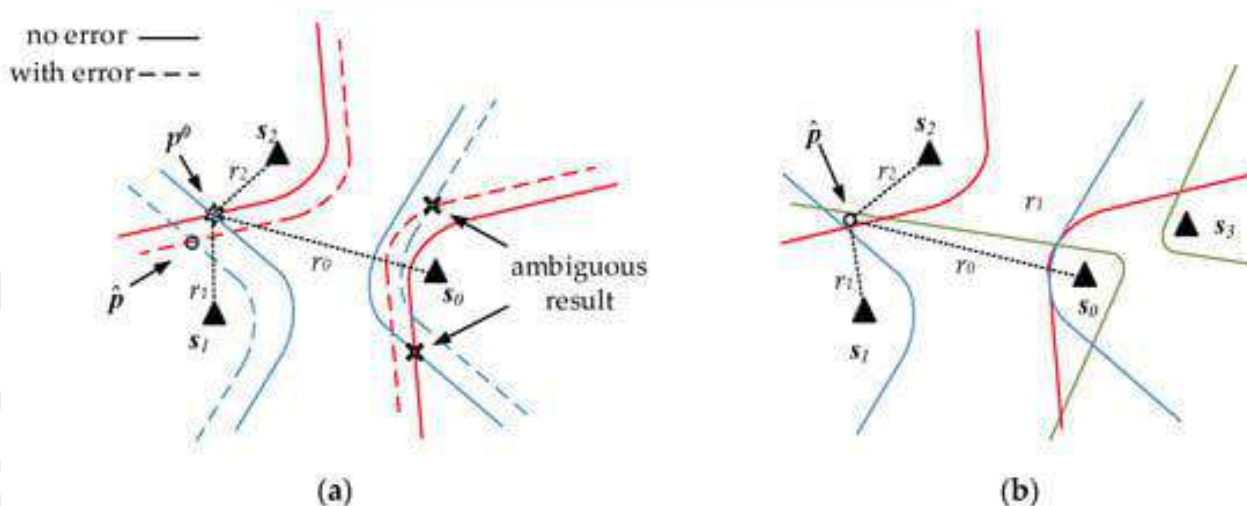


Рис. 1.3 Представлення даних з сенсорів акустичної локації з 3-ома датчиками

Альтернативою подібно до активного пошуку є зміна інтенсивності звуку, що зменшується з відстанню. Знаючи початкову інтенсивність джерела, можна відслідковувати зміну положення тіла.

1.3. Огляд вирішуваних завдань

Поставлені завдання:

- Вибір інструментарію для розробки та протипування
- Реалізація апаратно програмної взаємодії
- Обробка отриманих даних та покращення точності
- Схематичне відображення розробляемого продукту
- Створення та тестування прототипу
- Додавання додаткового функціоналу приладу
- Мінімілізація розмірів приладу
- Покращення швидкості реагування
- Покращення продукту
- Фінальна реалізація продукту та його покращення

Обробка отриманих даних та покращення точності. Неоднорідність навколишнього середовища має прямий вплив на отриманий результат, що призводить до виникнення відхилень в даних. Природні або штучні звуки в навколишньому середовищі можуть заважати виявленню і обробці акустичних сигналів. Перелік можливих шумів незлічений проте серед основних можна виділити звуки вітрів, міста, машин та інші.

Для вирішення проблеми застосовують методи усереднення(передбачення), як Фільтр Калмана. Метод дозволяє зменшити похибку в точності вимірювань відстані до дистанції акустичного джерела. Та чудово підходить для обробки даних з великою кількістю випадкових відхилень чи шумів.



Рис. 1.4 Представлення даних з фільтрацією за методом Калмана

До того ж інтерференція відбитих та оригінального звуку ускладнює точне визначення положення звукового джерела в системах акустичної локації. Однак

використання сучасних методів обробки сигналів, фільтрації та акустичного проектування дозволяє значно зменшити вплив інтерференції і підвищити точність локалізації.

Окремою проблемою руху об'єкта є **ефект Доплера**. Особливий вид явища, коли частота або довжина хвилі звукового або світлового сигналу змінюється через рух об'єкта, що генерує хвилі або спостерігача відносно один одного. Це явище було описано австрійським фізиком Крістіаном Доплером у 1842 році. Якщо об'єкт рухається до спостерігача, то частота хвиль збільшується, що сприймається як збільшення звуку або світла. Якщо об'єкт рухається від спостерігача, то частота хвиль зменшується, що сприймається як зменшення звуку або світла.

Загальна формула(+ чи – залежить напрямку від напрямку руху тіла):

$$f' = f \left(\frac{v \pm v_0}{v \pm v_s} \right) \quad (1.3)$$

Де f' — спостережувана частота;

f — вихідна частота джерела;

v — швидкість звуку в середовищі (наприклад, у повітрі або воді);

v_0 — швидкість спостерігача відносно середовища;

v_s — швидкість джерела відносно середовища.

Методи обробки даних:

Враховуючи похибки розрахунків і фактори зовнішнього середовища, використовуються методи обробки даних. Це дозволяє отримати більш точні дані для майбутніх розрахунків. Різноманітні фільтри, такі як Kalman або RMS, зменшують шум і підвищують точність вимірювань.

Ці методи дозволяють усунути спорадичні варіації та підвищити чіткість сигналу. Як зазначалося раніше, фільтр Калмана використовує статистичну модель динаміки для прогнозування наступного стану системи, використовуючи попередню інформацію.

Це означає, що він передбачає очікувані значення та залишається незахищеним від перешкод. Для швидких результатів і негайних завдань, на додаток до методу Калмана, існує швидке перетворення Фур'є (ШПФ). Він використовується для ретельного вивчення частотного розподілу сигналу. Це дає змогу визначити цінну інформацію від перешкод, а також визначити чіткі тони елементів.

Швидке перетворення Фур'є швидко обчислює дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) для багатьох точок даних. Перетворення Фур'є – це математичний метод, який перетворює сигнали з часової області в частотну область і взаємно. Цей метод є швидшим методом обчислення дискретного числа, підвищення ефективності миттєвої роботи та обробки об'ємних наборів даних. Загальна формула Фур'є (Дискретне перетворення Фур'є).

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{j2\pi nk}{N}} \quad (1.4)$$

де: $X[k]$ - коефіцієнт дискретного перетворення Фур'є для частоти k ;

$x[n]$ - вхідна послідовність;

N - кількість відліків у послідовності;

j - уявна одиниця ($j = \sqrt{-1}$).

Альтернативним методом є зворотне дискретне перетворення Фур'є, яке реконструює аудіосигнал з його частотного представлення. Слуховий сигнал можна розділити на окремі частотні сегменти за допомогою дискретного перетворення Фур'є. Це полегшує ідентифікацію частот, що містяться в сигналі, та їх відповідної інтенсивності. Зображення частоти сигналу дозволяє застосовувати фільтри для усунення шуму або інших небажаних частотних елементів із звукового сигналу.

Кореляційне обстеження — це метод аналізу сигналів, який використовується для визначення ступеня подібності між двома сигналами або двома хронологічними наборами даних. Оцінка кореляції використовується для визначення тимчасового розриву між двома сигналами. Речення: цей метод дійсно хороший для визначення місця розташування шумів і допомагає точно визначити, звідки надходять звуки в різних цілях, як-от домашня охорона, заводські звукові детектори та перевірка працездатності машин.

Це допомагає визначити найбільш синхронізовані екземпляри між двома сигналами та обчислити дисперсію в їх синхронізації. Фундаментальна концепція передбачає порівняння хронологічної події (або імпульсу) зі зміщеним у часі відповідником і кількісне визначення ступеня подібності або асоціації між ними. Кореляційний аналіз допомагає знайти часові проміжки в хвилях сонара, обчислити, наскільки далеко знаходяться об'єкти за звуком, усунути небажаний шум із хвилі, враховуючи, чи збігаються шум і основний сигнал. Сьогодні ми обробляємо дані за допомогою інтелектуальних комп'ютерних програм, які

навчаються на основі великих колекцій інформації та стають кращими у пошуку речей, використовуючи те, що вони навчилися раніше.

Машинне навчання , лише розвивається проте сучасні методи обробки даних все частіше включають алгоритми машинного навчання, які здатні вивчати патерни у великих наборах даних і покращувати точність локалізації на основі попереднього досвіду.

Для визначення відстані за допомогою звуку можна використовувати методи машинного навчання, які аналізують акустичні сигнали, що відбиваються від об'єктів, і визначають відстань на основі часу затримки або інших характеристик сигналу. Також можуть застосовуватися традиційні методи обробки сигналів, такі як кореляція або фільтри, для витягнення інформації про відстань із звукових даних.

Ці методи та алгоритми дозволяють ефективно визначати відстань до об'єктів і обробляти отримані дані, забезпечуючи точність і надійність акустичної локації в різних умовах.

В результаті можна визначити обмеження, що виникають для однопозиційної системи. Використання пасивної звуколокації та методу різниці часу прибуття (TDoA) не можуть бути застосованими в даному випадку, так як дистанція між датчиками буде занадто мала для визначення точного значення, а збільшення дистанції в метр не матиме сенсу для такої компактної розробки.

РОЗДІЛ 2

ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНИХ ЗАВДАНЬ ТА ДОДАВАННЯ ДОДАТКОВОГО ФУНКЦІОНАЛУ

2.1 Вибір інструментарію для розробки та протипування.

Для створення власної плати постає питання проектування та перевірки її правильності. Проектування, виготовлення та налагодження плати може зайняти значно більше часу, ніж використання готових рішень. Також на відміну від популярних платформ, у вас не буде доступу до великої спільноти користувачів та готових рішень для вашої плати.

Тому для початку вибір готового рішення мікроконтролера дозволить не лише адаптувати систему в процесі, а й користуватись готовими програмними рішеннями, як середа розробки Arduino чи готовими модулями, датчиками та рішеннями.

Наприклад просте завдання реалізації власного ультразвукового датчику, потребуватиме як високої кваліфікації, грошових витрат так і може мати наслідки виникнення помилок.

Для реалізації даної задачі потрібне доступний та зручний мікроконтролер. Непоганим варіантом для створення прототипу чи, навіть повноцінно функцінуючої системи є сімейство плат та програмного забезпечення Arduino.

Arduino платформа для розробки електронних пристроїв, яка включає апаратне забезпечення (плати з мікроконтролерами) та програмне забезпечення (середовище програмування Arduino IDE). Комплектуючі Arduino надають широкий спектр можливостей для створення різних проектів.

Альтернативою та покращеним варіантом мікроконтролерів є **Raspberry Pi**. За рахунок кращої працездатності новітніх чіпів, Raspberry надає більшу кількість можливостей. Але не має настільки організованої бази знань та готових рішень, як

Arduino. Ще варто виділити інші марки зручні для розробки, як мікроконтролери **ESP32** (і інші версії), Платформа **Particle** для IoT рішень.

Основною перевагою Arduino є зручність та невелика ціна елементів для створення схем.

Плати Arduino та елементи схеми:

Arduino Uno найпопулярніша плата, ідеальна для початківців. Оснащена мікроконтролером ATmega328P, має 14 цифрових входів/виходів і 6 аналогових входів. Вона має швидкість 16 МГц, цифрові та аналогові входи/виходи, можливість живлення від USB або зовнішнього джерела, а також підтримку різних інтерфейсів зв'язку.

Arduino UNO ідеально підходить для початківців та професіоналів завдяки своїй простоті використання, великій спільноті користувачів і розширеним можливостям розширення. Arduino UNO є надійним і універсальним мікроконтролером, який підходить для широкого спектру застосувань, від навчання до професійних розробок.

Характеристики

Оперативна пам'ять:	2 Кб
Пам'ять на незалежному носії: (Аналог BIOS у ПК)	1 Кб
Пам'ять для запуску програм: (з яких 0,5 Кб зайнято самим завантажувачем)	32 Кб
Вхідна напруга від джерела живлення:	7-12 В
Тактова частота мікропроцесора:	16 МГц
Підключені датчики та модулі керуються струмом:	
☐ 40 мА - для основної робочої напруги 5 В ☐ 50 мА - для додаткової напруги 3,3 В	

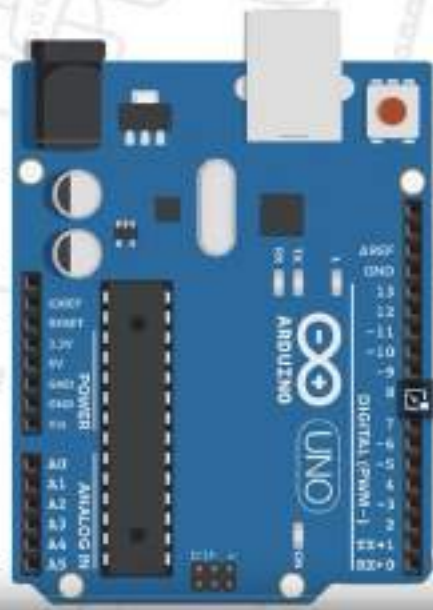


Рис 2.1 Плата Arduino UNO

Arduino Nano - Компактна версія, зручна для вбудовування в маленькі пристрої. Має подібні характеристики до Uno, але в меншому форм-факторі. Arduino Nano є високопродуктивним і легким у використанні мікроконтролером, який забезпечує гнучкість і простоту у розробці електронних проектів за рахунок компактності та меншої кількості доступ портів та контактів.

Переваги Arduino в ціні та доступні, але при нагоді використання покращених плат, як Raspberry, буде кращим за рахунок продвинутіших функцій.

Для роботи потрібен динамік та мікрофон, що матиме здатність, як приймати звукові сигнали так і відправляти їх. Для плат arduino є прийнятними:

П'єзоелектричний динамік (Piezo Buzzer) призначений для відтворення простих звуків. Економічне рішення для простих звукових сигналів, що працює за рахунок коливання контуру, та часто зветься "пищалкою". Для проекту не може

створити достатню частоту звуку, який не згасне в просторі. Не направлений, як динамік, що створюватиме багато шуму від відбиття звуку.

8 Ом, 0.2 Вт-1Вт динаміки звичайні малі динаміки кращі за п'єзоелектричні. Відтворюють більш якісний звук, ніж п'єзоелектричні динаміки, особливо для музики або складних звукових ефектів. Динаміки, які можна підключити до Arduino через підсилювач, наприклад, **РАМ8403** для досягнення достатнього результату. Але, недостатня потужність чи необхідність додаткового обладнання є незручним при розробці, так і не може бути основою компактного продукту.

Компактні динаміки з підсилювачами. Динаміки з вбудованим підсилювачем, які можуть працювати з сигналами від Arduino без потреби в додаткових модулях. Наприклад, деякі рішення від Adafruit або SparkFun мають вбудовану підтримку для Arduino.

Ультразвуковий датчик HC-SR04 є простим у використанні модулем для вимірювання відстані за допомогою ультразвукових хвиль. Він відправляє короткі ультразвукові сигнали і приймає їх ехо, що дозволяє виміряти відстань до об'єктів. Датчик має хороший діапазон вимірювання (від 2 см до 400 см) і прийнятну точність (зазвичай ± 3 мм). HC-SR04 простий у підключенні до мікроконтролерів, таких як Arduino, та знайомий багатьом інженерам через свою доступність та низьку вартість.



Рис 2.2 Ультразвуковий датчик HC-SR04

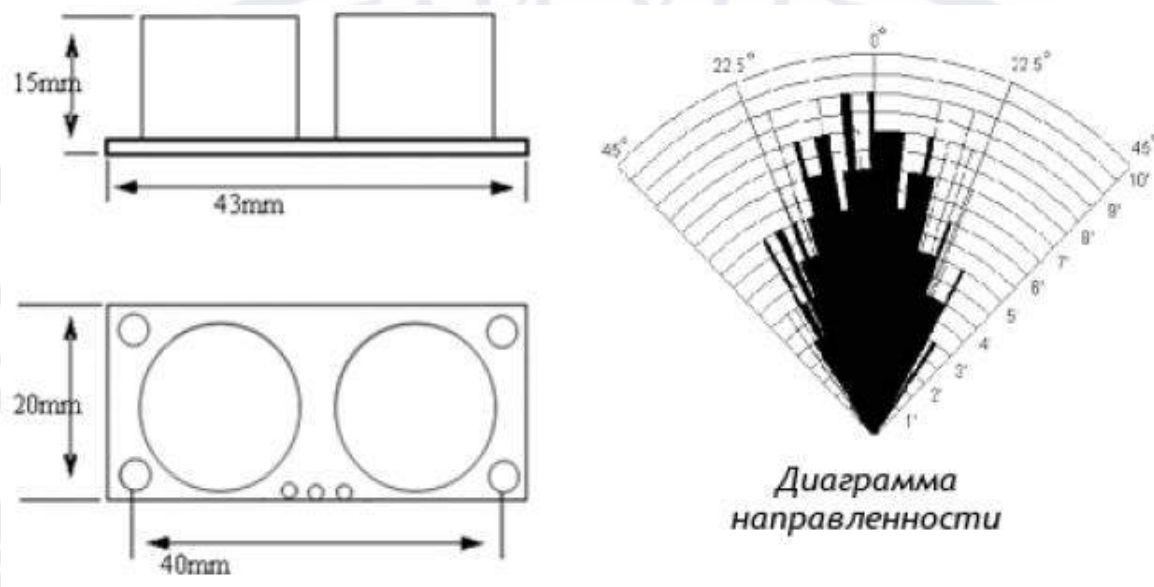


Рис 2.3 Розмір та представлення датчику HC-SR04 отриманих даних.

Модуль мікрофона з регулюванням чутливості (KY-038 або аналогічні) призначений для простого виявлення звуку або вимірювання рівня шуму. Він має аналоговий вихід, що дозволяє зчитувати рівень звуку, а також підтримує регулювання чутливості. Основною перевагою цього модуля є простота використання, проте його функціональність обмежена лише детектуванням наявності звуку або визначенням рівня шуму, а не для точного розпізнавання чи обробки аудіо сигналів. Цей модуль ідеально підходить для проєктів, де потрібна реакція на наявність чи відсутність звуку, наприклад, для активації пристрою при виявленні шуму.



Рис 2.4 Розмір та представлення датчику мікрофона.

Модуль з електронним мікрофоном MAX9814 дозволяє виявляти і вимірювати аудіо сигнал з автоматичним регулюванням посилення залежно від рівня звуку. Він більш чутливий у порівнянні з простішими модулями і добре підходить для запису аудіо сигналу для подальшої обробки. Однак, його підключення і обробка сигналу дещо складніші. Модуль використовується в проектах для голосових команд, обробки аудіо сигналів та в системах розпізнавання голосу.

Модуль мікрофона для запису (SparkFun MEMS Microphone Breakout - INMP401) призначений для високоточного запису аудіо сигналу в проектах з обробкою звуку. Він підтримує цифровий вихід через I2S, що забезпечує точнішу передачу сигналу. Модуль характеризується високою чутливістю і мінімальним рівнем шуму, але для роботи з ним потрібна спеціальна обробка сигналу на Arduino. Він підходить для проектів, де потрібно розпізнавати аудіо сигнали або голос, таких як голосовий контроль чи аудіо аналіз.

Вибір залишається за двома варіантами використання мікрофону та динаміку з підсилювачем або ж ультразвукового датчику. Хоча обидва чудові ультразвуковий датчик, краще використання динаміків для відправлення звукових сигналів і вимірювання часу відлуння для визначення відстані до об'єкта нагадує принцип роботи ультразвукових дальномірів.

Так, як точність є критично важливою, гарним варіантом є використання **ультразвукових сенсорів** (наприклад, HC-SR04), які розроблені ефективно працювати на відстанях до 4-5 метрів.

Додаткові рішення, що надає Arduino:

Сервопривод : Сервоприводи використовуються для точного кутового переміщення. Вони мають внутрішню зворотній зв'язок, що дозволяє точно контролювати їх положення.

Акселерометри та гіроскопи: Вимірюють прискорення та кутову швидкість.

Ліквід-кристал (LCD) дисплеї: Використовуються для виводу тексту та графіки. Відображення інформації з сенсорів, користувацьких інтерфейсів, інформаційні панелі.

LED світлодіоди: Використовуються для візуальних сигналів і світлових ефектів.

Реле: Використовуються для перемикання високої потужності.

Wi-Fi і Bluetooth модулі: Дозволяють зв'язок з іншими пристроями і мережами.

RFID-системи дозволяють зчитувати та записувати дані на RFID-теги, що відкриває безліч можливостей у сфері контролю доступу, інвентаризації тощо.

2.2 - Схематичне відображення розробляемого продукту та покращення точності.

, проектування прототипу системи акустичної локації

Теоретична основа апарату нагадує автоматичний детектор руху, але з розширеною функціональністю. Пристрій повинен виявити шум, що наближається до нього з невеликої відстані, щоб визначити походження звуку.

Встановлюючи запланований шлях, привод відповідним чином приводить в рух ультразвукові датчики. У цей момент детектори передадуть сповіщення про джерело шуму, щоб визначити його близькість.

Плата Arduino дозволить обробляти передану інформацію. Основні елементи проекту. Мікрофон (ультразвуковий датчик) Для запису звуку. Важливо, щоб мікрофон мав достатню чутливість для сприйняття звуку в заданому діапазоні. Для розрізнення навколишніх звуків і звукових сигналів, на які має реагувати апарат,

необхідно використовувати фільтрацію та звукове уточнення. Ви можете застосувати спектральне розкладання (наприклад, за допомогою перетворення Фур'є), щоб усунути зайвий шум і підкреслити відповідні звукові сигнали.

Існує багато методів, як було описано раніше. Мікроконтролер Arduino або альтернативні системи можуть аналізувати аудіо, відстежуючи його амплітуду або частоту. Код ретельно перевірить сигнал і, залежно від встановлених параметрів, ініціює відповідну відповідь (тривога, маркер або інша дія). Приєднання сервоприводу до механізму акустичного виявлення може значно розширити його функціональність, зокрема для точного визначення джерела звуку або точного налаштування орієнтації апаратів чи обладнання.

Сервопривід можна використовувати для зміни орієнтації мікрофонів або ультразвукових перетворювачів залежно від походження акустичного сигналу. Потім за допомогою системи керування двигуном відрегулюйте траєкторію пристрою.

Arduino оснащений бібліотеками, призначеними для інтерфейсу серводвигуна, такими як Servo. h, що спрощує процес керування серводвигуном. Таким чином, механізм може легко повертатися або змінюватися залежно від траєкторії шуму або місця випромінювача. Це підвищить точність і ефективність системи.

Однопозиційна, що дозволить мати зручну та компактну версію приладу.

- Використовувати, щонайменше один датчик з активним пошуком.
- Використовувати метод часу польоту (ToF) для обрахування відстані, так як система однопозиційна та не має можливості використовувати метод різниці часу для пасивного пошуку.
- Для обробки даних може використовуватись фільтр Калмана та Швидке порівняння Фур'є.

- Для створення прототипу використовуватиметься Arduino та інші деталі з набору ардуїно.
- Досліджуватиметься, якість обробки даних та доцільність використання двох датчиків на протигагу одного. Досліджуватимуться варіанти покращення системи, методами обробки даних..
- Прототип має на меті визначити основні проблеми системи, для подальшого його покращення.

За для проектування схеми буде використано **Tinkercad** його використовують для навчання, прототипування та розробки електронних і механічних проектів. Він дозволяє швидко і ефективно створювати, тестувати і оптимізувати різноманітні ідеї без потреби у фізичних компонентах і обладнанні.

Має великий набір елементів для проектування схеми та дозволяє створювати схеми, використовувати мікропроцесори Arduino та елементи **Tinkercad** є потужним інструментом для студентів, любителів електроніки та професіоналів, які працюють у сфері розробки пристроїв і вбудованих систем.

За допомогою середовища була спроектовану схему, для підключення двох ультразвукових датчиків HC-SR04, до плати Arduino Uno.

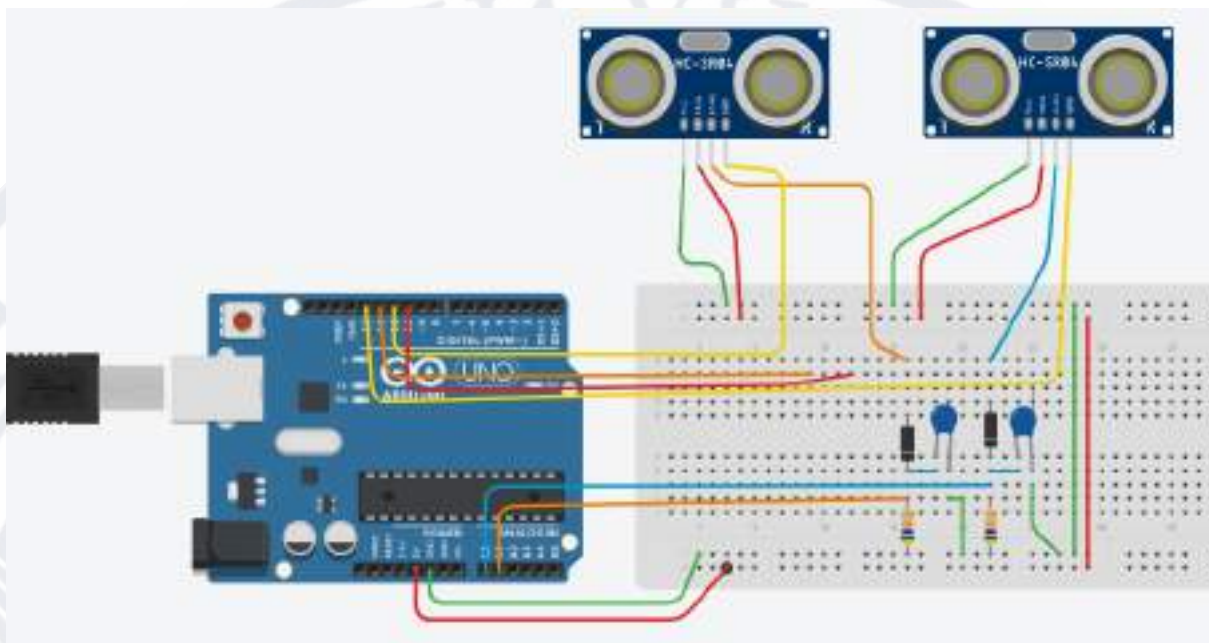


Рис 2.5 Проект прототипу системи

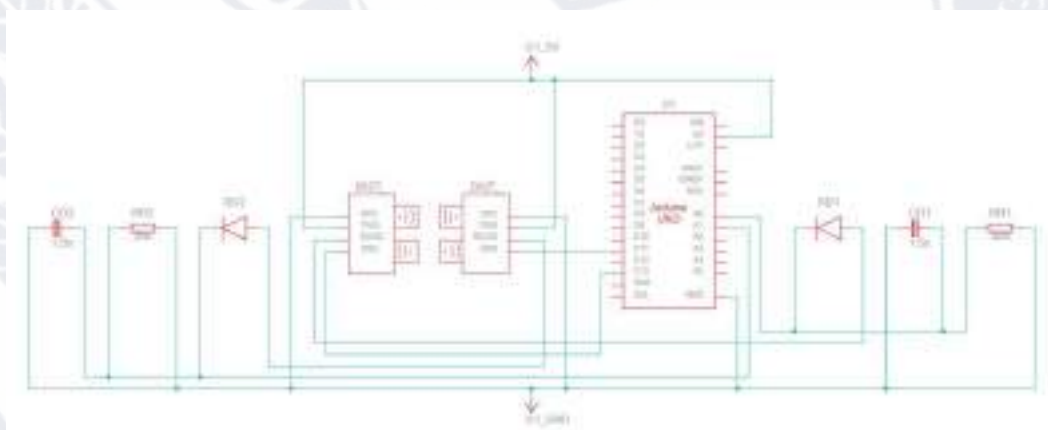


Рис 2.6 Електрична схема прототипу системи

2.3 - Реалізація апаратно програмної взаємодії. Arduino бібліотеки та IDE. Створення та тестування прототипу

Електричні схеми для Arduino зазвичай складаються з різноманітних компонентів, що забезпечують керування, живлення та взаємодію з іншими елементами. Основу складає мікроконтролер, як-от Arduino UNO або Arduino Nano, що містить процесор, порти введення-виведення, оперативну пам'ять і флеш-пам'ять для зберігання прошивки. Для з'єднання компонентів між собою часто використовуються макетні плати (бредборди) та провідники, що спрощує складання схем без потреби в пайці.

Резистори застосовуються для обмеження струму, що захищає світлодіоди та інші компоненти від перевантаження. Конденсатори використовують для фільтрації шумів, згладжування сигналів або накопичення енергії. Світлодіоди (LED) виконують функцію індикаторів, а також можуть керуватися програмно через вбудований в плату світлодіод. Дисплеї, такі як LCD або OLED, використовуються для виведення даних на екран.

Транзистори працюють як перемикачі або підсилювачі сигналів, що дозволяє Arduino контролювати потужні навантаження. Діоди захищають від зворотного струму, запобігаючи пошкодженням компонентів. Важливими елементами також є датчики, наприклад температури, руху, освітленості або ультразвукові, які зчитують інформацію з навколишнього середовища.

Кнопки й перемикачі використовуються для керування пристроями і взаємодії з програмою на Arduino. Потенціометри, як регульовані резистори, дозволяють налаштовувати опір, що корисно для керування рівнем сигналів або яскравістю світлодіодів. Реле дають змогу мікроконтролеру керувати більш потужними пристроями або високовольтним обладнанням.

Серво-мотори й двигуни використовують для точного контролю рухів у робототехніці або автоматизованих системах.

Плати розширення (шилди) додають можливості до стандартних функцій Arduino, наприклад, Ethernet-модулі або шилди для керування моторами чи підключення сенсорів.

П'єзoelementи застосовуються для генерації звуків або сигналізації, динаміки та мікрофони для роботи зі звуком.



Рис 2.7 Різновид деталей та готових рішень від Arduino

Попри просту конструкції, варто бути обачним при розробці елементів. Для правильного з'єднання елементів в електричній схемі необхідно забезпечити її стабільну роботу та безпеку. Не підключайте пристрій одразу до мережі 220 вольт! Спочатку знеструмте приміщення і переконайтеся, що напруги немає. Якщо у вас не має досвіду роботи з електрикою або ви сумніваєтесь, попросіть про допомогу у компетентних людей або працюйте з освітленням низької напруги, наприклад 24 вольт.

Елементи можуть бути з'єднані або послідовно, або паралельно, залежно від необхідного результату. У послідовному з'єднанні компоненти підключаються один за одним, що забезпечує однаковий струм через всі елементи, тоді як напруга розподіляється між ними, що добре підходить для резисторів чи світлодіодів.

Паралельне з'єднання забезпечує однакову напругу на кожному елементі, а струм між ними розподіляється, що підходить для живлення різних пристроїв.

Важливо правильно підключати компоненти, які мають **полярність**, як-от світлодіоди, конденсатори або транзистори, оскільки неправильне підключення може спричинити їх пошкодження.

Макетні плати дозволяють легко тестувати схеми без пайки, оскільки вони спрощують підключення компонентів. Для підключення необхідно використовувати проводи відповідного перерізу, зважаючи на рівень струму в схемі, і дотримуватися кольорового маркування для живлення, заземлення і сигнальних ліній.

Якщо Arduino або інший контролер не здатен безпосередньо керувати потужними пристроями, слід використовувати реле або транзистори для захисту. **Діоди можуть забезпечити захист від перенапруги**, що є важливим при роботі з індуктивними навантаженнями, такими як двигуни. **Завжди перевіряйте схему наявності помилок у з'єднаннях**, особливо перед тим, як подавати живлення. Помилки можуть призвести до пошкодження компонентів.

Важливо уникати коротких замикань, не з'єднуючи напругу живлення з заземленням. Резистори слід використовувати для обмеження струму в схемі, особливо при роботі зі світлодіодами чи іншими чутливими елементами. Для тимчасових з'єднань підходять макетні плати або затискачі, а постійні з'єднання краще паяти для надійності.

Підключене ардуїно за допомогою USB кабелю має захист проти короткого замикання, але не елементи на платі.

Контакти на платах Arduino дозволяють підключати різні компоненти, датчики, модулі та виконавчі пристрої, і вони мають різні функції. Живлення забезпечують контакти VIN, 5V, 3.3V і GND. Контакт VIN використовується для подачі зовнішнього живлення на плату Arduino, наприклад, від батареї чи адаптера, з напругою від 7 до 12 В.

Контакт 5V забезпечує 5 В постійного струму для живлення компонентів, таких як датчики або світлодіоди, а контакт 3.3V постачає 3.3 В для компонентів з низькою напругою, хоча він має обмежену потужність. Контакти GND служать для заземлення, з'єднуючи всі компоненти з негативним полюсом живлення для замикання електричного кола. Якщо використовуєте багато компонентів одночасно, розумно розподіляти навантаження між лініями живлення і враховувати максимальну спроможність кожної лінії.

Для великих проектів часто використовують окремі регулятори для 5В і 3.3В або живлення від зовнішніх джерел. Попри захист не варто з'єднувати ці дві напруги в будь-який спосіб.

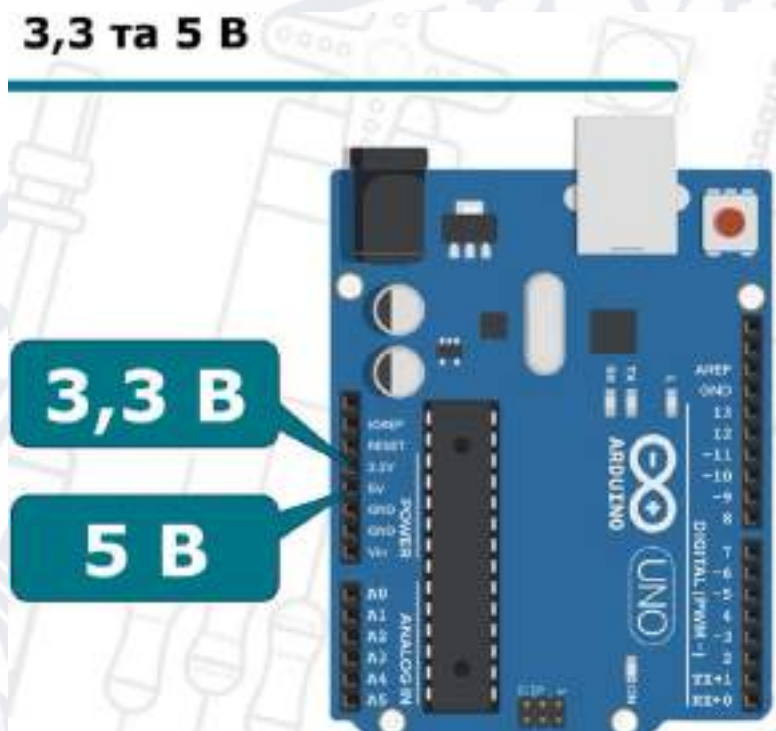


Рис 2.8 Контакти для подачі напруги на платі ардуїно

Arduino Uno має 20 контактів для програмної подачі сигналів. 14 Цифрових контактів, що пронумеровані від 0 до 13 справа та 6 аналогових контактів зліва на рис 2.8.

Цифрові контакти нумеруються як D0–D13 (для Arduino UNO) і можуть бути використані як входи або виходи залежно від коду. Вони можуть читати або подавати сигнали 0 або 1 (логічне «низьке» або «високе» значення — 0V або 5V). Деякі з них, такі як D3, D5, D6, D9, D10 і D11, підтримують PWM (модуляцію ширини імпульсу), що дозволяє симулювати аналоговий вихід для керування яскравістю світлодіодів або швидкістю двигунів.

Аналогові контакти (A0–A5 на Arduino UNO) можуть вимірювати змінну напругу від 0V до 5V і використовуються для зчитування сигналів з аналогових датчиків. Вони мають 10-бітну роздільну здатність, що означає перетворення сигналу в значення від 0 до 1023 для точного вимірювання.

Деякі контакти мають спеціальні функції, такі як TX і RX (D0 і D1) для серійного зв'язку (UART), які використовуються для передачі і прийому даних. Контакт Reset використовується для скидання плати Arduino, а контакт AREF дозволяє задавати зовнішню опорну напругу для аналогових входів. Arduino підтримує також I2C та SPI інтерфейси. I2C — це двопровідний інтерфейс для зв'язку з датчиками і модулями, де A4 служить для передачі даних (SDA), а A5 — для синхронізації (SCL).

SPI — швидкий інтерфейс для спілкування з периферійними пристроями, такими як дисплеї, і використовує контакти D12 (MISO), D11 (MOSI), D13 (SCK) і D10 (SS). Для програмування через ICSP (In-Circuit Serial Programming) використовуються контакти, які дають можливість завантажувати прошивку безпосередньо, обминаючи USB-завантажувач. Таким чином, контакти на Arduino виконують різноманітні функції для живлення, введення-виведення сигналів, серійного зв'язку та інших спеціальних можливостей, що дозволяє створювати складні електронні проекти.

Arduino IDE-це безкоштовне програмне середовище для роботи з платами Arduino, яке об'єднує редактори коду, компілятори, програмісти та налагоджувачі. У ній є всі основні інструменти розробки програмного забезпечення, включаючи створення і перевірку коду, компіляцію, завантаження ескізів і моніторинг послідовного порту. Завдяки простоті використання та популярності плати Arduino, це середовище користується популярністю як серед ентузіастів, так і серед професіоналів.



Спочатку плати Arduino базувалися на мікроконтролерах AVR, але з часом Arduino IDE почало підтримувати і мікроконтролери інших виробників.

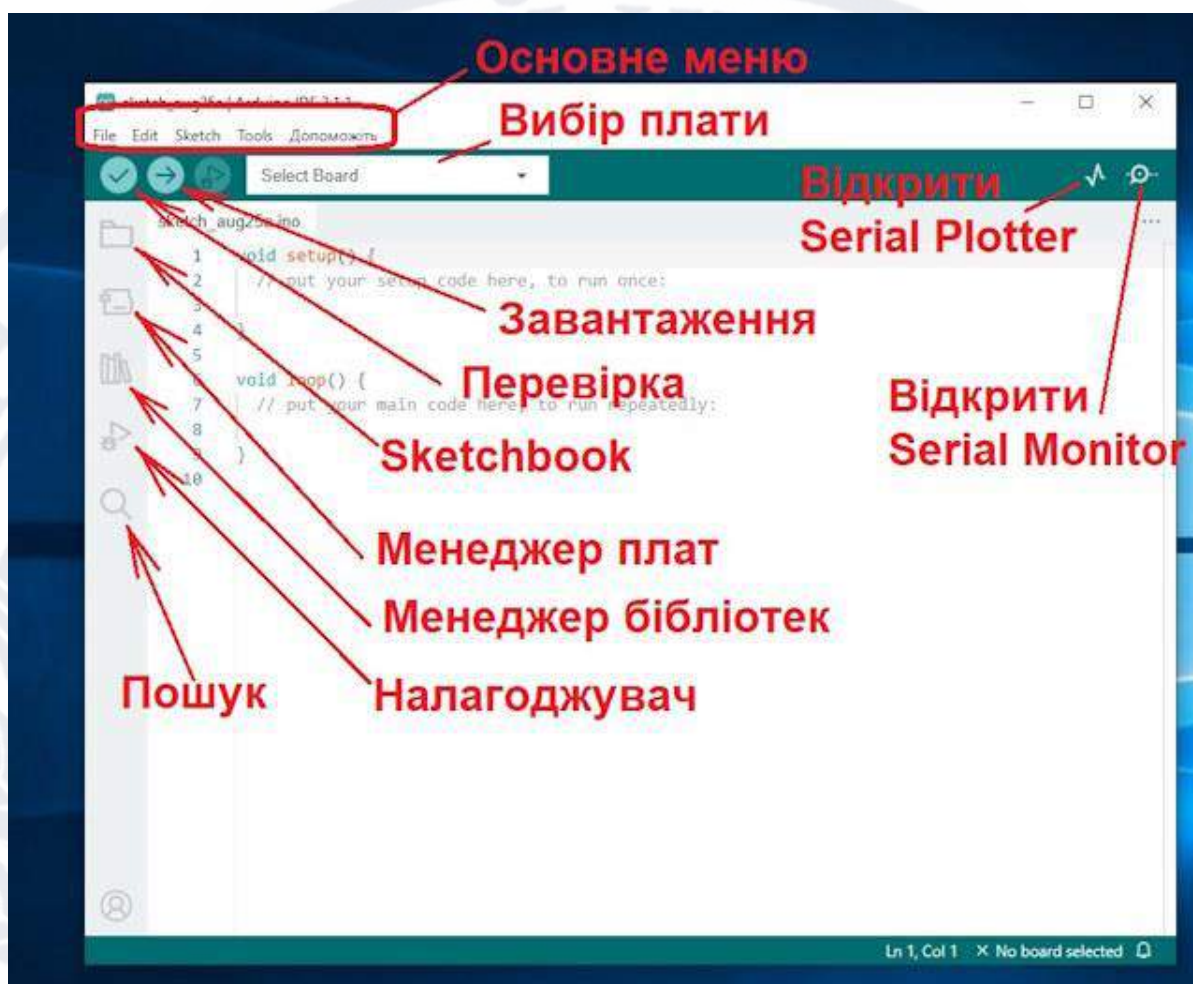


Рис 2.9 Меню Arduino IDE

- **Перевірка** — це кнопка для компіляції коду без його завантаження на плату. Ви можете написати програму та перевірити її на наявність помилок навіть без підключення плати до комп'ютера.
- **Завантажити** — виконує компіляцію коду та прошивку його у мікроконтролер на платі.
- **Sketchbook** — тут зберігаються всі ваші проекти (скетчі), локально збережені на вашому комп'ютері.
- **Менеджер плат** дозволяє переглядати та встановлювати пакети плат Arduino і сторонніх виробників.

- **Менеджер бібліотек** дає можливість переглядати та встановлювати бібліотеки Arduino, а також ті, які створила спільнота.
- **Налагоджувач** дозволяє налагоджувати програму, якщо підключений апаратний дебагер.
- **Serial Monitor** відкриває інтерфейс для спілкування з платою. Це зручний інструмент для налагодження програм без дебагера, який також може відображати дані у вигляді графіків реального часу.

У стандартній версії **Arduino IDE** за замовчуванням встановлено кілька основних бібліотек, які спрощують роботу з різними функціями плат Arduino.

Wire Це бібліотека для роботи з I2C (Inter-Integrated Circuit), двопровідним інтерфейсом для зв'язку між мікроконтролером та периферійними пристроями, такими як датчики або екрани. Вона дозволяє легко передавати та отримувати дані по I2C, керуючи кількома пристроями на одній лінії.

SPI Бібліотека для роботи з SPI (Serial Peripheral Interface), який використовується для швидкого обміну даними між мікроконтролером та іншими пристроями (наприклад, дисплеями або SD-картами). SPI є корисним для підключення пристроїв, де важлива висока швидкість передачі даних.

EEPROM Дана бібліотека дозволяє зберігати та зчитувати дані з енергонезалежної пам'яті EEPROM на платі Arduino. Це корисно для збереження налаштувань або даних, які мають зберігатися навіть після вимкнення живлення.

Servo Ця бібліотека дозволяє керувати сервоприводами (серво-моторами) за допомогою Arduino. Вона спрощує процес контролю положення серво, що є важливим для робототехніки та проектів, де потрібне точне керування кутом або положенням об'єкта.

SoftwareSerial Arduino має обмежену кількість апаратних серійних портів, тому ця бібліотека дозволяє створювати додаткові програмні серійні порти. Це

корисно для проектів, де необхідно з'єднати декілька пристроїв, що використовують серійний зв'язок.

LiquidCrystal Бібліотека для роботи з РК-дисплеями (LCD). Вона дозволяє виводити текст і символи на дисплеї, що корисно для створення інтерфейсів користувача або відображення інформації в реальному часі.

Ethernet Ця бібліотека дозволяє платі Arduino підключатися до мережі через Ethernet. Вона використовується для створення веб-серверів, надсилання та отримання даних через інтернет або локальну мережу.

WiFi Для плат Arduino з вбудованим WiFi (наприклад, Arduino Uno WiFi) або модулів ESP8266, ця бібліотека надає можливість підключатися до бездротових мереж, створювати веб-сервери або працювати з інтернет-протоколами.

SD Бібліотека для роботи з SD-картами. Вона дозволяє зчитувати і записувати дані на карти пам'яті формату SD, що є корисним для збереження великих обсягів даних, наприклад, логів чи зображень.

Tone Ця бібліотека дозволяє створювати прості звукові сигнали з динаміків або п'єзоелектричних елементів, генеруючи тональні сигнали на будь-якому цифровому піні.

Stepper Бібліотека для керування кроковими двигунами, яка дозволяє точно контролювати швидкість і напрям обертання двигунів, що є корисним для робототехніки та механічних пристроїв.

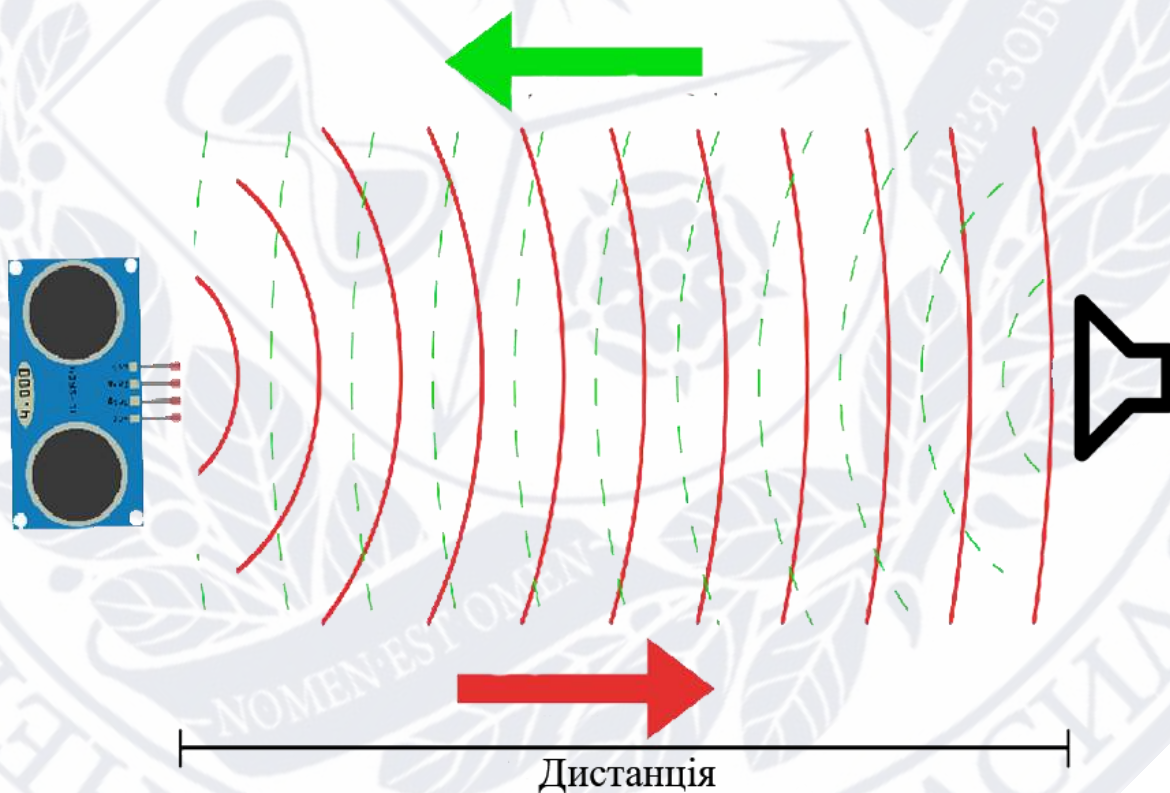
Firmata Це протокол для спілкування з платою Arduino через серійний порт. Бібліотека Firmata дозволяє використовувати зовнішні програми (наприклад, Processing або Max/MSP) для керування входами та виходами плати Arduino в реальному часі.

Ці бібліотеки спрощують процес розробки, оскільки надають готові рішення для роботи з багатьма стандартними пристроями та модулями.

2.4 Перші технічні випробовування.

Ультразвуковий датчик працює на основі вимірювання часу, який необхідний звуковій хвилі, щоб пройти від датчика до об'єкта та повернутися назад. Він випромінює ультразвукові хвилі з частотою, зазвичай близько 40 кГц, які відбиваються від об'єкта, а потім повертаються до приймача.

За допомогою швидкості звуку в повітрі та виміряного часу від моменту випромінювання до моменту отримання відбитого сигналу можна розрахувати відстань до об'єкта.



Рис

Рис. 2.10 Принцип дії датчику

Основними компонентами ультразвукового датчика є випромінювач, який генерує ультразвуковий сигнал, приймач, що фіксує відбитий сигнал, і контролер, який керує роботою датчика та обчислює відстань на основі отриманих даних.

Процес роботи датчика виглядає наступним чином: трансмітер випромінює короткий імпульс ультразвукових хвиль у напрямку об'єкта, після чого ці хвилі відбиваються і повертаються назад до приймача. Контролер вимірює час, що пройшов між передачею та отриманням сигналу, і використовує цей час для розрахунку відстані за формулою: відстань дорівнює швидкості звуку, помноженій на час, поділений на два (оскільки хвиля проходить шлях туди й назад). Швидкість звуку в повітрі зазвичай складає приблизно 343 м/с при температурі 20°C.

Одним із популярних прикладів є датчик HC-SR04, який має чотири контакти: VCC (живлення), GND (земля), Trigger (тригер) і Echo (ехо). Коли на пін Trigger подається короткий імпульс тривалістю 10 мікросекунд, датчик активується, випромінюючи ультразвукові хвилі. Пін Echo стає активним і залишається високим до повернення відбитого сигналу, після чого тривалість цього сигналу використовується для вимірювання часу, що пройшов з моменту випромінювання до отримання відбитого імпульсу.

Ультразвукові датчики використовуються в різних галузях, таких як робототехніка, автомобільна промисловість (для пакувальних систем), системи безпеки та автоматизації, для вимірювання відстаней до об'єктів, виявлення перешкод та визначення положення об'єктів.

Проведемо тест з їх використання для цього потрібно з'єднати контакти плати GND , VCC , Trigger , Echo. Обраховуючи сигнал duration отриманий від Echo, можемо вирахувати з невеликою похибкою. Максимальна допустима дистанція є 4-5м через затухання високочастотної хвилі.

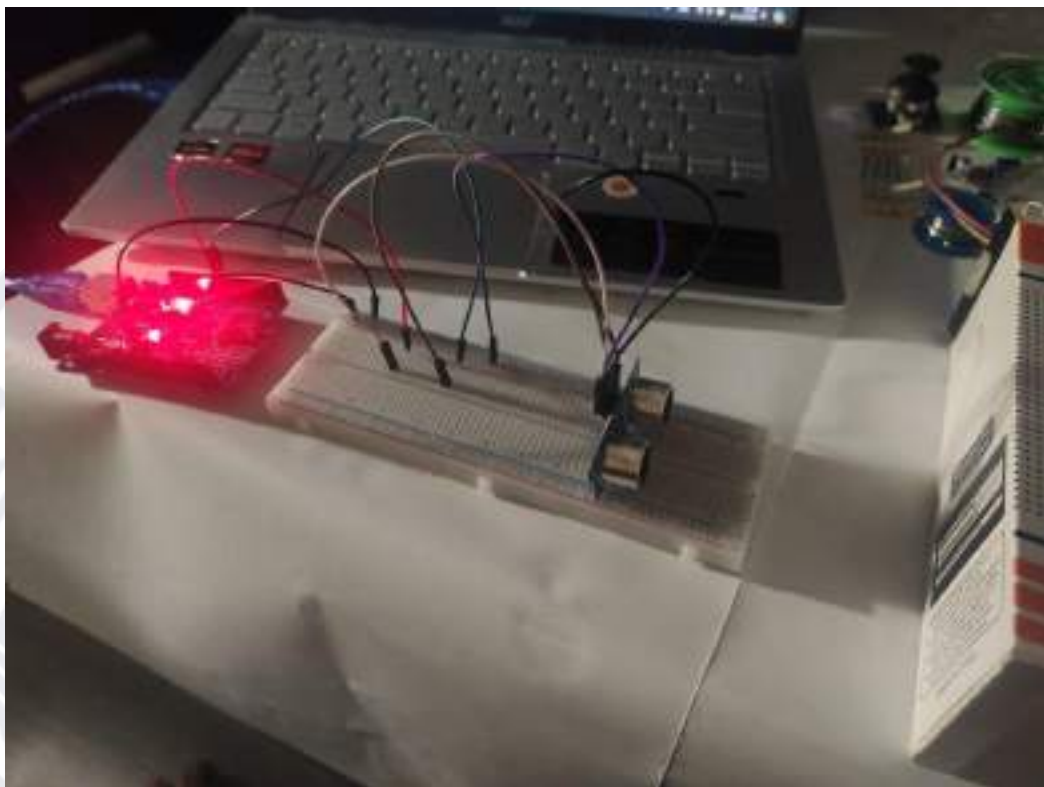
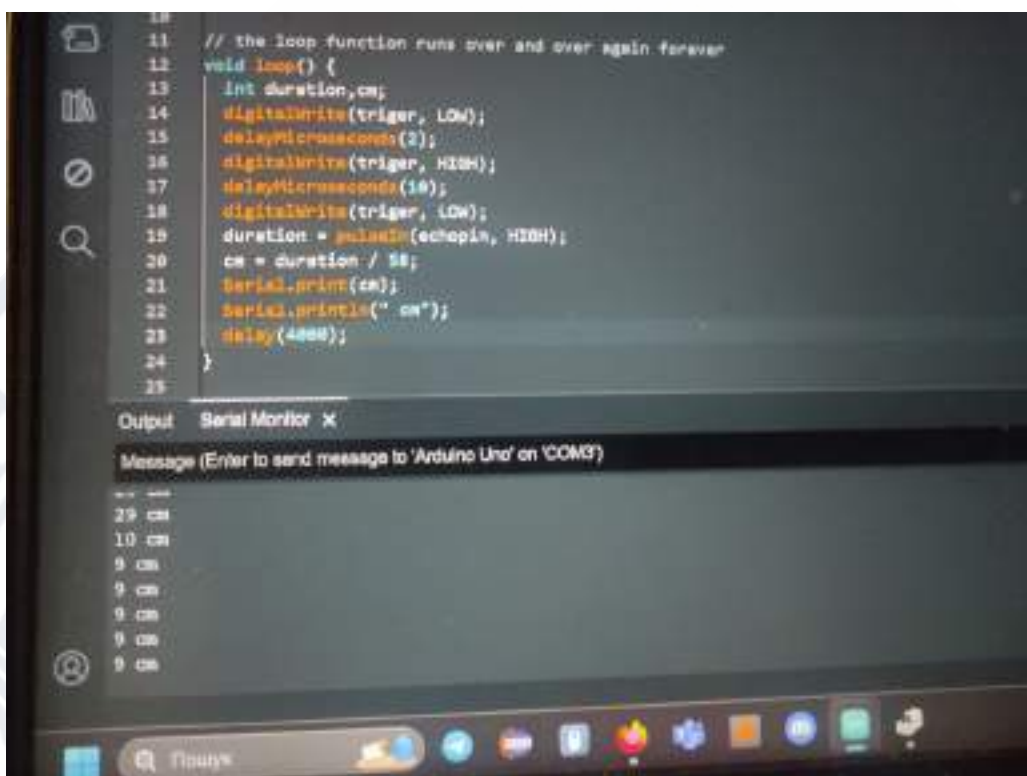


Рис. 2.11 Тестування ультразвукового сенсору

Для керування датчиком ми відправляємо періодичний сигнал на пін Triger. Датчик може стабільно працювати передаючи інформацію кожні 20-30 мілісекунд. Для покращення результатів можна використати швидке перетворення Фур'є чи метод Калмана. В прикладі, просто був додана затримка на 4 секунди, так як інформації надходило занадто багато.

Завдяки точності та надійності, ультразвукові датчики є універсальними інструментами, які використовуються в багатьох сферах для підвищення автоматизації, безпеки та точності різних процесів. Також готовий датчик ардуїно не є найкращим варіантом на ринку.

Код є базовим для даного датчику з виводом в консоль Serial. Як можна побачити на рис 2.11.



```
11 // the loop function runs over and over again forever
12 void loop() {
13   int duration, cm;
14   digitalWrite(triger, LOW);
15   delayMicroseconds(2);
16   digitalWrite(triger, HIGH);
17   delayMicroseconds(10);
18   digitalWrite(triger, LOW);
19   duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
20   cm = duration / 58;
21   Serial.print(cm);
22   Serial.println(" cm");
23   delay(4000);
24 }
25
```

Output Serial Monitor x

Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM3')

```
29 cm
10 cm
9 cm
9 cm
9 cm
9 cm
```

Рис. 2.11 Консольний вивід результатів.

Подальше покращення продукту та додавання сервоприводу, другого датчику, методів обробки даних, теоретичного подавлення шумів дозволить покращити системи. Також не обов'язковим є використання лише плат Arduino, що дозволить зменшити розмір розробляемого приладу.

РОЗДІЛ 3.

СТВОРЕННЯ , ТЕСТУВАННЯ ПРОТОТИПІВ ТА ПРИЛАДУ

3.1 Перехід від теорії до реалізації прототипу. Прототип “пульта”

Розробка функціонального приладу відбувається поетапно, з кожним разом покращуючи попередню версію. З достатньою кількістю проходжень ми зможемо наблизитись до задовільного результату. Перш за все, потрібно визначити основні завдання, які буде виконувати прилад, і функціональні характеристики, що повинні бути реалізовані. Далі йде етап проектування, де розробляється схема роботи пристрою, обираються відповідні компоненти (сенсори, мікроконтролери, інші електронні модулі) та створюється прототип.

Спочатку визначимо завдання, які стоятимуть перед розроблюваним приладом. **Функціональні завдання приладу** передбачають поєднання принципу дії звукового датчика руху та дистанціометра.

Функціональні завдання:

- Реакція на середовище
- Звукове визначення дистанції
- Обрахунок змін в реальному часі
- Представлення результатів

Функціональна призначені для відображення основних функцій без яких прилад не зможе виконувати основні функції коректно чи може рахуватись не працюючим. При виникненні функціональних помилок в розробці вони виправляються першочергово на відміну від нефункціональними, якими при необхідності можна знехтувати.

Не функціональні завдання:

- Компактність приладу
- Функціонування в умовах сторонніх шумів
- Висока точність
- Крепкість приладу
- Гарне представлення
- Простота в використанні

Характеристики приладу мають деякі недоліки та обмежені, які не можна або доволі важко виправити. Для початку варто звернути увагу на характеристику ультразвукового датчику HC-SR04, через це прилад має певні апаратні обмеження. Його характеристики наведені нище:

“Характеристики: (датчик HC-SR04)

Напруга живлення 5В

Статичний струм до 2мА

Ефективний кут $<15^\circ$

Діапазон виміру відстані 2–450 см

Максимальна точність датчика 0.3 см”[21]

Ультразвуковий конус HC-SR04 має кут розповсюдження приблизно 15° . Це означає, що він не надто точний при спробах визначити дрібні об'єкти або кілька близько розташованих об'єктів.

Також HC-SR04 працює краще з твердими, гладкими та відбивними поверхнями. М'які, пористі або дуже кутові поверхні можуть поглинати або розсіювати сигнал, що призводить до неточних вимірювань. Визначення не є абсолютною так, як існує похибка в 0.3 см. Про час обрахування було описано в попередніх розділ. Одне обрахування становить 20-30 мс.

Після цього проводиться тестування прототипу, щоб перевірити його працездатність в різних умовах, включаючи можливі сторонні шуми чи інші перешкоди. Для перевірки справності приладу тестування здійснюватиметься за описаними, вище критеріями. На основі результатів тестування можуть вноситися зміни для покращення точності, стабільності і продуктивності приладу. Завершальний етап включає оптимізацію конструкції, програмного забезпечення та приладу який зможе виконати всі основні функції приладу.

Перший прототип концепція ручного звукового далекоміра, який може нагадувати “пульт”. Передбачає компактний пристрій, здатний вимірювати відстань до об’єктів за допомогою звукових хвиль. Такий прилад прийматиме звукових сигналів, що дозволяє визначати відстань на основі часу, який потрібен звуку для повернення. Його форма, подібна до пульта, забезпечить зручність у триманні та управлінні, а також може містити дисплей для відображення результатів вимірювань.



Рис. 3.1 Концепція далекоміра “пульта”.

Елементи пристрою:

- LCD-дисплей для відображення актуальної інформації. 16 символів на 2 рядки. Підключення за допомогою мікроконтролера
- Ультразвуковий датчик для визначення відстані.
- Повер-банк для забезпечення запасу живлення.
- Плата Ардуіно з заздалегіть записаними інструкціями.

- Мікроконтролер I2C для обробки даних і їх передачі на LCD-дисплей.

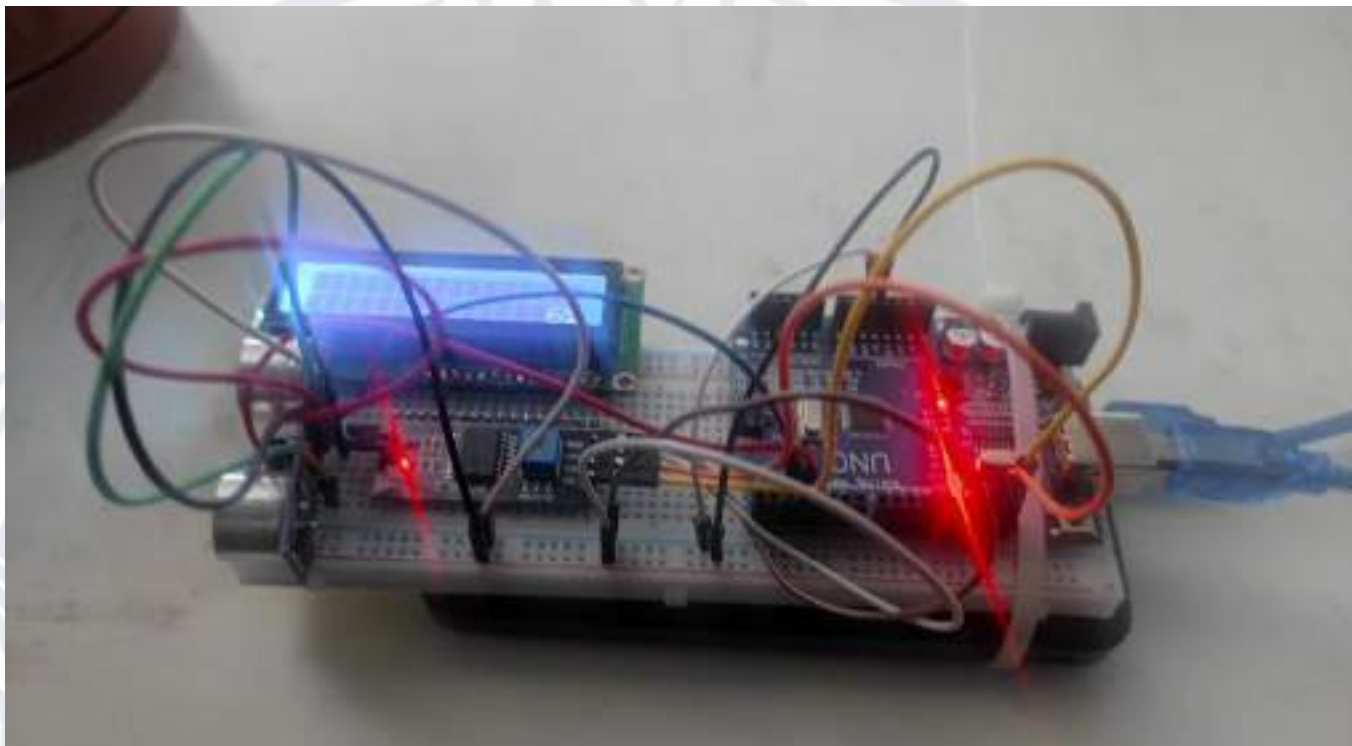


Рис. 3.2 Вигляд прототипу “пульта”

Тож встановлений знизу повербанк(1000mAh) слугує живленням для прототипу, та також дозволяє не бути прив'язаним до джерела постійного живлення. При повній зарядці стабільно слугуватиме цілий день.

Рідкокристалічний дисплей(LCD) потрібен для відображення в реальному часі даних отриманих з ультразвукового датчику.

Данна модель має 16 пінів для керуванням дисплеєм. Рідкористалічний дисплей не має вбудованого I2C мікроконтролера. Проте з'єднано з ним напряду через макетну плату. I2C мікроконтролер дозволяє замість 16 пінового з'єднання(оптимально 8-12 для роботи) користуватись лише 4 головними GND(-), VCC(+), SCL(такт), SDA(дата).

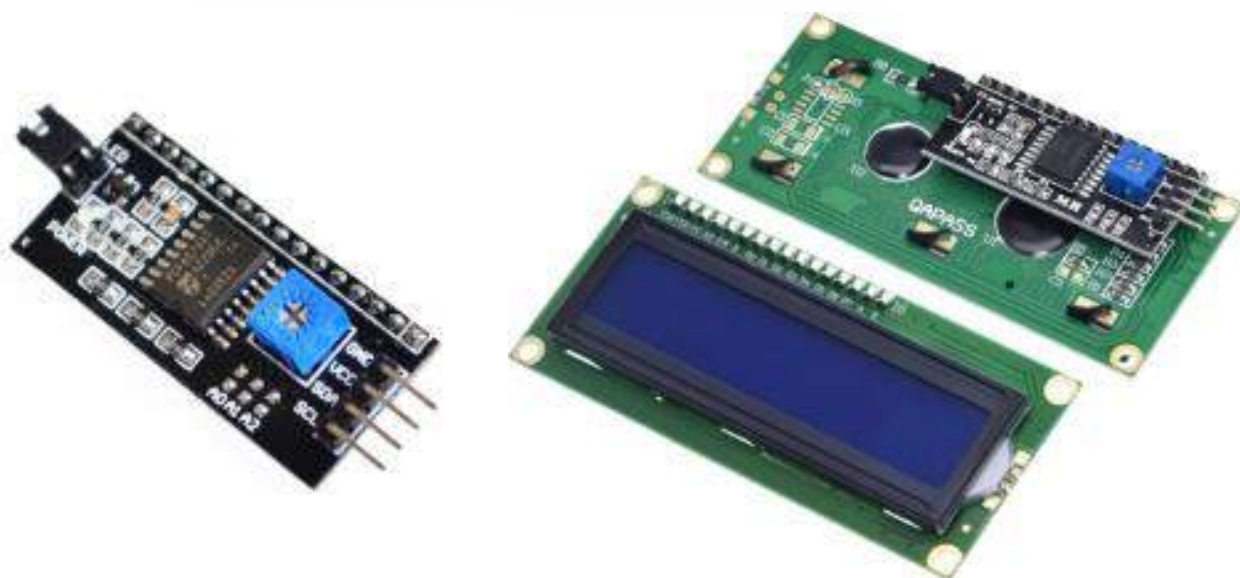


Рис. 3.3 I2C мікроконтролер та LCD екран з вбудованим I2C

Плата Ардуїно з'єднання по кабелю USB з повербанком. На всі елементи схеми підключення загальна напруга яку передає плата Arduino є 5V. Код для обрахунку заздалегіть прошитий в плату. На схемі (рис. 3.4) відображено підключення елементів до цифрових портів плати. Кожне підключення дозволяє отримати чи відправляти дані на конкретний елемент правильно розподіливши їх можна керувати LCD екраном без мікроконтролера.

Ультразвуковий датчик, що був описаний в попередніх розділах 1 та 2. Визначає дистанцію через відправку сигналу з одного динаміку та отримання з іншого за рахунок часу відправки та прибуття TDoA.

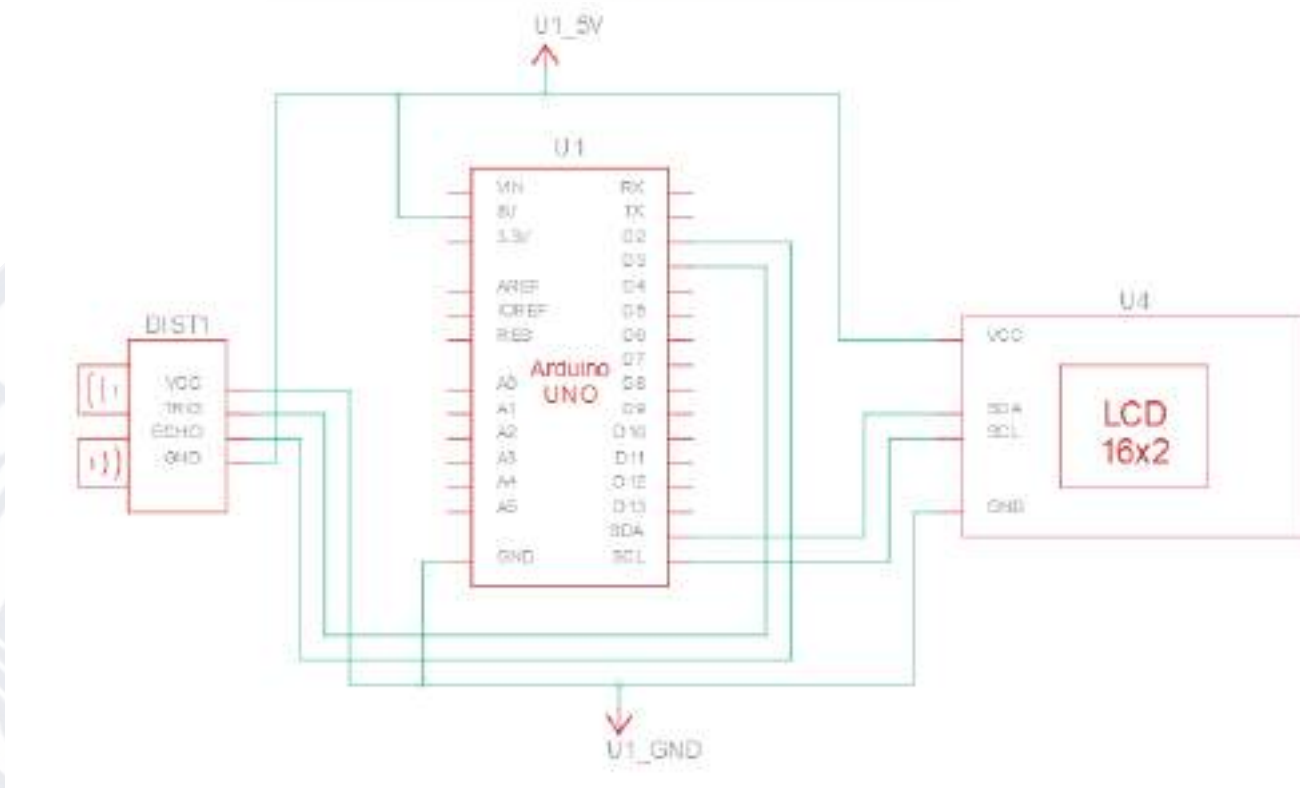


Рис. 3.4 Схема з'єднань прототипу “пульта”

На схемі(рис. 3.4) можна побачити, що використовуються цифрові **порти D2, D3** за для запуску датчика та отримання дистанції з ультразвукового датчику. Також піни VCC та GND слугують для підключення до мережі де **VCC** – плюс , а **GND**(Земля) – мінус. I2C — це двопровідний інтерфейс для зв'язку з датчиками і модулями, де **SDA** є лінією передачі даних і використовується для обміну даними між пристроями **SCL** є лінією тактового сигналу і визначає темп передачі даних між пристроями..

Плата ардуїно має 14 цифрових і 6 аналогових входів/виходів. Цифрові контакти нумеруються як D0–D13 (для Arduino UNO) і можуть бути використані як входи або виходи залежно від коду. Вони можуть читати або подавати сигнали 0 або 1 (логічне «низьке» або «високе» значення — 0В або 5В).

Обрахунок відстаней здійснює плата Ардуїно. Коли на пін Trig подається короткий імпульс тривалістю 10 мікросекунд, датчик активується, випромінюючи ультразвукові хвилі. Пін Echo стає активним і залишається високим до повернення відбитого сигналу, після чого тривалість цього сигналу використовується для вимірювання часу, що пройшов з моменту випромінювання до отримання відбитого імпульсу. **Теоретично обчислення відбувається за 20 – 30 мс** з урахуванням обчислень ардуїно та обробку LCD шиною. Тому за секунду ми можемо отримати від 30 до 50 числових обчислень за секунду.

Тестування приладу за встановленими критеріями.

Протестуємо можливості приладу та можливу максимальну дистанцію. Результати таблиці 3.1 показують, що прибор стабільно працює на дистанції від 2см до 1 м. Подальше збільшення , дещо викривляє дані обчислення. Окремо дані можуть бути не точними через похибки при проведенні в середньому 1-5 см проте загальний результат є точним. На дистанціях від 200 см до 450 см може виникнути ефект спотворення коли хвилі повертаються від навколишніх об'єктів не даючи можливості розрахувати дистанцію до досліджуємого об'єкта.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань пристрою на різних дистанціях.

Дистанція	Результат
30 см	30см
50 см	49см
75 см	76 см
100 см	102 см
200 см	196-204 см
300 см	305- 340 см
400 см	390 – 430см 850см

Функціональні властивості:

- **Реакція на середовище:** Реагує направлено. Потрібне доопрацювання.
- **Звукове визначення дистанції:** Визначає дистанцію достатньо точно з невеликою похибкою в 1-2 см зумовленою заокругленням до цілого типу, окрім фабричної похибки. Не може працювати на дистанції більшій за 4 м, сигнал втрачається.
- **Обрахунок змін в реальному час:** Час реагування занадто швидкий і програмно був зменшений до 1 секунди. Через велику кількість даних. Покращена обробка даних може дозволити вивести значення, що матиме наближене до реальності значення.
- **Представлення результатів:** LCD дисплей виводить актуальні данні, проте зображення дисплею занадто ярке та нечітке.

Не функціональні властивості теж важливі для зручності роботи приладу:

Прилад максимально компактний наскільки це можливо при використанні наявного інструментарію. Можливо зменшити розмір встановивши інше джерело живлення чи замінивши макетну плату ардуїно на печатну електронну плату, щоб зменшити проміжки між елементами.

Шуми мають мінімальний вплив на роботу прототипу. Працює стабільно та не має постійного перешкод. **Точність достатня** з наявних проблем, це робота на великих відстанях чи наявність невеликих перешкод на шляху, що не дають точного результату.

Крепкість надійно з деякими недоліками конструкція не є занадто крепкою, особливо з'єднання та HC-SR04. Не ламається при правильному використанні. **Представлення чудове.** Лише групування проводів та правильна оболонка для приладу може його покращити. **Простота в використанні: доволі просто.** ввімкнув живлення і можна починати роботу

Обробка даних. За допомогою швидкості звуку в повітрі та виміряного часу від моменту випромінювання до моменту отримання відбитого сигналу можна розрахувати відстань до об'єкта. Математичним представленням є формула (3.1) на основі методу часу польоту (Time of Flight, ToF).

$$d = \frac{vt}{2}, \quad (3.1)$$

Для вирішення проблеми шумів застосовують методи усереднення(передбачення) Метод Калмана. Метод дозволяє зменшити похибку в точності вимірювань відстані до дистанції акустичного джерела. Тож ультразвуковий датчик працює за допомогою вимірювання часу, який необхідний звуковій хвилі, щоб пройти від датчика до об'єкта та повернутися назад. Основною **проблемою датчика є реакція на рух** компонентами ультразвукового датчика є випромінювач, який генерує ультразвуковий сигнал, приймач, що фіксує відбитий сигнал. Ультразвукові датчики використовуються в різних галузях, таких як робототехніка, автомобільна промисловість (для пакувальних систем), системи безпеки та автоматизації, для вимірювання відстаней до об'єктів, виявлення перешкод та визначення положення об'єктів.

Він випромінює ультразвукові хвилі з частотою, зазвичай близько 40 кГц, які відбиваються від об'єкта, а потім повертаються до приймача, що дозволяє виміряти відстань до об'єктів. Датчик має хороший діапазон вимірювання (від 2 см до 400 см) і прийнятну точність (зазвичай ± 3 мм). HC-SR04 простий у підключенні до мікроконтролерів, таких як Arduino, та знайомий багатьом інженерам через свою доступність та низьку вартість.

Швидкість роботи датчику становить 20-30 мілісекунд, що дає нам отримання даних 50 – 35 результатів відстані за секунду.

Як було вже описано, Метод Калмана використовує математичну модель процесу для прогнозування наступного стану системи на основі попередніх даних. Це означає, що він може передбачити, які значення мають бути, і уникнути впливу руху тіла. Загальна формула представлення (3.2)

$$\hat{x}_{k,k} = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} x_i \quad (3.2)$$

За допомогою Arduino та фільтрації Калман здійснимо рух на шляху датчика з певним коливанням на місці. Результат тестування дозволив підвищити точність. Відображений результат на Рис. 2 дозволяє нехтувати постійними коливаннями рухаючого тіла, щоб знайти середню відстань.



Рис. 3.5 Графік відображення отриманих даних по відстані та обробленого

Як можна бачити на рисунку 3.5 система дозволяє корелювати рух тіла. В загальному така збільшує точність та дозволяє зменшилась похибка від постійного присутнього в датчику коливання та неточності результатів при

визначені дистанції з **точністю десь 1-10мм**. При русі дозволяє зберігати точність згладжуючи значення, що під час руху активно коливаються.

Код для обробки досі простий

```
double kalman(double U){
    static const double R = 40;
    static const double H = 1.00;
    static double Q = 10;
    static double P = 0;
    static double U_hat = 0;
    static double K = 0;
    K = P*H/(H*P*H+R);
    U_hat += + K*(U-H*U_hat);
    P = (1-K*H)*P+Q;
    return U_hat;
}
```

Рис. 3.6 Графік відображення отриманих даних по відстані та обробленого

Функція **kalman(double U)** приймає на вхід значення вимірювання U (це нове отримане значення, яке містить шум або похибку). Функція повертає оновлену оцінку стану системи U_hat .

Ось як працює фільтр Калмана:

Фактор Калмана визначається на основі невизначеності в оцінці стану (P), невизначеності вимірювання (R) і спостереження (H). Це значення показує, наскільки сильно потрібно коригувати оцінку стану на основі нового вимірювання. Якщо невизначеність вимірювання велика (високе значення R), фільтр буде менш чутливий до нових вимірювань. Так, як ми отримує велику кількість сигналів, деякі значення з них можна ігнорувати.

Основна формула Оцінка стану U_hat коригується на основі різниці між вимірюваним значенням U і поточною оцінкою, помноженою на коефіцієнт Калмана K . Це дозволяє зменшити вплив помилок вимірювання і збільшити точність оцінки стану. Якщо різниця між виміром і прогнозом велика, то корекція буде більш суттєвою.

Це оновлення ковариації (невизначеності) оцінки стану. Після кожного кроку фільтр зменшує невизначеність P на основі коефіцієнта Калмана K . Також додається певна невизначеність від процесу (Q), яка враховує зміни в системі. Це дозволяє врахувати нову інформацію про стан системи, але при цьому зберігати певну невизначеність на випадок, якщо модель буде неповною.

Ну в результаті отримуємо значення

Тож в загальному фільтрація корисна:

- **Основна перевага зберігання непохибності перед помилковими сигналами.** Датчик видає дистанцію 805, як помилку, при не отриманні зворотної хвилі або при її затуханні в процесі.
- **Невелике збільшення точності для доволі точного датчику HC-SR40.**
- **Покращення точності роботи для роботи на дальніх дистанціях(2-4.5м).** Зі збільшенням дистанції зростає похибка особливо на максимальній дистанції(4м-4.5м). Фільтрація дозволяє приладам краще, реагувати на кути та наявність невеликих перешкод, що зазвичай огинаються звуковою хвилею.

Подальше покращення продукту та додавання сервоприводу, другого датчику та розвинутого фільтру Калмана, дозволить покращити точність приладу та реагувати на середовище краще.

3.2. Додавання додаткового функціоналу та обробки даних.

Використання інших програм чи бібліотек дозволяє спростити існуючі недоліки середовища Arduino. Окрім додавання бібліотек чудовим варіантом є використання спеціалізованих додатків по прикладу processing.

За допомогою Processing v 4.3 та вбудованого потоку передачі даних Serial реалізовується інтерфейс для відображення отриманих даних при роботі в реальному часі. Тож завантажений код в платі ардуіно керує датчиками та відправляє результати до класу Serial, в заздалегіть заданій формі, яка має данну послідовність “Кут повороту , Дистанція”. Serial – це клас, що надає можливість спілкуватись між комп’ютером та платою ардуіно. Клас **Serial** в Arduino використовується для управління послідовним зв’язком між Arduino та іншими пристроями через інтерфейс UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).

Цей клас дозволяє передавати й отримувати дані через послідовний порт. Arduino підтримує кілька стандартних інтерфейсів для послідовної передачі даних, включаючи:

- **UART** (апаратний послідовний порт).
- **USB-to-Serial Bridge**, який емулює послідовний порт через USB (часто використовується для зв'язку з комп’ютером).

“Processing - відкрита мова програмування, що базується на Java. Вона призначена для написання графічних, анімаційних та інтерактивних програм. Надає легкий і швидкий інструментарій для людей, які хочуть програмувати зображення, анімації та інтерфейси.”[22]. Головна перевага Processing — простота використання і можливість швидкого створення графіки, навіть без глибоких знань у програмуванні.

Processing — це популярне середовище розробки та мова програмування, створена для художників, дизайнерів, дослідників і освітян, які хочуть працювати з візуальним контентом, анімацією та інтерактивними програмами.

Однією з головних особливостей Processing є його здатність створювати 2D та 3D графіку. Ви можете легко малювати прості геометричні форми, працювати з кольором і шрифтами, а також створювати динамічні та інтерактивні композиції. Завдяки циклу `draw()` Processing дозволяє створювати анімації, що оновлюються в реальному часі, а інтеграція з користувацькими подіями (натискання клавіш, рух миші тощо) додає інтерактивності. Основною метою Processing є надання простого інструменту для створення програм із графічним та мультимедійним контентом.

Processing підтримує широкі можливості для обробки даних: зчитування з файлів, використання мережевих API або обмін даними із зовнішніми пристроями, такими як мікроконтролери Arduino. Ця інтеграція робить його ідеальним інструментом для візуалізації даних із сенсорів, створення інтерактивних інсталяцій або прототипування "розумних" пристроїв.

Середовище Processing широко використовується для реалізації мультимедійних проєктів. Воно дозволяє працювати з аудіо, відео, текстами, а також створювати складні інтерактивні додатки. Processing також підтримує розширення функціоналу за допомогою бібліотек для фізичних симуляцій, штучного інтелекту, віртуальної реальності тощо. Завдяки своїй кросплатформенності, Processing доступний на Windows, macOS і Linux.

Візуалізація даних є однією з найпоширеніших сфер застосування Processing. Це може бути представлення графіків, діаграм або анімованих моделей. Особливо популярним є використання Processing у поєднанні з Arduino для обробки та графічного відображення даних у реальному часі. Наприклад, дані з датчиків, таких як HC-SR04, можуть бути легко інтегровані та візуалізовані у вигляді графіків або інтерактивних моделей.

Processing ідеально підходить для навчання програмуванню, створення художніх проєктів, інтерактивних виставок і досліджень у сфері цифрового мистецтва. Це універсальний інструмент для тих, хто хоче поєднати креативність із технологіями.

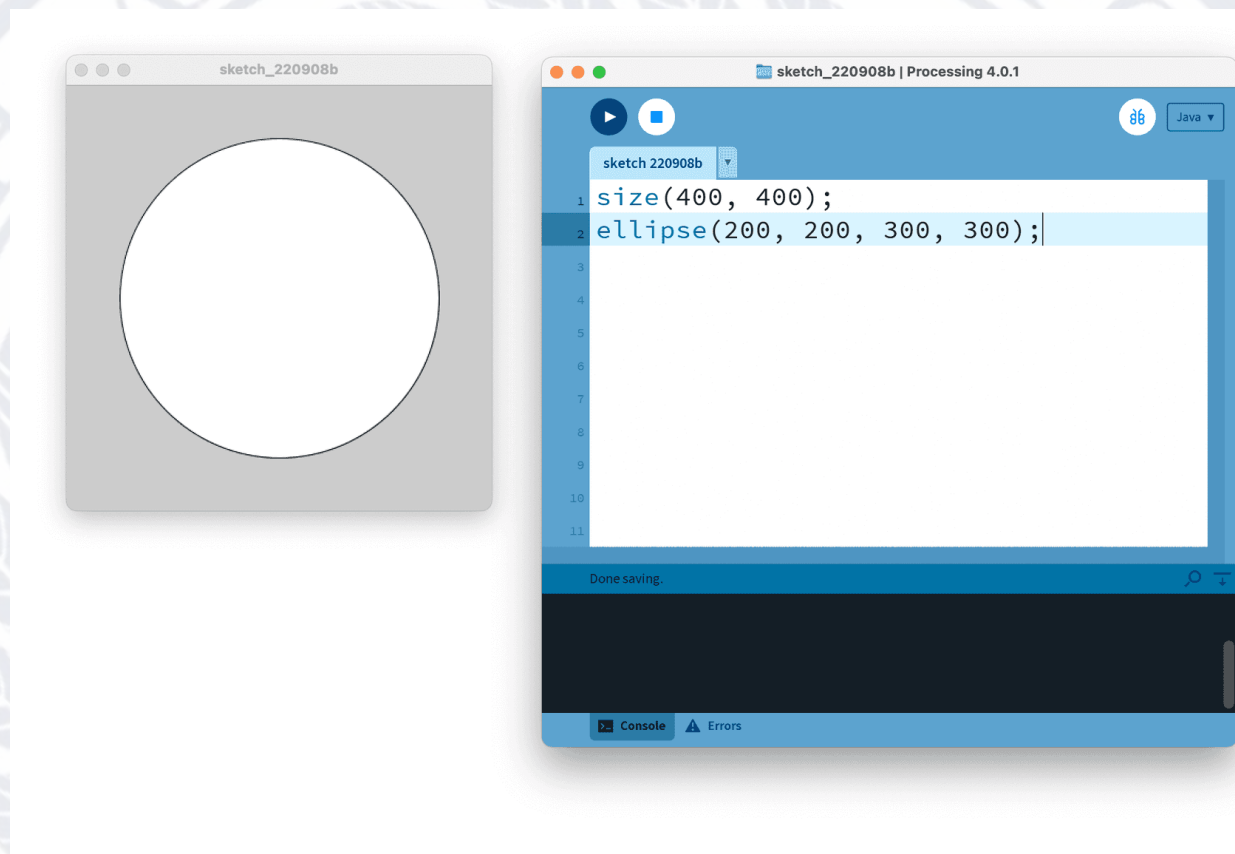


Рис. 3.6 Простота представлення за допомогою Processing.

Прототип “сонар”. За для покращення продукту та випробування нових методик застосування ультразвуку був розроблений прототип “сонару”. Прилад надає змогу відстежувати невеликий діапазон на наявність присутності об’єктів у просторі з можливістю точно визначити дистанцію до об’єкту. Принцип дії нагадує дію направленого сонару, за що отримав таку назву.

Складається пристрій з трьох основних елементів

- Плата ардуіно, що з’єднує всю пристрої між собою проводами.

- SG90 Сервопривод, за для керування напрямком ультразвукового дослідження.
- HC-SR04 Датчику ультразвукових хвиль.

Важливу роль в схемі відіграє програмне забезпечення та пряме підключення до комп'ютера. Так, як саме комп'ютер буде візуалізувати данні роботи прототипу.

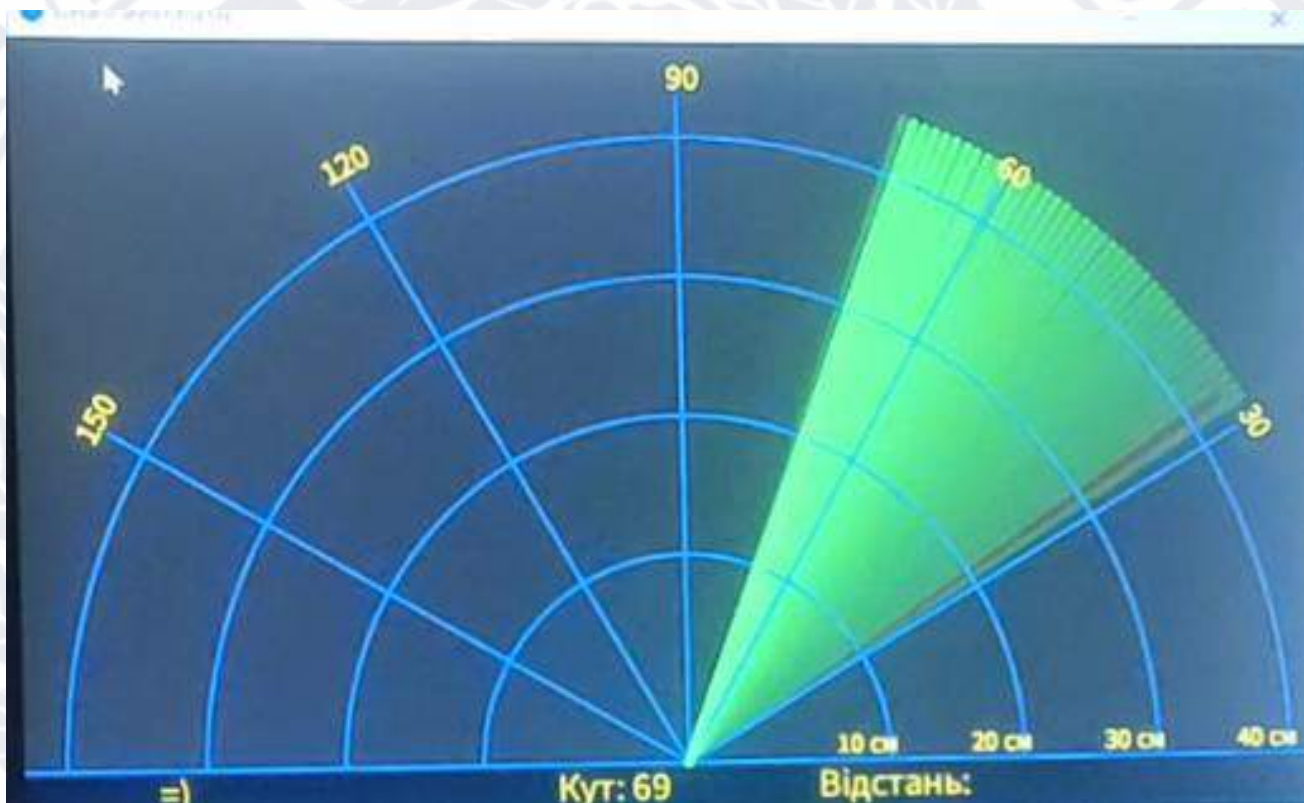


Рис. 3.7 Приклад візуалізації даних датчика HC-SR04

Фізично пристрій представляє собою плату з'єднану до сонарного маячка. Рух якого відбувається завдяки сервоприводу встановленим на зручну підставку. Загалом елементи поєднані клейкою стрічкою, але при можливості варто користуватись більш надійними кріпленнями, наприклад 3Д роздрукованими

деталлями чи кріпленнями. Іноді імпровізація може, бути як корисна так і шкідлива для роботи приладу. Будьте обережні.

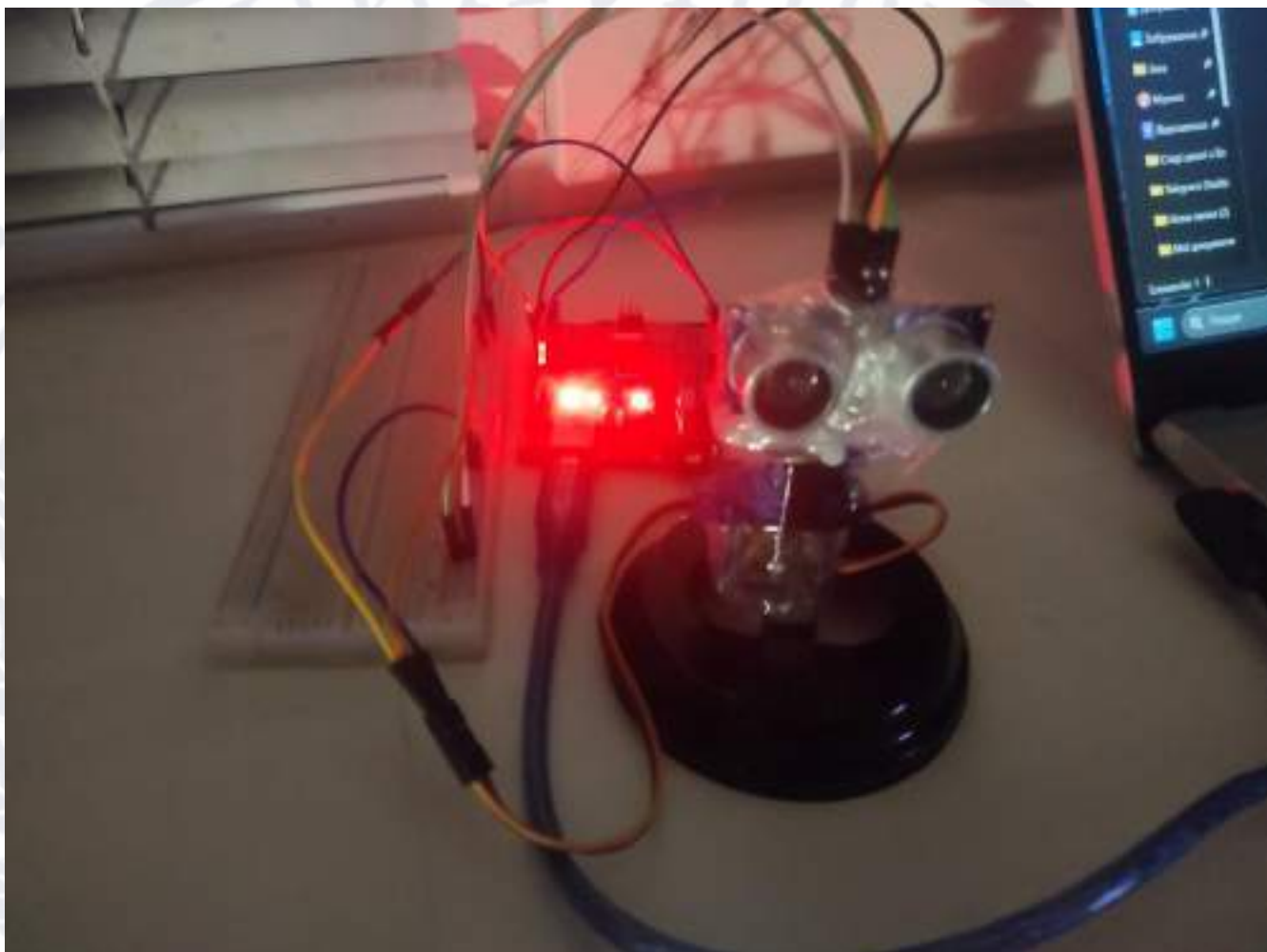


Рис. 3.8 Прототипу “сонару”

SG90 сервопривод слугує механізмом обороту, що дозволяє проводити направлене сканування. Проте даний сервопривід має декілька значних недоліків, як не можливість обертатись лише в діапазоні від 0 до 180 градусів. Другим важливим недоліком приладу є крихкість його деталей навіть невеликий поворот механізму може зламати запобіжники, що в подальшому може призвести до повної поломки чи помилок при роботі. Також дані сервоприводи зачасту мають фабричний брак, тому варто їх перевіряти, і при їх використанні мати декілька в запасі чи оберіть надійніший варіант.

В загальному чудовий сервопривід при роботі з невеликими деталями, що програмно легко керується та чудово виконує прості команди. Не потребує великої кількості енергії. Максимально можливо під'єднати 10 сервоприводів при використанні додаткових джерел живлення.

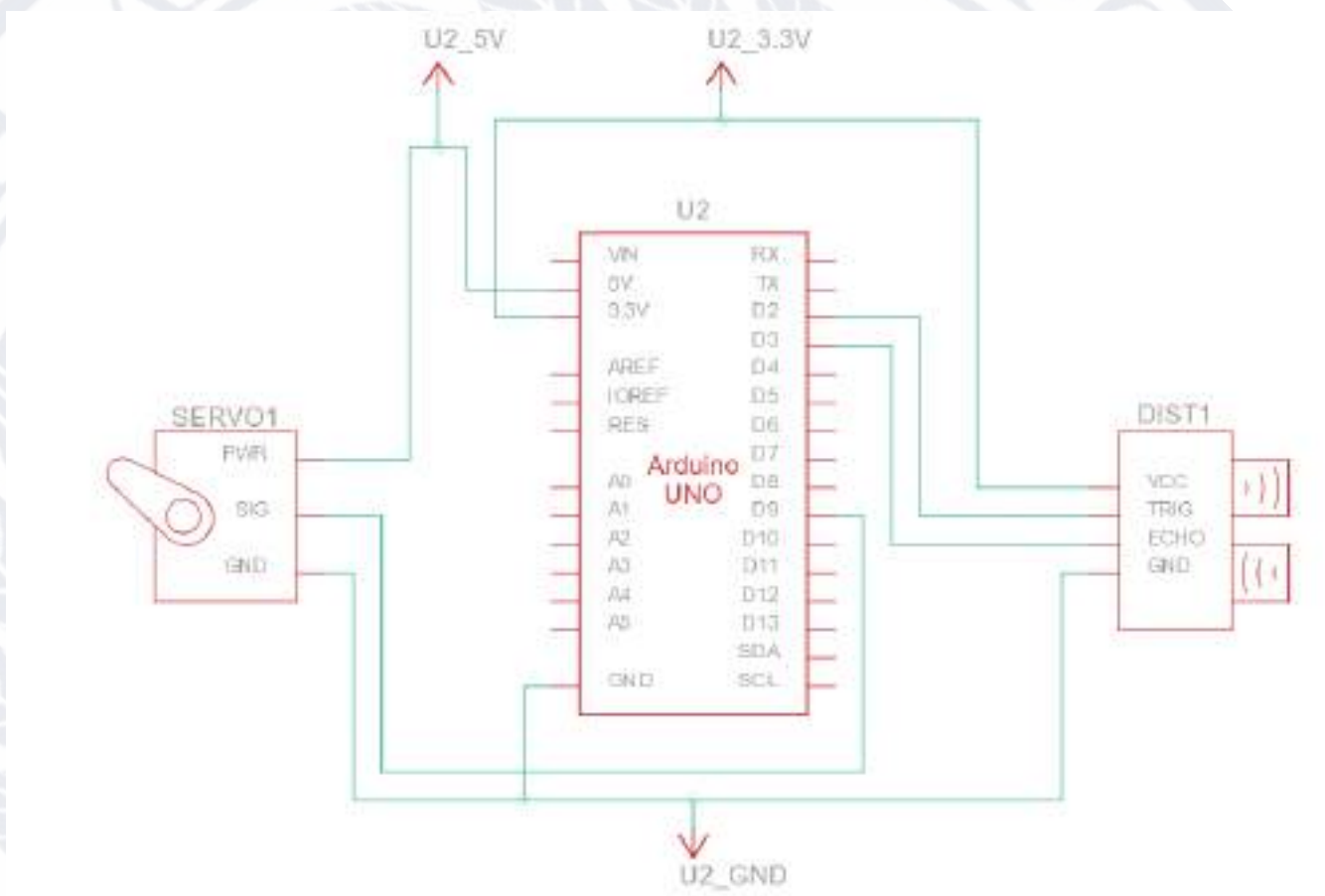


Рис. 3.9 Схема прототипу “сонару”

Для живлення ультразвукового датчику встановлення живлення 3.3 в, для сервоприводу 5в та під'єднано два механізми з землею. Використано цифрові виходи D2, D3 для ультразвукового датчику та D9 для контролю роботи сервоприводу

Реалізація бази даних. Для роботи було використано базу даних MySQL. Добре відомий безкоштовний інструмент для зберігання та обробки впорядкованої інформації. Речення зі зміненими словами: він підтримує запити за допомогою SQL,

простий у використанні на кількох платформах і добре працює в Windows, Linux і macOS. MySQL може швидко обробляти велику кількість даних, зростати з часом і має потужні функції безпеки, такі як методи входу та керування дозволами. Система надає безкоштовні (безкоштовні) моделі та моделі на основі підписки (комерційні), забезпечує дзеркальне відображення (реплікацію) і кластеризацію для резервування, а також різноманітні формати зберігання, такі як InnoDB і MyISAM. «Він поєднується з багатьма мовами програмування, включаючи PHP, Python, Java, що робить його найкращим для веб-додатків, аналітичних систем і різноманітних проєктів».

Тестування приладу за встановленими критеріями.

При тестуванні приладу всі функції працювали нормально окрім, кількох моментів, що стосувались з'єднання serial та сервоприводу.

Часто виникала помилка Serial про відмову в доступі. Зачасту проблема стосувалась спільного використання одного COM(USB) порту двома різними програмами. Наприклад Arduino IDE та Processing. Помилка також виникає при не правильному підключення ардуіно.

Сервопривід мав непередбачувану поведінку та через певний час відмовлявся продовжувати роботу або робив повернення до старту. Доволі специфічна проблема, що стосується використання SG90. Можливі варіанти:

- Нестача енергії, що потребує додавати в схему додаткове живлення. Сервопривід SG90 працює при напрузі **4.8–6.0 В**. Переконайтеся, що джерело живлення відповідає цим параметрам. Якщо ви живите сервопривід безпосередньо від Arduino, це може спричинити нестабільну роботу через недостатній струм. Використовуйте окреме джерело живлення для сервоприводу (наприклад, батарейки AA або

блок живлення), при цьому з'єднайте GND Arduino і GND сервоприводу.

- Перевірка сигналу керування та програмного керування. Бажано повернутись до простих програм та протестувати сервопривід окремо не підключаючи інших елементів.
- Якщо, сервопривід продовжує працювати непередбачувано, можливе його апаратне пошкодження (перегорання електроніки або знос механіки). У цьому випадку його слід замінити.

Функціональні властивості:

- **Реакція на середовище:** Дозволяє визначити перешкоду на 40 см перед собою можливе використання до 4 м.
- **Звукове визначення дистанції:** Визначає точну дистанцію на відстані до 40 см.
- **Обрахунок змін в реальному час:** Час реагування нормальний, проблеми з сервоприводом, та часті помилки роботи.
- **Представлення результатів:** Чудове представлення даних за допомогою Processing.

Не функціональні властивості теж важливі для зручності роботи приладу:

Прилад максимально компактний наскільки це можливо при використанні наявного інструментарію. Загалом зручно оформлений та не потребує макетної плати при прямому підключенні до ардуіно.

. Точність достатня з наявних проблем це робота на великих відстанях чи наявність невеликих перешкод на шляху.

Крепкість надійно. Конструкція не зламається при правильній роботі приладу з'єднання можуть бути не надійними, але всі інші елементи зафіксовано достатньо крепко. **Представлення мінімалістичне.** Лише групування проводів та

правильна оболонка для приладу може його покращити. **Простота в використанні:** не просто, потребує прямого підключення до комп'ютер та обробки даних.

Результат роботи датчику дозволяв просканувати на наявність перешкод в діапазоні від 15 до 165 градусів відстанню до 40 см і більше.

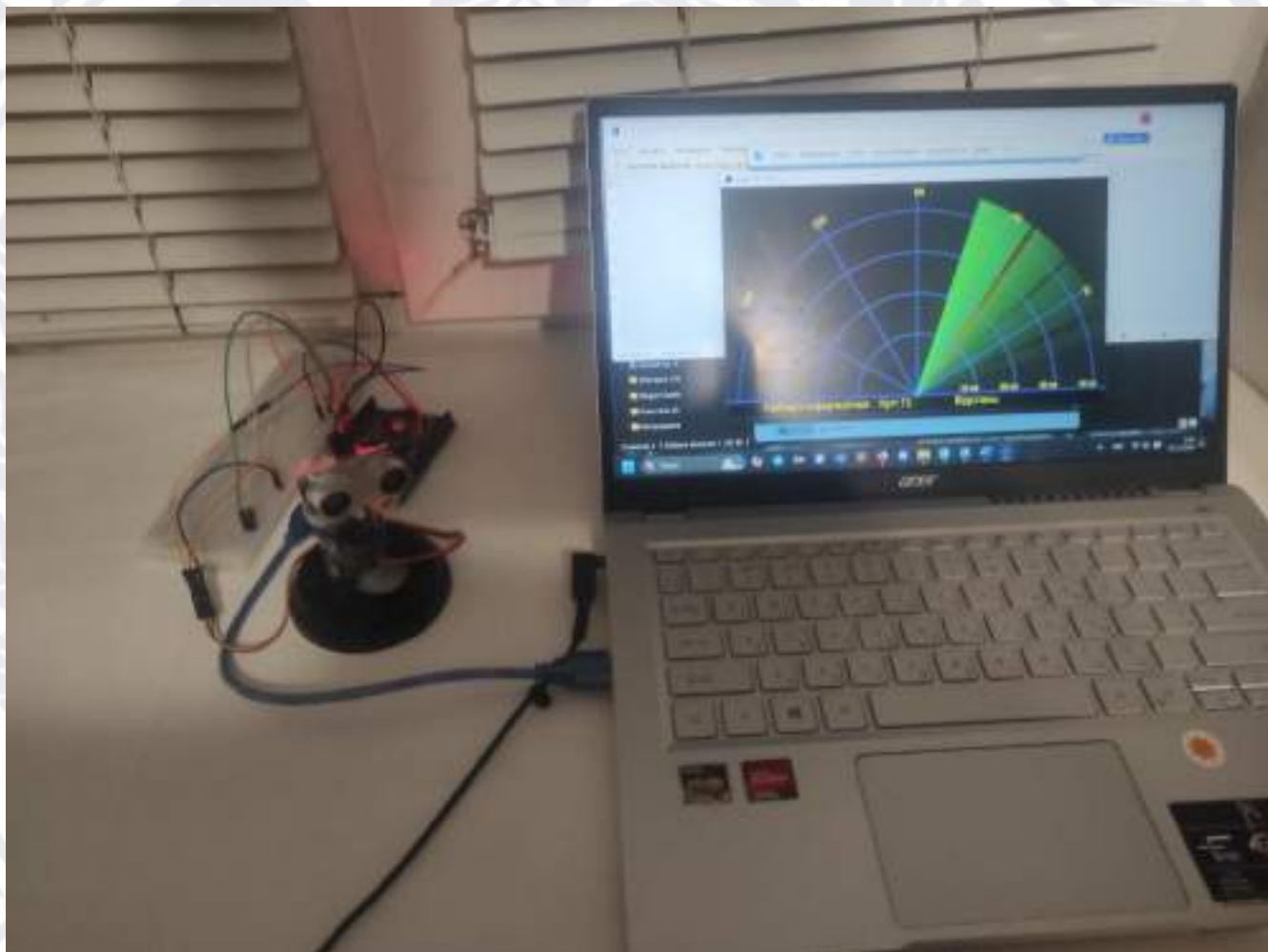


Рис. 3.10 Схема прототипу “сонару”

Взаємодія апаратної частини ардуіно та програмного відображення Processing дозволило перетворити звичайний ультразвуковий датчик на систему виявлення перешкод. Проста конструкція приладу та зручність використання дозволяють в подальшому перетворити данні напрацювання для покращення приладу. Проблеми

викликані сервопривод, можуть бути вирішені заміною його на більш надійну модель.

3.3. Покращення продукту. Мінімізація розмірів приладу

Покращена версія “сонару” має подібну структуру до прототипу попереднього, але має декілька важливих покращень. В загальному

Структура пристрою :

- Плата ардуіно за для керування системою
- Покроковий двигун 28BYJ-48, що забезпечує рух датчика HC-SR04.
- Мікроконтролер ULN2003 для 28BYJ-48. Що забезпечує просте управління двигуном
- Ультразвуковий датчик HC-SR04 для детекції.
- Пищалка(Buzzer) для подачі сигналу при виявленні об’єкту.

Загалом конструкція приладу зазнала деяких змін на краще.

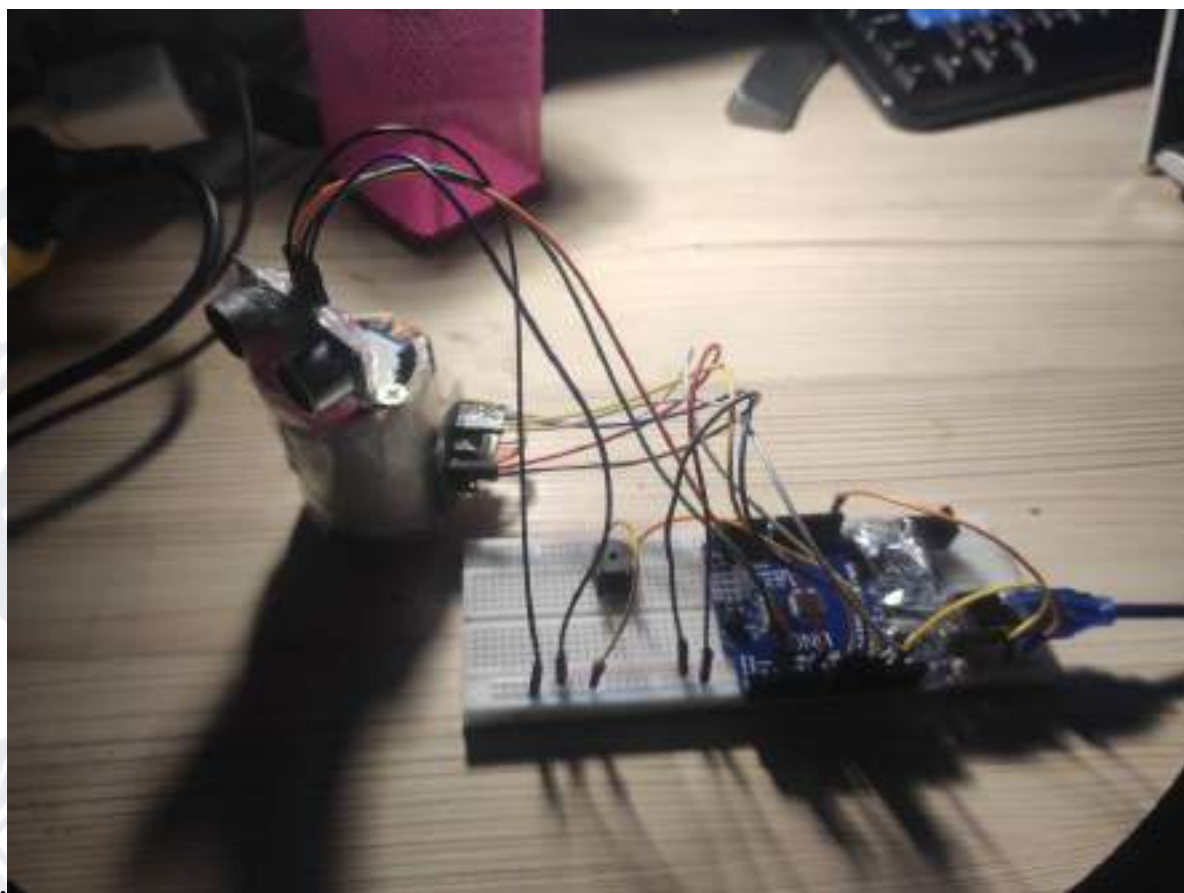


Рис. 3.11 Система звукової детекції.

Нова система має пару значних покращень на відміну від попередньої.

- Заміна SG90 на новий покроковий двигун. Дана заміна дозволила мати стабільні обертання не залежно від збоїв системи. Загалом покроковий двигун попри специфічне керування має набагато більше можливостей для управління ніж SG90.
- Покращено кріпкість конструкції, та зручність використання.
- Виправленні помилки, при роботі з Serial.
- Пищалка дозволяє відстежувати об'єкти без підключення до комп'ютера.

28BYJ-48 — це відмінний варіант для проектів, де потрібне точне управління кутовим положенням або обертанням. Його компактний розмір,

енергоефективність і доступність роблять його ідеальним для навчання, експериментів і створення малопотужних автоматизованих систем.

Головною перевагою цього двигуна є його низька вартість, що робить його доступним початківців і невеликих розробок. Завдяки вбудованому редуктору із співвідношенням 1:64, двигун забезпечує високу точність позиціонування та значний крутний момент навіть при низькому енергоспоживанні.

Точність досягає 0.088° на крок, що є вагомим аргументом для використання у проєктах, де потрібна детальна калібровка. Популярними є 2048 схема повного кола та 2038.

Компактні розміри та надійна конструкція дозволяють інтегрувати його у пристрої з обмеженим простором. Двигун працює при напрузі 5 В, що забезпечує низьке споживання струму та робить його придатним для роботи від батарей.

ULN2003 мікроконтролер дозволяє інтегрувати мікросхему, яка виконує роль драйвера для управління навантаженнями з великим струмом і напругою, таких як двигуни, реле або світлодіодні матриці.

28BYJ-48 легко інтегрується з популярними мікроконтролерами, такими як Arduino або Raspberry Pi, і зазвичай використовується разом із модулем драйверу ULN2003, що значно спрощує процес керування. Двигун підтримує режими повних і напівкроків, які можна налаштувати для досягнення максимальної точності або плавності роботи. Завдяки доступності численних бібліотек для керування, його програмування стає простим навіть для новачків.

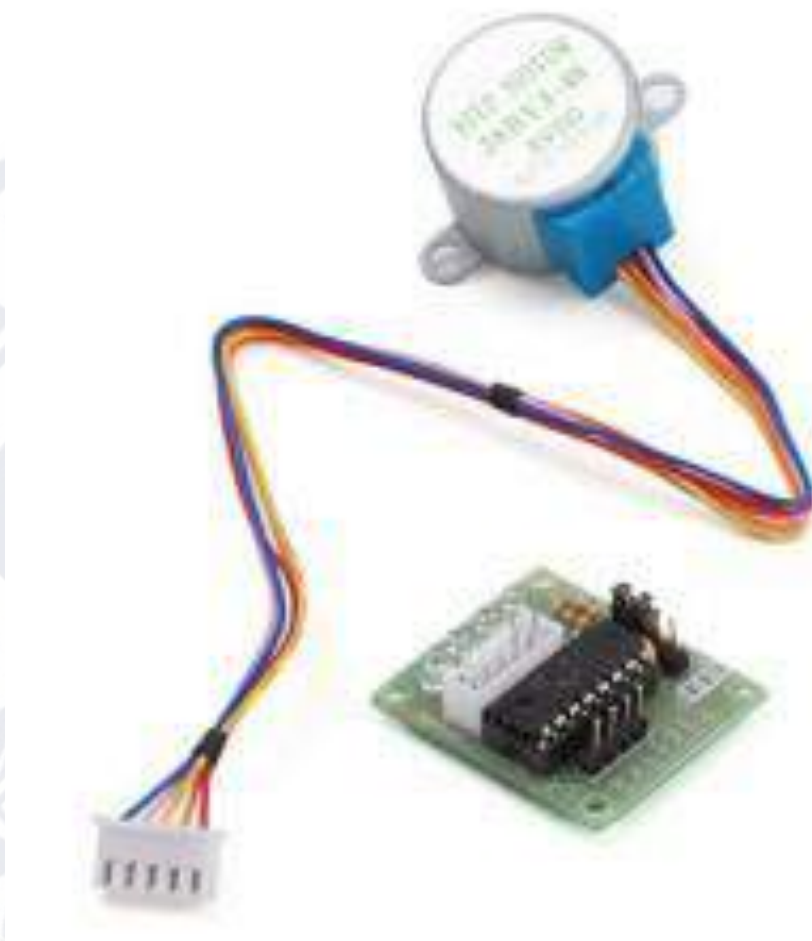


Рис. 3.12 Вигляд покрокового двигуна 28BYJ-48 та мікросхеми ULN2003

Швидке прототипування ідей за допомогою processing дозволяє, реалізувати схему відображення в вигляді сонару.

Processing підходить для візуалізації даних, отриманих із сенсорів на Arduino. Окрім базових можливостей програма підтримує розширення функціоналу через бібліотеки, які дозволяють інтегрувати дані, створення віртуальної реальності та навіть роботу зі штучним інтелектом. Його кросплатформенність забезпечує сумісність із Windows, macOS і Linux.

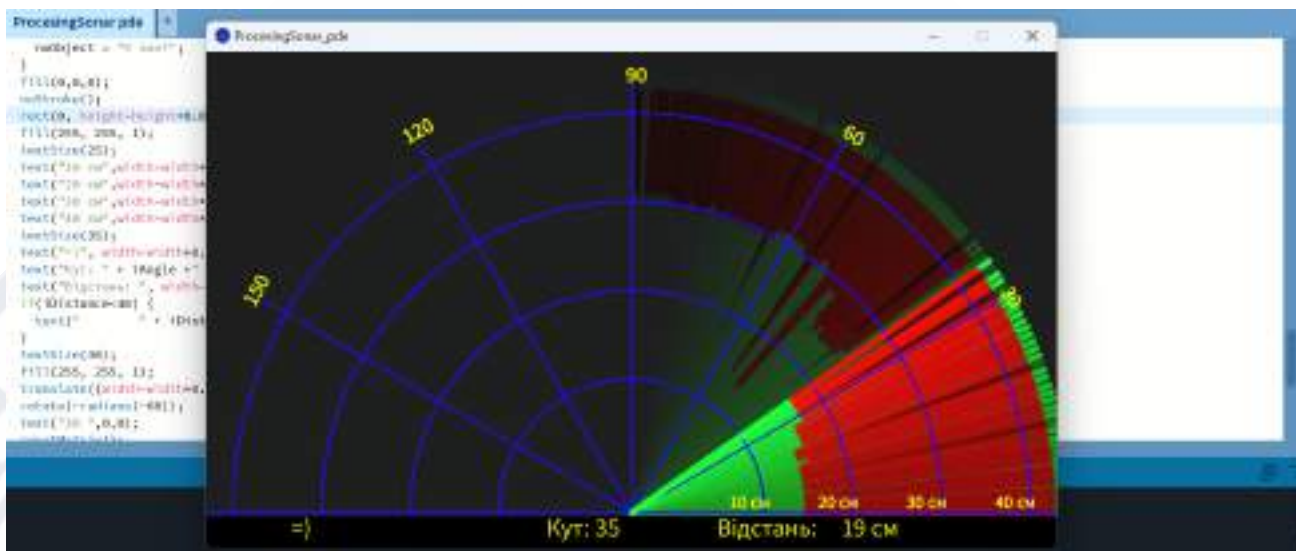


Рис. 3.13 Обробка даних processing.

Тестування приладу за встановленими критеріями.

При тестуванні приладу всі функції працювали нормально окрім, кількох моментів, що стосувались з'єднання serial та сервоприводу.

Функціональні властивості:

- **Реакція на середовище:** Дозволяє визначити перешкоду на 40 см перед собою можливе використання до 4 м.
- **Звукове визначення дистанції:** Визначає точну дистанцію на відстані до 40 см і більше.
- **Обрахунок змін в реальному часі:** Час реагування нормальний,
- **Представлення результатів:** Чудове представлення даних за допомогою Processing.

Не функціональні властивості теж важливі для зручності роботи приладу:

Прилад максимально компактний наскільки це можливо при використанні наявного інструментарію. Всі основні елементи згруповані максимально близько.

Точність чудова. За допомогою усереднення Калмана.

Крепкість надійно. Конструкція крепка. Єдиними недоліками є зйомники детектор та можливість відходження проводів, але в загальному все чудово. **Представлення мінімалістичне.** Лише групування проводів та правильна оболонка для приладу може його покращити. **Простота в використанні:** Розширені можливості використанні від мереж так і покращена версії при з'єднанні до комп'ютера.

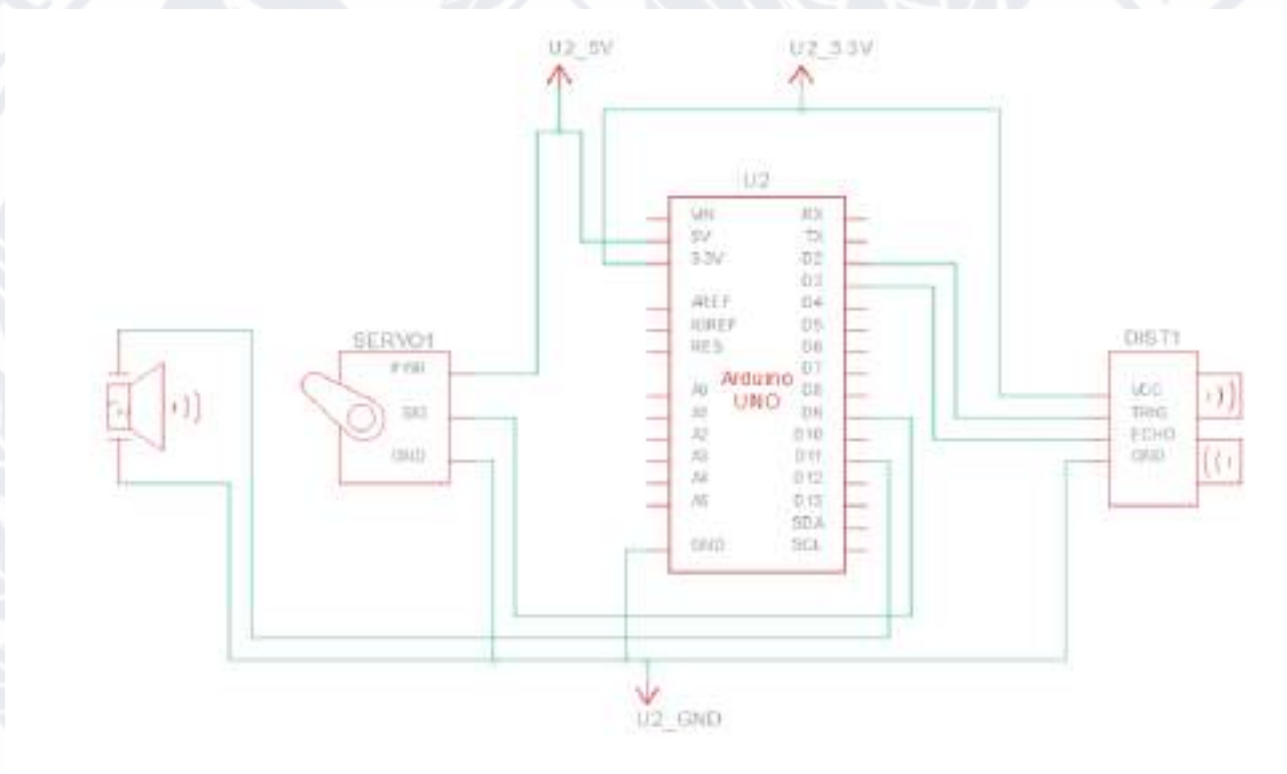


Рис. 3.14 Обробка даних processing.

Прилад чудово справляється з поставленим завданням та є достатньо компактним і зручним. При використанні кращих запчастин та достатній доробці прилад може бути інтегрований в безпекову систему чи покращений в інший варіант.

3.4 - Фінальна реалізація продукту та його покращення

Завдяки своїм численним перевагам, ультразвукові датчики широко використовуються в робототехніці, медицині, автоматизації та промисловості, надаючи точні, ефективні та економічні рішення для різних завдань.

Вони використовуються в системах паркування для вимірювання відстані до об'єктів, для моніторингу рівня рідин у резервуарах, а також для акустичного профілювання та картографії підводного середовища.

Ці датчики добре підходять для виявлення об'єктів в умовах туману або пилу та застосовуються в медичних пристроях для ультразвукових сканувань, що дозволяє безконтактно і точно вимірювати стан органів чи об'єктів.

Завдяки безконтактній роботі, високій точності, здатності працювати в складних умовах і доступності, ультразвукові датчики є важливими інструментами в багатьох сферах, включаючи промисловість, медицину, автоматизацію та дослідження. Вони знаходять застосування в багатьох областях.

Прилад просторового сканування має подібну структуру до прототипу попереднього “**сонару**”. Це система, яка використовує ультразвукові хвилі для аналізу або візуалізації навколишнього середовища. Основними компонентами такого пристрою є ультразвукові випромінювачі та приймачі, механізм сканування та звукові датчики мікроконтролер Arduino, програмне забезпечення для аналізу сигналів, джерело живлення та модулі зв'язку (USB). Результати сканування дозволяють побудувати 2D модель простору.

Покращення даного пристрою.

- Сканування на 360 градусів
- Покращені методи обробки даних
- Формування мапи результатів
- Зберігання даних в базі

- Міцна структура приладу

Ультразвуковий просторовий сканувальний пристрій на основі Arduino може формувати карти простору та зберігати результати в базі даних для подальшого аналізу.

Під час роботи пристрою дані про відстань до об'єктів, отримані через ультразвукові датчики, використовуються для побудови 2D карти. Формування карти можливе за допомогою алгоритмів візуалізації. Прикладом є сітка простору. Візуалізація виконується на комп'ютері. Для збереження результатів за необхідності дані передаються на сервер через Wi-Fi модулі де вони зберігаються в базі даних, наприклад, MySQL або Firebase, разом із часовими мітками та координатами об'єктів.

Інтерактивні карти можна переглядати через спеціалізоване програмне забезпечення Processing на комп'ютері. Такий підхід дозволяє створювати та оновлювати карти простору в реальному часі. Real time реакція дозволяє розробці бути ціною. Архівування результати для аналізу, повторного використання або порівняння.

завдяки широкому спектру застосувань, зростаючій потребі в автоматизації процесів та доступності сучасних технологій для його створення. Такі пристрої є ключовими для робототехніки, де вони забезпечують навігацію, уникнення перешкод і побудову карт приміщень для автономних роботів. У системах безпеки та моніторингу вони використовуються для контролю периметра, детекції руху та створення тривимірної візуалізації об'єктів у режимі реального часу.

В інженерії пристрій допомагає інспектувати конструкції, виявляти дефекти чи пошкодження. Загалом є чудовим прикладом використання простих технологій для формування складних процесів.

Актуальність також зумовлена доступністю компонентів, таких як мікроконтролери ультразвукові датчики та модулі пам'яті, що дозволяє створювати недорогі, але функціональні рішення. В умовах розвитку Інтернету речей пристрій може інтегруватися у розумні системи для моніторингу та аналізу середовища. Універсальність, це те що робить ультразвукові сканувальні пристрої важливими для вирішення задач як у побутових, так і в промислових масштабах.

ВИСНОВОК

Здобуто практичні навички розробки акустичних систем та досліджено їх застосування у різних середовищах. Було розроблено експериментальні установки з різним функціоналом. Можливості компонентів ардуїно є обмеженими на відміну від дорожчих розвинутих приборів, але таку гнучкість в розробці, зі зйомними модулями, не можуть забезпечити інші платформи.

Перша установка з назвою “Пульт”. Являється простим ручним далекоміром з максимальною дальністю в 4м. Даний прилад не є чимось новим, так як існують кращі версії. Роботу установки було доведено експериментально. Розробка даного пристрою дозволив протестувати можливості ультразвукового датчику та покращити наступні установки.

Друга установка з назвою “Сонар”. Представляє сканер перешкод з максимальною дальністю в 4м, подібно сонару він може знаходити об’єкти на шляху та визначати дистанцію до них. Даний прилад є дешевою версією розвинутих приборів, існують версії дорожчі і кращі за цю. Роботу установки було доведено експериментально. Розробка даного пристрою дозволила зв’язати систему з апаратною частиною обробки даних.

Фінальна установка з “просторовий сканер” має подібну структуру до прототипу попереднього “сонару”. Це система, яка використовує ультразвукові хвилі для аналізу для подальшої створення 2D карти простору та відслідковування. Даний прилад є ручною версією розвинутих приборів, попри обмежену відстань, дозволяє аналізувати простір в багатьох аспектах на відміну від інших приладів. Роботу установки було доведено експериментально. Пристрій є імпрізованою(експериментально) установкою, концепція якої може бути реалізована за допомогою покращених елементів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Новина про випробовують комплекс “Положення–2”
<https://mil.in.ua/uk/news/v-ukrayini-vyprobuvuyut-kompleks-polozheniye-2/>
2. Цветков В.І. РІ-91мп, «Електронний вимірювач відстані»/ магістерська 2020р.
<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/3667911f-cc1c-4b61-b982-fb844a1b773f/content>
3. Дончак, О. В. Спосіб визначення просторового положення об'єктів на основі алгоритму TDOA : магістерська дис. : 123 Комп'ютерна інженерія (Комп'ютерні системи та компоненти) / Дончак Олексій Володимирович. – Київ, 2018. – 109 с.
4. Бондаренко А. Просторова локалізація акустичних подій в електронній музиці: досвід дослідження: стаття – Київ, 2020. – 26-30 с.
5. Ajoy Raman., Навчальна робота реалізації акустичної системи за допомогою Arduino Uno та HC-SR04.
<https://www.instructables.com/Ultrasonic-Mono-Pulse-Tracker/>
6. Е. Зейтууні, І. Коен, Односенсорне локалізування рухомих акустичних джерел за допомогою дифузійних ядер
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X22002924>
7. Bonan Jin., Xiaosu Xu., Tao Zhang., Стійке локалізування за допомогою різниці часу прибуття (TDOA) із використанням зважених методів найменших квадратів із обмеженням на дотичну площину конуса/ стаття , Нанкін 210096, Китай
<https://www.mdpi.com/1999-5903/15/7/240>
8. Bingbing Cheng., Jiao Wu., Акустичне вимірювання TDOA та точне внутрішнє позиціонування для смартфонів. Вухань 430079, Китай.
<https://www.mdpi.com/1424-8220/18/3/778>

9. Алгоритми швидкого перетворення Фур'є та їх програмна реалізація

<https://studfile.net/preview/9219348/page:4/>

10. Навчальний матеріал по ефекту Доплера.

<https://zvidusil.in.ua/efect-doplera/>

11. Платформа для проектування схем за допомогою Arduino

<https://www.tinkercad.com/>

12. Навчальний матеріал Дніпровського державного технічного університету по Фільтру Калмана.

<http://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/kalman/index.html>

13. Переваги та недоліки Arduino та Raspberry

<http://isearch.kiev.ua/uk/searchpractice/science/1752-arduino-a-simple-but-not-too-simple>

14. Середина розробки ардуіно.

<https://www.arduino.cc/en/software>

15. ARDUINO PROJECTS BOOK by Scott Fitzgerald and Michael Shiloh 2012

https://www.eitkw.com/wp-content/uploads/2020/03/Arduino_Projects_Book.pdf

16. Сайт-довідник по Arduino

<https://itmaster.biz.ua/electronics/arduino/arduino-ide.html>

17. Інструкція по підключенню ультразвукового датчика.

<http://titanzs.blogspot.com/2014/05/tosduino-uno-r3.html#more>

18. Методичка по встановленню драйверного забезпечення

<https://itmaster.biz.ua/electronics/arduino/arduino-ide.html>

19.Бібліотеки Arduino

<https://doc.arduino.ua/ru/prog/Libraries>

20.Його величність звук

<http://www.indigo-music.com.ua/info/articles/theory-and-practice/104/>

21. Характеристики датчику

<https://www.mini-tech.com.ua/ua/datchik-rasstoyaniya-ultrazvukovoy-hc-sr04>

22. *Пісковий Василь Іванович.* Докладний розбір мови Processing

<https://naurok.com.ua/kniga-osnovi-programuvannya-na-movi-processing-157753.html>

23. Офіційний сайт Processing

<https://processing.org/>

24. Розробка радіокерованого танка

<https://arduino.ua/art249-rozrobka-radiokерованого-tank-na-bazi-arduino-nano>

25. Офіційний сайт Ардуіно

<https://www.arduino.cc/>

26. Уроки Ардуіно для новачків

https://geekmatic.in.ua/ua/arduino_lesson_111

27. Ультразвуковий сонар ардуіно.

<https://projecthub.arduino.cc/nimishac/ultrasonic-radar-with-arduino-19baa3>

ДОДАТОК А

Лістинг коду до прототипу “Пульта”

Код Arduino IDE

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
int const ultr_echo = 2;
int const ultr_trig = 3;
void setup() {
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    Serial.begin(9600);
    pinMode(ultr_trig, OUTPUT);
}

void loop() {
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.clear();
    digitalWrite(ultr_trig, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(ultr_trig, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(ultr_trig, LOW);
    int dist = pulseIn(ultr_echo, HIGH)/58;
    lcd.print(dist);
    delay(1000);
}
```

Лістинг коду до прототипу “Сонару”

Код Arduino IDE

```

// Мотор
int speedMotor = 1180; // Швидкість
int countNull = 0; //к-сть кроків
int countStep = 256; //к-сть кроків для кута 180
int temp;
// Ультразвуковий датчик
const int trigPin = 2; // Пін для виведення сигналу trig на датчик
const int echoPin = 3; // Пін для отримання сигналу echo від датчика
const int buzzer = 6; // Пін для виведення сигналу на пищалку
long duration; // Тривалість звучання сигналу
int distance; // Відстань, яку вимірює датчик
int prevresult;
int myArray[8] = {B01000, B01100, B00100, B00110, B00010, B00011, B00001, B01001};
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(trigPin, OUTPUT); // Встановлення піна trigPin як вихідний
    pinMode(echoPin, INPUT); // Встановлення піна echoPin як вхідний
    pinMode(buzzer, OUTPUT); // Встановлення піна buzzer як вихідний
    pinMode(8, OUTPUT);
    pinMode(9, OUTPUT);
    pinMode(10, OUTPUT);
    pinMode(11, OUTPUT);
}
void loop(){
    if (countNull < countStep){
        forward_rotate();
    }
    else if (countNull ==countStep*2){
        countNull = 0;
    }
    else { back_rotate();
    }
    countNull++;
}
void forward_rotate(){ // поворот за часовою
    for (int i = 7; i >=0; i--) {
        printData(countNull, 0);
        progressRotate(i);
        delayMicroseconds(speedMotor);
    }
}
void back_rotate(){ // поворот против часовой
    for (int i = 0; i < 8; i++) {

```

```

    temp = (countStep*2) - countNull;
    printData(temp,0);
    progressRotate(i);
    delayMicroseconds(speedMotor);
  }
}

void progressRotate(int outScore) {
  digitalWrite(8, bitRead(myArray[outScore], 0));
  digitalWrite(9, bitRead(myArray[outScore], 1));
  digitalWrite(10, bitRead(myArray[outScore], 2));
  digitalWrite(11, bitRead(myArray[outScore], 3));
}

void printData(int angle, int dist) {
  int result = angle * 0.703125;
  if(result != prevresult){
    Serial.print(result); // Вивід кута в шлюз
    Serial.print(","); // Роздільник для обробки в середовищі обробки даних
    Serial.print(calculateDistance()); // Вивід відстані в шлюз
    Serial.print("."); // Роздільник для обробки в середовищі обробки даних
    prevresult = result;
  }
}

int calculateDistance() {
  digitalWrite(trigPin, LOW); // Встановлення trigPin в низький рівень
  delayMicroseconds(1); // Затримка для стабілізації
  digitalWrite(trigPin, HIGH); // Підняття trigPin в високий рівень на 10 мікросекунд
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trigPin, LOW); // Зниження trigPin в низький рівень
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH); // Вимірювання тривалості сигналу echo
  distance = duration / 58; // Обчислення відстані за формулою для ультразвукового
датчика
  if(distance > 0 & distance <= 40){
    tone(buzzer, 4000, 1);
  }
  return distance; // Повернення виміряної відстані
}

```

ДЕКЛАРАЦІЯ

про дотримання академічної доброчесності

Я, _____

Повністю вказується ПІБ та статус (освітня (освітньо-наукова) програма – для здобувачів вищої освіти, назва кваліфікаційної роботи)

що нижче підписалась/підписався, розуміючи та підтримуючи загальновизнані засади справедливості, доброчесності та законності,

ЗОБОВ'ЯЗУЮСЬ:

дотримуватися принципів та правил академічної доброчесності, що визначені законодавством України, локальними нормативними актами Донецького національного університету імені Василя Стуса, положеннями, правилами, умовами, визначеними іншими суб'єктами, та не допускати їх порушення.

ПІДТВЕРДЖУЮ:

що мені відомі положення статті 42 Закону України «Про освіту»;

що у даній роботі не представляла/представляв чийсь роботи повністю або частково як свої власні. Там, де я скористалася/скористався працею інших, я зробила/зробив відповідні посилання на джерела інформації;

що дана робота не передавалась іншим особам і подається вперше, не порушує авторських та суміжних прав закріплених статтями 21-25 Закону України «Про авторське право та суміжні права», а дані та інформація не отримувались в недозволений спосіб.

УСВІДОМЛЮЮ:

що ця робота може бути перевірена університетом на плагіат або інші порушення академічної доброчесності, в тому числі з використанням спеціалізованих сервісів;

що у разі порушення академічної доброчесності, до мене можуть бути застосовані процедури, передбачені законодавством України та Кодексом академічної доброчесності та корпоративною етикою Донецького національного університету імені Василя Стуса, іншими локальними нормативними актами університету, та я можу бути притягнута/притягнутий до академічної відповідальності.

(дата)



(підпис)