

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри,
д-р техн. наук, проф.

_____ І. М. Журавська

«__» _____ 202__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Програмно-апаратний комплекс детектування
металевих об'єктів на базі Raspberry Pi

Спеціальність «Комп'ютерна інженерія»
123 – КМР.1 – 605.21710501

Студент

_____ А.А.Агеєв
підпис

«__» _____ 202__ р.

Керівник канд. техн. наук, доцент

_____ В.Ю.Савінов
підпис

«__» _____ 202__ р.

Миколаїв – 2023

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ СИСТЕМИ, ЩО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ. ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО АПАРАТНО- ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	7
1.1 Аналітичний огляд фізичних процесів пошуку металодетектором....	7
1.2 Типи сенсорів пошуку металу Very low frequency	13
1.3 Конструкції металодетекторів	18
1.4 Проблеми металодетекторів для пошуку мін	26
Висновки до розділу 1	30
2 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ, ЩО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ	32
2.1 Принцип роботи ультразвукового датчика	32
2.2 Принцип роботи металошукача	37
2.3 Метод виявлення вибухонебезпечних предметів	41
Висновки до розділу 2	46
3 АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ	47
3.1 Вибір апаратної платформи	47
3.2 Опис апаратної платформи та компонентів	52
3.3 Побудова макетної та принципової схеми	57
3.4 Розробка програмної частини	59
3.5 Бібліотеки	62
Висновки до розділу 3	66
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБЧИСЛЕНЬ	67
4.1 Виконання налаштувань	67
4.2 Розробка керування роботом	69

4.3 Розробка дизайну робота	72
4.4 Випробування роботи програмно-апаратного комплексу	74
Висновки до розділу 4	76
ВИСНОВКИ	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	79
ДОДАТОК А Код програми	81
ДОДАТОК Б Алгоритм роботи програми	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

VLF	–	Very Low Frequency
BFO	–	Beat Frequency Oscillator
GPS	–	Global Positioning System
TOF	–	Time of light
PCA	–	Principal component analysis
PPS	–	Physical protection system
HPE	–	Human Pose Estimation
COCO	–	Common Objects in Context
NQR	–	Nuclear Quadrupole Resonance
GPR	–	Ground Penetrating Radar
DSI	–	Display Interface

ВСТУП

У 20 столітті виникла низка конфліктів місце в Європі та на Близькому Сході: з серед найбільш помітними є Перша та Друга світові війни, війна в Афганістан і конфлікт у колишній Югославії та Україні.

Це призвело до збільшення використання мін, гармат, літаки та багато інших військових предметів. Однією з найбільш непередбачуваних загроз є міни. За даними Нетарала [5], до 100 000 000 протипіхотних міни були розгорнуті по всьому світу різні військові частини та терористичні організації.

Дешеві у виробництві, непомітні для ворога, вони можуть завдати жахливої шкоди. На жаль, коли ворогуючі сторони виходять з зона операцій, як правило, наприкінці конфлікту, вони залишають багато небезпечних вибухових речовин, які становлять загрозу для цивільного населення. Процес розчищення таких ділянок займає надзвичайно багато часу. Це потребує використання кваліфікованих кадрів із сучасн обладнання та сама клірингова операція – це життя та діяльність, яка загрожує здоров'ю оператора. в

Тільки в Польщі військово-морські підрозділи здійснили 300 інтервенцій рік у прибережній смузі для знешкодження мінно-вибухових речовин які можуть становити загрозу для цивільного населення [6].

Водночас багато хто визнав цю можливість використання дистанційно керованих машин для нейтралізації різноманітні вибухові речовини. Роботи забезпечують більш безпечний і більш безпечне рішення для оператора. Такі конструкції нині є основою для саперів у сучасному озброєнні конфлікту.

Актуальність магістерської роботи полягає в тому, що розроблений комплекс може виявляти мінні та вибухонебезпечні предмети як на землі так і під ґрунтом на невеликій відстані.

Мета магістерської роботи: Модифікація робототехнічної системи для виявлення вибухонебезпечних предметів та металів.

Об'єкт дослідження магістерської роботи: Алгоритми та методи точного розпізнавання металів

Предмет дослідження магістерської роботи: Програмно-апаратний комплекс виявлення вибухонебезпечних предметів та основи Raspberry Pi.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- реалізувати програмне забезпечення виявлення вибухонебезпечних предметів
- реалізувати програмне забезпечення для інтеграції сенсору метало-детекції з Raspberry Pi
- розробити апаратний комплекс, який би забезпечував виявлення вибухонебезпечних предметів у землі
- реалізувати синхронізацію даних між апаратним комплексом та вебсервісом
- розробити питання з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Наукова новизна Також в Україні ще немає патентів на корисну модель для виявлення вибухонебезпечних предметів та металів.

Практичне значення отриманих результатів: розроблений програмно-апаратний комплекс може бути використаний у службах ДСНС та може використовуватись для навчання підрозділів розмінування у ЗСУ.

Робота пройшла **апробацію** під час XXV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Могилянські читання» (Миколаїв, 07–11 листопада 2022 р.).

Публікації. Основні положення магістерської роботи опубліковані у збірнику матеріалів XXV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Могилянські читання–2022» [3].

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ СИСТЕМИ, ЩО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ. ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Металодетектори широко використовуються для пошуку небажаних металевих предметів у оброблених харчових продуктах. У такому типовому металодетекторі котушки розташовані коаксіально з передавальною котушкою в центрі та двома приймальними котушками з боків. Приймальні котушки з'єднані з диференціальним підсилювачем. Коли магнітне поле, створене в передавальній котушці, порушується металевими предметами, амплітуда і фаза вихідної напруги диференціального підсилювача змінюються, і, таким чином, виявляється наявність сторонніх шматків металу.

Однак зв'язок між амплітудою і фазою вихідного сигналу та електромагнітними властивостями металевих об'єктів поки що обговорювався лише експериментально. Автори вже розробили метод SRPM для одночасної оцінки електричних і магнітних властивостей сферичного зразка шляхом векторного вимірювання різниці в імпедансі двох круглих котушок соленоїда, однієї зі зразком, а іншої без зразка. Зроблено спробу теоретично проаналізувати такі властивості, як розмір, провідність і проникність металевих об'єктів на виході, тобто амплітуду і фазу металодетектора. На основі цього методу рівняння для оцінки векторної напруги, індукованої в приймальній котушці металевим об'єктом, виводиться за допомогою сферичного зразка для спрощення аналізу.

1.1 Аналітичний огляд фізичних процесів пошуку металодетектором

Детектори струму не можуть компенсувати ефект землі і видає безперервний звуковий сигнал, який робить виявлення невеликої кількості металу дуже складне або навіть навіть неможливо. Сучасні детектори не можуть виявляти достатньо похований низький вміст металу в усіх типах

грунтів. Це було встановлено, що новий детектор, ймовірно, буде розгорнуто в межах території Африканського континенту. Це дослідження створено специфікації системи для розробки або придбання міношукач. Саме функціональна конструкція обумовлює малу потужність і дуже портативний міношукач, щоб досягти важливої можливості за потреби. Були проведені випробування у вільному повітрі, так і ґрунтові не враховуються при встановленні продуктивності детектора оновлення. Наявність шахт з низьким вмістом металу мають було підтверджено в межах африканських територій, які становлять а потенційна загроза мобільності та безпеці людей, що працюють в межах простору. Через нові технології та динаміка роботи в мінній війні, сучасний детектор більше не здатний виявляти закопаний низький метал вміст.

Сучасні ручні детектори Midas виробляють а безперервний звуковий сигнал, який унеможливує виявлення, отже, необхідно розробити специфікацію для міношукача та розробити малопотужний і дуже портативний міношукач. Специфікації допоможуть у закупівлі детектора необхідні для істотного виявлення міни з низьким або відсутнім металевий вміст. За словами Нельсона [2], перше відоме використання металошукач з'явився в Китаї близько 200 років тому дверний отвір із залізного, металевого «атрактора» (можливо магнетит) був побудований для захисту китайського імператора від людей, які носять металеві предмети. Олександр Грем Белл його можна згадати як першу людину, яка використала електричний метал детектор, щоб знайти кулю в президента Джеймса Гарфілда після замаху у 1881 р.

Перший задокументований скарб- мисливський металошукач з'явився приблизно в 1930 р. Швидкий прогрес в сучасні електронні металодетектори були розроблені протягом другої світової війни як засіб виявлення закопаних металевих мін [4-5]. Нельсон (2004) також продемонстрував, що в 1970-х роках електроніка революція в інтегральних схемах і скарб- ринок детектора

металу для любителів полювання підштовхнув розробка різноманітних складних, портативних, низьких потужність і недорогі технології виявлення металу. 1980-ті роки бачив розвиток необхідної теоретичної основи для подальшого розвитку концепції дискримінації металів. Прогрес мікроелектроніки за останні десять років, мікрокомп'ютери, обробка сигналів і електромагнітне моделювання призвело до більшої кількості вдосконалень [6].

Сьогоднішні металодетектори для любителів використовують вдосконалену обробку сигналів мікрокомп'ютери для аналізу сигнатур прихованих цілей відрізнити предмети безладу від монет і коштовностей [2].

Для дослідження мін і боєприпасів, що не розірвалися (НУБ). спільнота скористалася прогресом для розвитку складні технології виявлення та дискримінації [4].

Металошукачі в даний час використовуються в гуманітарному розмінуванні як а також військові операції з розмінування в поєднанні з шубки та землерийні інструменти. Це також формує первинне виявлення у більшості інтегрованих систем виявлення, звідки дані кілька датчиків об'єднані разом, щоб покращити виявлення надійність і зменшення помилкових тривог. Міна як пристрій призначений для вбивства або поранення будь-кого, хто піддається його впливу, через виникли протипіхотні міни прямого тиску або триси у Другу світову війну [1]. Принцип електромагнітності індукція є основою технології виявлення металу. Це є використовується або як імпульс, або як безперервна хвиля в сучасному металі детектори. Круговий дріт, одинарний або подвійний, є основним компонент усіх металодетекторів. Це також називають пошукова головка детектора [6]. При проходженні електричного струму через обмотки котушки струм створює а магнітне поле.

Струм через котушку може подаватися як короткий імпульсів або плавно змінюється хвиля, зазвичай синусоїда, при частоти від 1 до 50 кГц. Це

змінний струм проходячи через обмотки котушки породжує змінний магнітне поле навколо котушки на тій же частоті [6]. Якщо матеріал, який може проводити електрику (заліза або не заліза) потрапляє в первинне магнітне поле пошукової головки, змінне магнітне поле викликає вторинний струм матеріал.

Це вторинний струм, який також називають «вихровий струм». Цей індукований струм, у свою чергу, породжує а вторинне магнітне поле навколо матеріалу. Голова пошуку щоб вказати наявність провідного матеріалу всередині первинне магнітне поле може виявити це вторинне магнітне поле.

Цей матеріал зазвичай є металом, звідси і термін «метал» виявлення.

Кольорові матеріали, такі як срібло або мідь, таким чином створюють більші «вихрові струми», ніж нержавіюча сталь із чорних металів матеріалів і тому їх легше виявити. Метал, який має магнітні властивості, такі як м'яка сталь, стануть намагнічується під впливом первинного магнітного поля пошукова головка. Це магнітне поле більше, ніж створене «вихровим струмом», і це полегшує матеріал виявити, ніж немагнітний матеріал. Коллінз та ін. [8] зазначено що деякі чорні метали мають дуже низьку провідність, але мають значні магнітні властивості. Типовими прикладами є залізо оксид (іржа), який з'являється в ґрунті у вигляді дрібних, розбитих іржавих м'яких сталеві фрагменти або шматки або в мінеральній формі, такій як гематит (Fe_2O_3). Ці металеві сполуки не здатні підтримувати електричного струму через їх дуже низьку провідність, але є намагнічуються під впливом первинного магнітного поля. Коли металошукачі працюють у цьому середовищі, це намагнічений фон створює безперервні сигнали. Це робить детектор непридатним для пошуку мін за допомогою а мінімальний вміст металу. Чутливість повинна бути знижена до такої міри, щоб скасувати фон, що це не так здатний виявляти невеликі металеві предмети в ґрунті.

Відповідно до закону Фарадея, колапсує магнітне поле створює електрорушійну силу в металевому предметі. Ця сила викликає вихрові струми в металі. Тому що немає енергії для підтримки вихрових струмів, вони починають зменшуватися з характерний час розпаду, який залежить від розміру, форми та електричні та магнітні властивості металу. На рис. 1.1 показано а спрощена схема базової методики імпульсного електромагнітного випромінювання

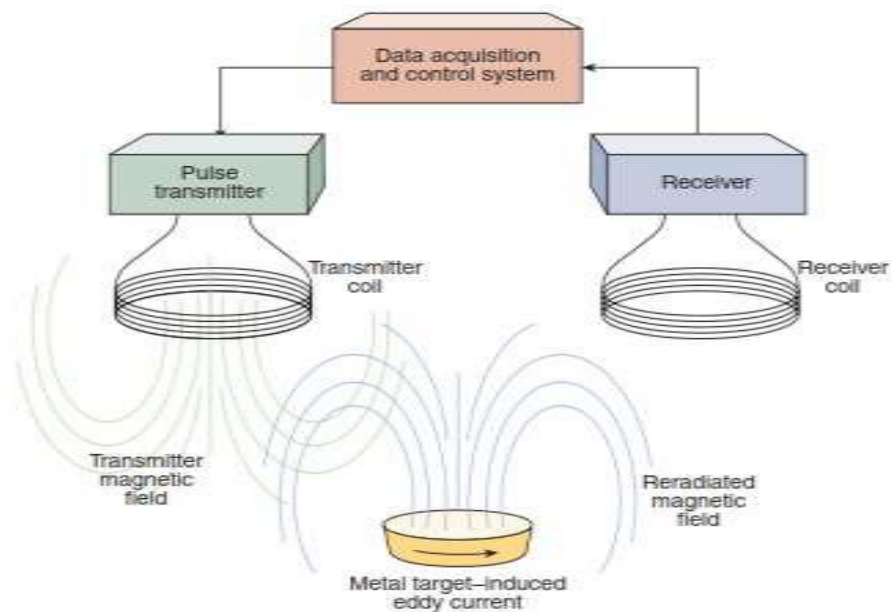


Рисунок 1.1 - Принципова схема імпульсно-індукційного металодетектора [9].

Шрайнер [10] визначає дві основні перешкоди для металу виявлення мінімальних металевих мін, оскільки вироблені наземні міни сьогодні містять менше металу та більше пластику, що робить ідентифікацію металу складніша, оскільки заміновані території можуть мати металеві уламки, щоб уникнути виявлення та ідентифікації, тим самим збільшуючи помилкові тривоги. Три фактори визначають легкість за допомогою якого металошукачем виявляють міни. Ці фактори є; проектування та будівництво самої шахти, електропровідність ґрунту, в якому закладена міна, і рельєфу місцевості умови, перш за все, зростання рослинності [11-12]. В у цих типах мін металеві частини обмежені малими розмірами детонаторні трубки

(діаметром від 5 до 10 мм) різної довжини (від 5 до 48 мм), а також ряд невеликих ударних штифтів, пружин і опорні кулькові підшипники (діаметром від 3 до 10 мм).

Для виготовлення цих елементів використовуються різні метали. Детонаторні труби зазвичай виготовляють з алюмінію в той час як високоякісна нержавіюча сталь використовується для штифтів і утримуючи кулькові підшипники. Пружини зазвичай виготовляють з вис вугільна пружина металева.

Глибина металевих компонентів усередині шахти також впливає на легкість, з якою міна може бути виявлена за допомогою а металошукач. Хоча не так важливо, де знаходяться А/Р міни через їх відносно менший розмір, це важливо при роботі з більшими мінами типу А/Т [13].

Вміст металу неясний, але загально визнано, що мін з металевим вмістом обмежується відносно невеликим запобіжником у той час як вузли детонатора вважаються мінами з мінімумом металевий вміст. Шахти з металевими компонентами в тіло шахти вважаються металеві міни.

Металеві міни відносяться до осколкових і шахти старого покоління з металевими корпусами. Термін неметалевий широко використовується, але в більшості не правильний програми. Єдина шахта, відома автору на сьогоднішній день не містить металу - французька міна MI DV59 а/р, також називається шахтою «Чорнильниця» [14]. Ягер та ін. [15] показало, що шахта дійсно має верхній металевий ідентифікаційний диск що слід використовувати відповідно до конвенції; диск є видаляється в більшості випадків під час нетрадиційного конфлікту ситуаціях, які роблять міну неможливою для виявлення металом детектори. Сприйнятливості, причому в меншій мірі електропровідність ґрунту може мати глибокий вплив на метал здатність детектора виявляти міни, особливо якщо міни мінімальна кількість металів знаходиться в ґрунті. Сприйнятливості і електропровідність ґрунту обмежує рівень чутливості до якого детектор можна налаштувати для роботи

[16-17]. Сучасний метал детектори розроблені сьогодні для забезпечення оптимального виявлення здатність при використанні на робочій землі до голівки виявлення висота коливається від 10 до 50 мм. Можливість виявлення швидко зменшується, коли ця висота збільшується і є малою металевих компонентів у мінімальних металевих шахтах може не бути виявлено. Borru та ін. [18] проілюстровано на іншому технічному аспект, який необхідно враховувати. Це той факт, що здатність виявлення не є постійною в усіх точках під детекторна пошукова головка зі збільшеною глибиною цілі. Поверхня область електромагнітного сигналу, що випромінюється через котушку всередині пошукова головка зменшується зі збільшенням глибини ґрунту.

На поверхні ґрунту площа поверхні становить приблизно такий самий, як у котушки, хоча його можна зменшити до половини поверхні зміювика на глибині 100 мм у ґрунті залежно від тип цілі, тип детектора, а також умови ґрунту. Це є таким чином очевидно, що зростання рослинності погіршить виявлення можливості металодетекторів, якщо детектори необхідно використовувати в територія, вкрита рослинністю.

1.2 Типи сенсорів пошуку металу Very low frequency

Технологія металошукача є великою частиною нашого життя, її використовують у різноманітних цілях – від відпочинку до роботи та безпеки. Металодетектори в аеропортах, офісних будівлях, школах, державних установах і в'язницях допомагають переконатися, що ніхто не проносить зброю в приміщення. Металошукачі, орієнтовані на споживача, надають мільйонам людей у всьому світі можливість виявити приховані скарби (разом із великою кількістю мотлоху).

Дуже низькочастотний (VLF), також відомий як індукційний баланс, є, мабуть, найпопулярнішою технологією детектора, яка використовується сьогодні. У VLF металодетекторі є дві різні котушки:

- Котушка передавача - це зовнішній контур котушки. Всередині нього знаходиться котушка дроту. Електрика передається по цьому дроту спочатку в одному напрямку, а потім в іншому, тисячі разів кожену секунду. Кількість разів зміни напрямку струму кожену секунду визначає частоту одиниці.
- Приймальна котушка – ця внутрішня котушка містить іншу котушку дроту. Цей дріт діє як антена, яка вловлює та посилює частоти, що надходять від цільових об'єктів на землі.

Струм, що проходить через котушку передавача, створює електромагнітне поле, схоже на те, що відбувається в електродвигуні. Полярність магнітного поля перпендикулярна витку дроту. Кожного разу, коли струм змінює напрямок, змінюється полярність магнітного поля. Це означає, що якщо котушка дроту розташована паралельно землі, магнітне поле постійно штовхає вниз у землю, а потім відривається від неї.

Коли магнітне поле пульсує туди-сюди в землю, воно взаємодіє з будь-якими електропровідними об'єктами, з якими стикається, змушуючи їх генерувати власні слабкі магнітні поля. Полярність магнітного поля об'єкта прямо протилежна магнітному полю котушки передавача. Якщо поле котушки передавача пульсує вниз, поле об'єкта пульсує вгору.

Котушка приймача повністю захищена від магнітного поля, створюваного котушкою передавача. Однак він не захищений від магнітних полів, що надходять від об'єктів у землі. Тому, коли приймальна котушка проходить над об'єктом, що випромінює магнітне поле, через котушку проходить невеликий електричний струм. Цей струм коливається з тією ж частотою, що й магнітне поле об'єкта. Котушка підсилює частоту і передає її на блок управління металошукача, де датчики аналізують сигнал.

Металошукач може приблизно визначити, наскільки глибоко закопаний предмет, виходячи з сили магнітного поля, яке він створює. Чим ближче до поверхні об'єкт, тим сильніше магнітне поле, яке сприймає

приймальна котушка, і тим сильніший електричний струм. Чим далі під поверхнею, тим слабше поле. За межами певної глибини поле об'єкта настільки слабе на поверхні, що його неможливо виявити котушкою приймача.

У наступному розділі ми побачимо, як металодетектор VLF розрізняє різні типи металів.

Метод VLF використовує потужні віддалені радіопередавачі, встановлені в різних частинах світу для військового зв'язку (Klein and Lajoie, 1980). У термінології радіозв'язку VLF означає дуже низьку частоту, приблизно від 15 до 25 кГц. Порівняно з частотами, які зазвичай використовуються в геофізичних дослідженнях, це насправді дуже високі частоти. Випромінюване поле від віддаленого ННЧ-передавача, що поширюється над рівномірною або горизонтально шаруватою землею та вимірюється на земній поверхні, складається з вертикальної складової електричного поля та горизонтальної складової магнітного поля, кожна з яких перпендикулярна до напрямку розповсюдження.

Заглибини в дуже резистивній корінній породі під погано провідною розкривною породою (від 100 до 300 Ом·м на цьому місці), ймовірно, спричиняють реакції VLF в результаті потоку гальванічного струму. Тобто великий струмовий шар, що протікає в розкривній породі, в результаті первинного електричного поля, направляється вздовж цих западин корінної породи і виглядає як лінія аномального струму. Вісь провідника зосереджена біля станцій 70-75. Водяна свердловина була пробурена на станції 70 і виявила корінні породи під приблизно 20 м розкривних порід і текла зі швидкістю 1,0 м³/год.

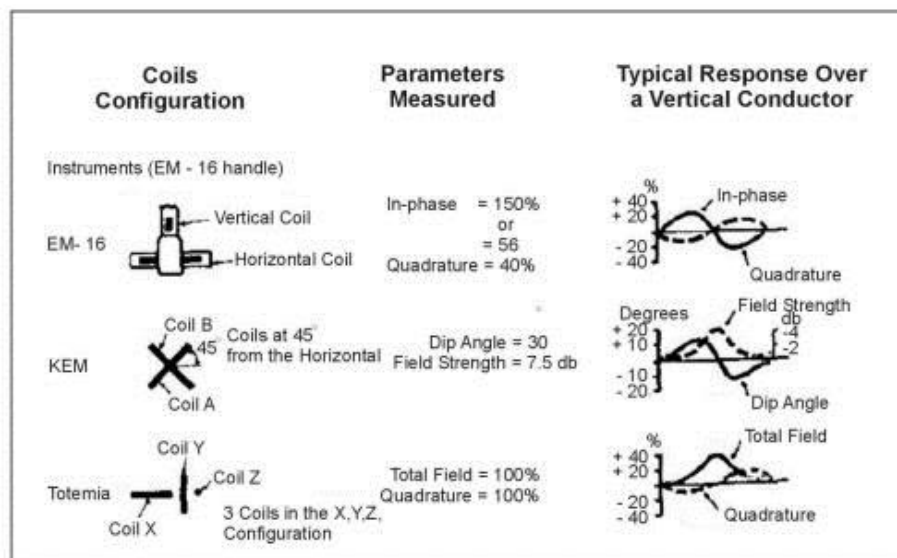


Рисунок 1.2 - Порівняння інструментів VLF

Ці радіопередавачі дуже потужні та індукують електричні струми в провідних тілах за тисячі кілометрів. За нормальних умов створювані поля відносно однорідні в дальній зоні на великій відстані (сотні кілометрів) від передавачів. Індуковані струми створюють вторинні магнітні поля, які можна виявити на поверхні через відхилення нормального випромінюваного поля.

Метод VLF використовує відносно прості інструменти і може бути корисним інструментом розвідки. Потенційні цілі включають пластинчасті провідники в резистивних вміщуючих породах, таких як розломи у вапняку або магматичній місцевості. Глибина дослідження обмежена приблизно від 60% до 70% глибини скін-шкіри навколишньої породи або ґрунту. Таким чином, висока частота ННЧ передавачів означає, що в більш провідних середовищах глибина дослідження є досить малою; наприклад, глибина дослідження може бути від 10 до 12 м у матеріалі 25 Ом. Крім того, наявність електропровідного шару суттєво пригнічує реакцію фундаментальних провідників, а відносно невеликі варіації електропровідності або товщини шару самі по собі можуть спричинити значні VLF аномалії. З цієї причини VLF є більш ефективним у областях, де вміщуюча порода є резистивною, а розкривна порода тонка.

Це ґрунтується на явищі, відомому як фазовий зсув. Фазовий зсув — це різниця в часі між частотою котушки передавача та частотою цільового об'єкта. Ця невідповідність може бути наслідком кількох речей:

- Індуктивність - об'єкт, який легко проводить електрику (є індуктивним), повільно реагує на зміни струму. Ви можете розглядати індуктивність як глибоку річку: змініть кількість води, що впадає в річку, і пройде деякий час, перш ніж ви побачите різницю.
- Опір – об'єкт, який погано проводить електрику (є резистивним), швидко реагує на зміни струму. Використовуючи нашу аналогію з водою, опором буде невеликий мілкий струмок: змініть кількість води, що надходить у потік, і ви помітите падіння рівня води дуже швидко.

По суті, це означає, що об'єкт з високою індуктивністю матиме більший зсув фази, оскільки для зміни його магнітного поля потрібно більше часу. Об'єкт з високим опором матиме менший фазовий зсув.

Фазовий зсув надає металодетекторам на основі ННЧ здатність, яка називається дискримінацією. Оскільки більшість металів різняться як за індуктивністю, так і за опором, VLF металошукач перевіряє величину фазового зсуву за допомогою пари електронних схем, які називаються фазовими демодуляторами, і порівнює її із середнім для певного типу металу. Потім детектор сповіщає вас звуковим сигналом або візуальним індикатором про те, в якому діапазоні металів, ймовірно, знаходиться об'єкт.

Багато металодетекторів навіть дозволяють відфільтровувати (розрізнити) об'єкти вище певного рівня фазового зсуву. Зазвичай ви можете встановити рівень фазового зсуву, який фільтрується, зазвичай регулюючи ручку, яка збільшує або зменшує поріг. Ще одна дискримінаційна функція VLF-детекторів називається різанням. По суті, виїмка є дискримінаційним фільтром для певного сегмента фазового зсуву. Детектор попереджатиме вас

не лише про об'єкти над цим сегментом, як це було б при звичайному розрізненні, а й про об'єкти під ним.

Удосконалені детектори навіть дозволяють програмувати кілька виїмок. Наприклад, ви можете налаштувати детектор на ігнорування об'єктів, фазовий зсув яких можна порівняти з язичком банки з газованою водою або маленьким цвяхом. Недоліком дискримінації та вирізання є те, що багато цінних елементів можуть бути відфільтровані, оскільки їх фазовий зсув подібний до «сміття». Але якщо ви знаєте, що шукаєте певний тип об'єкта, ці функції можуть бути надзвичайно корисними.

1.3 Конструкції металодетекторів

Міни — це вибухові пристрої, які використовуються під час війни та конфлікту для знищення або виведення з ладу ворожих цілей. Наземні міни, як правило, приховані під землею і зазвичай спрацьовують за допомогою тиску, таким чином детонуючи щоразу, коли ціль переступає або проїжджає через неї.

Протипіхотні міни є суперечливим пристосуванням, і їх використання часто обговорюється через їхній потенціал як невибіркової зброю. Протипіхотні міни можуть залишатися бездіяльними та становити загрозу для мирного населення навіть через роки після закінчення війни.

Розмінування означає процес видалення протипіхотних мін із території. Розмінування може бути як військовою операцією, яка виконується під час активної операції, так і гуманітарною діяльністю, спрямованою на очищення території від мін для цивільного використання. Робот-транспортний засіб для виявлення наземних мін використовує металеву котушку для виявлення мін, прихованих під поверхнею землі. Конструкція дозволяє йому пересуватися по найсуворішій і дикій місцевості. Таким чином, виготовлення здатне автономно сканувати певну територію на наявність прихованих мін. Цей

робот працює на базі GSM і дозволяє користувачеві зареєструватися, просто зробивши пропущений дзвінок.

Було помічено, що швидке зростання технологічних знань у всьому світі супроводжувалося швидким зростанням рівня злочинності. Ці злочинні дії приймають форму злому приватних і службових будинків і вилучення величезної суми грошей, цінних і в більшості випадків господарів життя. Передумови цієї проектної роботи вступають у гру для усунення або мінімізації вищевказаного злочинного діяння за допомогою МЕТАЛОШУКАЧА, який буде під рукою або підключений до стратегічної позиції в наших будинках і офісах.

Виявлення та розмінування все ще дуже часто проводяться в гуманітарному розмінуванні з використанням ручних методів або комп'ютера як основної процедури. При роботі таким чином фаза виявлення все ще значною мірою покладається на металошукачі, у зв'язку з чим кожному тривогу потрібно ретельно перевіряти, поки вона не буде повністю зрозуміла або не буде усунено її джерело. Зазвичай це робиться візуально та підштовхуванням або копанням землі. Ймовірно, металошукачі ще деякий час будуть використовуватися.

Вдаючись до витончених засобів, якими сьогодні користуються озброєні грабіжники, зламуючи банки, супермаркети та зони з високим рівнем безпеки, або вбивці в конференц-залі, аеропорту, лікарні, наприклад. є всі вказівки на те, що вони готові до найгіршого, і кращий спосіб зменшити жорстокість цієї загрози — отримати високу попередженість щодо безпеки. Жодна система безпеки не буде оптимізованою або повною без встановлення металошукача. Це дозволить припинити або мінімально зменшити випадки систематичного вторгнення людей злочинного світу в банки, готелі, конференц-зали, будинки, лікарні тощо.

Неможливо переоцінити необхідність залучення металодетекторів до підрозділів безпеки на національному, субнаціональному та національному рівнях.

Сила аеродинамічного опору – це результат дії повітря на геометрію транспортного засобу і може бути виражена за формулою:

$$P_p = \rho c A v^2 \dots\dots\dots(1)$$

де:

ρ – густина повітря [кг/м³],

c – коефіцієнт аеродинамічного опору,

A – контрольна площа [м²].

Сила інерції – виникає для неінерціального відліку системи і застосовується в центрі ваги транспортного засобу, а його формула:

$$P_p = (G + P_c) \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

Дослідник був мотивований розробити проект, який демонструватиме беззаперечне широке використання транзисторів у галузі електроніки для створення такого роду звуку, який повинен попереджати людей про особливу увагу та, в двох словах, служити сигналом небезпеки.

Сконструювати металодетектор, здатний виявляти наявність металевих пристроїв.

Щоб прогулятися світом металодетекторів, також додайте функціональність металевих предметів.

Прохідний металодетектор буде здатний виробляти тривогу при отриманні металевих предметів.

Важливим у цьому проекті є створення функціональної електронної детекторної системи безпеки, яка стане корисною технологією для людей. Цей проект також наблизить технологію до дому, особливо для студента та мене як дизайнера, і внесок у розвиток технологій, таким чином допомагаючи їм збирати, проектувати та будувати проекти на основі простих компонентів і матеріалів місцевих або іноземних.

Знову ж таки, цей проект заохочуватиме місцеві технології та перешкоджатиме великим витратам на іноземні системи безпеки. Все це було враховано під час складання, проектування конструкції та корпусу цього проекту.

Ця система розроблена з використанням кількох електричних та електронних принципів. Принцип електромагнетизму є основним застосовуваним принципом. Коли котушку, яка служить датчиком, поміщають на метал і систему вмикають, електричний струм, що проходить через котушку, робить її магнітною, а якщо помістити на метал, метал генерує дуже малу напругу (у мікрвольтах) у форма вихрових струмів. Цей генерований вихровий струм сприймається датчиками і, таким чином, викликає порушення основного потоку струму. Різниця використовується електронікою та підключається до підсилювача, звідки подається на аудіовихід, який служить перетворювачем для системи.

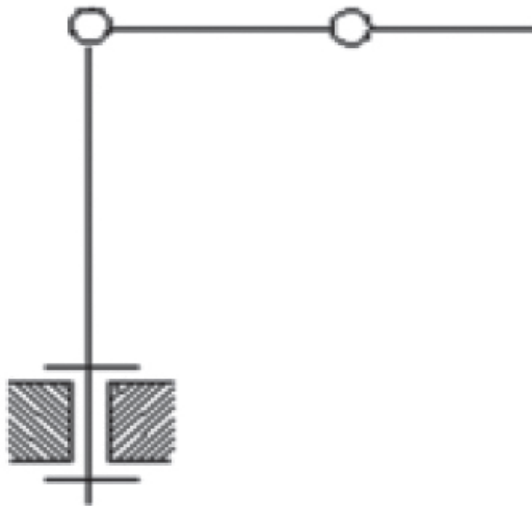


Рисунок 1.3 - Обертний антропоморф маніпулятор

Він також має недоліки, такі як висока вартість маніпулятор з високою повторюваністю, але для землі пошукових операцій, це непотрібно і породить додаткові витрати.

Металопшукач, розроблений у рамках цього проекту, використовуватиме технологію під назвою Beat Frequency Oscillator (B.F.O).

Ця технологія використовує два осцилятори в резонансі, і зміна частоти коливань одного з осциляторів через присутність металевого предмета буде вловлена крихітним приймачем у блоку керування, який створює чутну серію тонів (ударів) на основі різниці між частотами.

Оскільки коливання у вузлах до і після котушки індуктивності зміщені по фазі на 180° один з одним, один із вузлів подаватиме коливання на базу транзистора, посилюватиме та інвертуватиме сигнал на колекторі, а потім повертатиме його за фазою до іншій вузол контуру бака. Весь цей контур називається осцилятором Колпітса.

Рушійна сила – виникає в результаті роботи системи приводу. Для нестационарного руху ця формула має рівняння:

$$P = \frac{M_k}{\pi_k} \pi_g - \frac{M_j}{\pi_k} \quad (3)$$

де:

M_k – крутний момент від ведучого колеса [Нм],

r_k – радіус ведучого колеса [м],

M_j – тангенціальний момент інерції всіх обертових частини колії щодо вісь ведучого колеса [Нм].

Математичний модель була сформульована для кожного члена окремо і крутний момент, необхідний для переміщення цього елемента і серво було розраховано на основі цієї моделі.

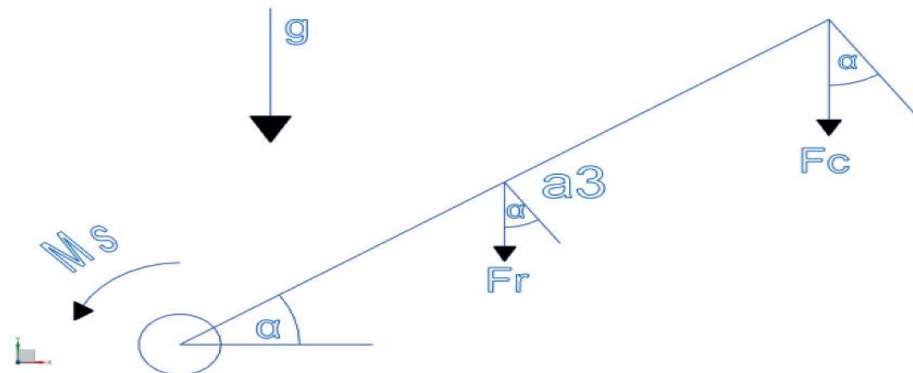


Рисунок 1.4 - Сили, що діють на третє плече

Детектор створює магнітне поле за допомогою електричного кола. Датчик починає виконувати своє завдання, коли воно знаходиться в зоні

електромагнітного випромінювання хвилі починають взаємодіяти з провідним матеріалом, напр. в землю. Тоді виникає електрорушійна сила в об'єкт (закон Фарадея). Так звані вихрові струми, які є причиною індуктивного магнітного поля (узагальнений закон Ампера).

Нове магнітне поле починає діяти на котушку. Поточний потік і реєструється детектором вимірювальна система.

Властивості другого поля залежать від багатьох параметри. До них відноситься геометрія об'єкта себе (відстань від детектора, орієнтація на це), властивості матеріалу (форма, розмір, електропровідність, магнітна проникність). Розмір і форма самої котушки також дуже важливі.

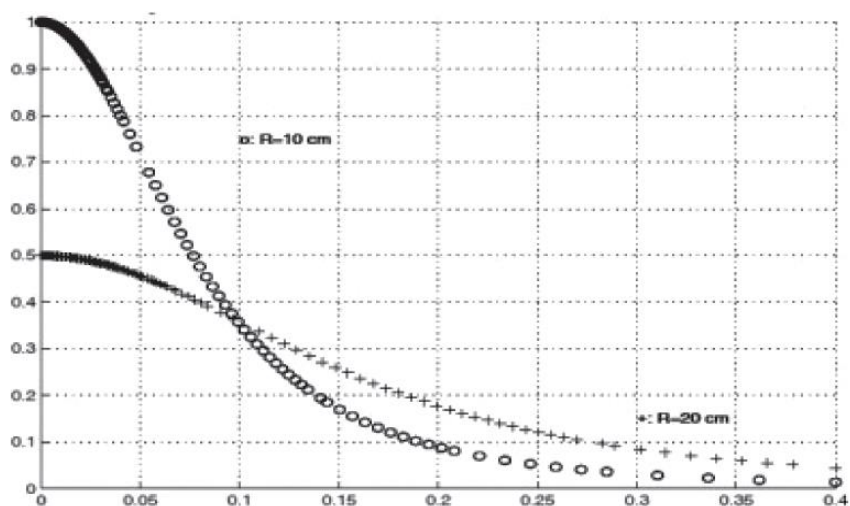


Рисунок 1.5. Залежність магнітного поля для двох різних розмірів котушок

Нормований графік вище показує залежність магнітного поля на відстані d [м] з них для двох різних розмірів котушок (10 см і 20 см). Нормалізація була проведена для менший виток на відстані $d = 0$ [19].

Існує кілька видів металодетекторів ринку. Після аналізу типів металодетекторів, був розглянутий тип PI (Pulse Induction).

Ці датчики працюють, регулярно генеруючи електрику імпульси, що надсилаються на зонд. Коли електрика зникає імпульс, зникає магнітне поле

на зонді. Час, потрібний для зникнення поля залежить від наявності металу. Якщо там тобто поле згасає набагато повільніше, що можна виявити.

Його переваги:

- відсутність чутливості до мінералізації ґрунту,
- проста конструкція (потрібен лише один зонд).

Самостійно зробити металошукач складно. Велика кількість змінних, що впливають на роботу.

Осцилятор Колпітса, наведений вище, забезпечує постійне коливання з частотою в діапазоні 100 кГц. Метали з побутових предметів, що змінюють проникність сердечника індуктора, коливатимуть цю частоту близько 10 кГц. Оскільки цей діапазон частот знаходиться за межами звукового спектру людини (від 20 Гц до 20 кГц), нам потрібно буде перетворити коливання на звуковий сигнал.

Традиційні металошукачі ВФО (осцилятор частоти биття) долають цю проблему шляхом включення іншого контуру резервуара з фіксованою частотою, що дорівнює частоті контуру резервуара детектора без впливу будь-яких металів. Тоді врахування різниці між двома частотами дозволить ізолювати коливальні частоти схеми детектора та знизити їх до чутного діапазону.

У металодетекторі, який працює за технологією VLF, всередині інструменту пошуку є

який є так званим пошуковим файлом або котушкою всередині пластикової кришки, дві електричні котушки з міді:

Котушка передавача

Це котушка мідного дроту, намотаного на кілька витків один на одного, через який проходить електричний струм

джерело живлення – зазвичай звичайні батареї або літій-іонні батареї – спочатку передається в певному напрямку, а потім у в іншому або протилежному напрямку, тисячі разів щосекунди.

Кількість змін напрямку поточного електричного струму щосекунди відображає частоту пошуку, яка зазвичай вимірюється в одиниці кГц, яка є числом, яке виражає пристрій, де в деяких пристроях є лише одна частота пошуку, наприклад, 61 кГц, як пристрій Gold Kruger, або є кілька частот доступні (наприклад, 5-10-20 кГц), як у Impact Pro.

У деяких сучасних пристроях, наприклад, в пристрої Equinox від Minlab, можна одночасно використовувати кілька частот пошуку. Вона називається паралельною багаточастотною технологією Multi-IQ

Приймальна котушка

Це котушка, схожа за структурою передавальної котушки (згорнутий дріт з кількох обмоток), але тут працює цей змотаний дріт як антену для захоплення та посилення прихідних або відбитих сигналів від цільових об'єктів у землі, і саме тут магнітне поле, яке виникає внаслідок проходження струму в котушці, спрямовується до металевого тіла під землею, як монета, утворюється рефлекторне магнітне поле, сигнал якого приймає приймальна котушка.

Як металошукач VLF розрізняє різні мінерали? Це залежить від явища, відомого як фазовий зсув.

Фазовий зсув — це різниця в часі між частотою переданого магнітного поля та частотою магнітного поля, відбитого від металевої мішені. Тобто мішень з високою індукцією матиме більший зсув фази, оскільки для зміни її магнітного поля потрібно більше часу.

Металевий об'єкт із високим електричним опором матиме менший фазовий зсув, і, отже, можна розрізнити їх металів і знання типу металу відповідно до цього зсуву, оскільки отримані електричні сигнали перетворюються на цифровий сигнал відображається на екрані пристрою в цифровій формі, яка називається цифровим ідентифікатором цілі (Target ID), що вказує на природу металу якщо це чорні магнітні метали або кольорові, такі як золото, срібло, мідь, а також пристрій видає звуковий сигнал у вигляді

звукового сигналу. У деяких пристроях можна встановити діапазон тонів відповідно до ідентифікатора цілі.

1.4 Проблеми металодетекторів для пошуку мін

Наземні міни забруднюють близько 60 країн у районах, які включають джунглі, пустелі та міські райони. Немає способу дізнатися, де знаходяться наземні міни: вони можуть бути закопані або встановлені на поверхні, встановлені вручну або розкидані з транспортних засобів чи вертольотів у регулярних або нерегулярних схемах. Крім того, ерозія ґрунту, спричинена дощем, може перемістити наземні міни або закрити їх. Уламки зруйнованих будівель у міському середовищі також можуть приховувати пристрої. Отже, пошук протипіхотних мін нелегке завдання. Обладнання для виявлення має працювати в широкому діапазоні середовищ, умов і ролей.

Традиційно гуманітарні міношукачі використовували металошукачі, які працюють на частотах нижче 100 кГц. Це дозволяє відносно просту та недорогу технологію використовувати як основу для конструкції детекторів. Однак розробники мін поступово зменшили кількість металу в мінах, щоб ускладнити їх виявлення. Оскільки вміст металу в наземних мінах зменшився, мінералізовані ґрунти (які містять магнітні сполуки) змушують детектор генерувати помилкові сигнали тривоги, тому багато зусиль було витрачено на розробки, які подолають ефект мінералізації ґрунту або «некооперативних» ґрунтів.

Металеві уламки та осколки на полі бою також можуть викликати забагато помилкових тривог. Наприклад, між 1992 і 1998 роками під час гуманітарного розмінування в Камбоджі було викопано понад 200 мільйонів предметів, менше 0,3% з яких становили протипіхотні міни та інші вибухові пристрої. Гуманітарним розмінувальникам потрібен портативний міношукач, який може відхиляти сигнали тривоги від невеликих шматочків металу, зберігаючи при цьому здатність виявляти міни з мінімальним вмістом металу.

Щоб подолати ці проблеми, військові організації, університети, промислові дослідницькі та технологічні організації та приватні компанії працювали над розробкою нових детекторів на основі комбінованих детекторів металу та радарів – так званих систем із подвійним датчиком.

Використання діапазону різних частот металодетектора дозволяє розрізняти різні типи металу. Наприклад, він може чітко відрізнити метал у запалі міни від монети [див. Розрізнення металів]. Подібним чином сигнатура георадара (GPR) може показати, чим реакція шахти на сигнал радара відрізняється від реакції землі та інших неметалевих предметів, таких як каміння та коріння.

Ключ до кращого розпізнавання цілей полягає в розумінні та аналізі електромагнітних сигнатур наземних мін у широкому діапазоні частот, починаючи з тих, що використовуються як для радарів, як правило, від кількох 100 МГц до кількох ГГц, так і для виявлення металу, від кількох кГц до десятків кГц. . Відповідною аналогією є вібрація винного келиха під час тертя краю. Скло має спектральні характеристики, унікальні для його розміру та конструкції, і резонує на певних частотах. Хоча це акустична/вібраційна взаємодія, той самий процес можна застосувати електромагнітно.

Відносно невеликий обсяг операцій з гуманітарного розмінування в усьому світі з огляду на річний ринок продажів детекторів є важливим аспектом, який дизайнери та розробники повинні враховувати. Хоча технології подвійного датчика були розроблені для військового використання, вони занадто дорогі для гуманітарних організацій з розмінування.

Гуманітарний ринок металодетекторів оцінюється приблизно в 10 мільйонів доларів із середньою ціною продажу 2500 доларів за одиницю, і обслуговується приблизно п'ятьма основними постачальниками. Громадські організації у сфері розмінування мають обмежені бюджети на закупівлю нової техніки, що встановлює планку продажної ціни на нові детектори.

Ринок також занадто малий, щоб підтримувати високі витрати на розробку передових технологій. Інженерне завдання полягає в тому, щоб розробити доступні міношукачі, які гуманітарні організації могли б безпечно та надійно використовувати в польових умовах. Один із способів, за допомогою якого розробники нових міношукачів можуть досягти цього, — використовувати недорогі електронні компоненти, розроблені для споживчих товарів.

Розмінування вимагає від саперів фізичної та розумової концентрації. Полегшення цього завдання є головним завданням для розробників обладнання наступного покоління. В ідеалі сповіщувачі мають важити менше кілограма та автоматично адаптуватися до навколишнього середовища та користувача. Вони повинні мати можливість не тільки виявляти, але й класифікувати типи мін і відокремлювати їх від таких предметів, як гільзи, металеві осколки, коріння дерев, каміння, нори тварин тощо. Обладнання також має відповідати майже військовим стандартам щодо захисту від ударів, вібрації, температури та захисту навколишнього середовища за ціною, подібною до металошукачів, які сьогодні використовують гуманітарне розмінування.

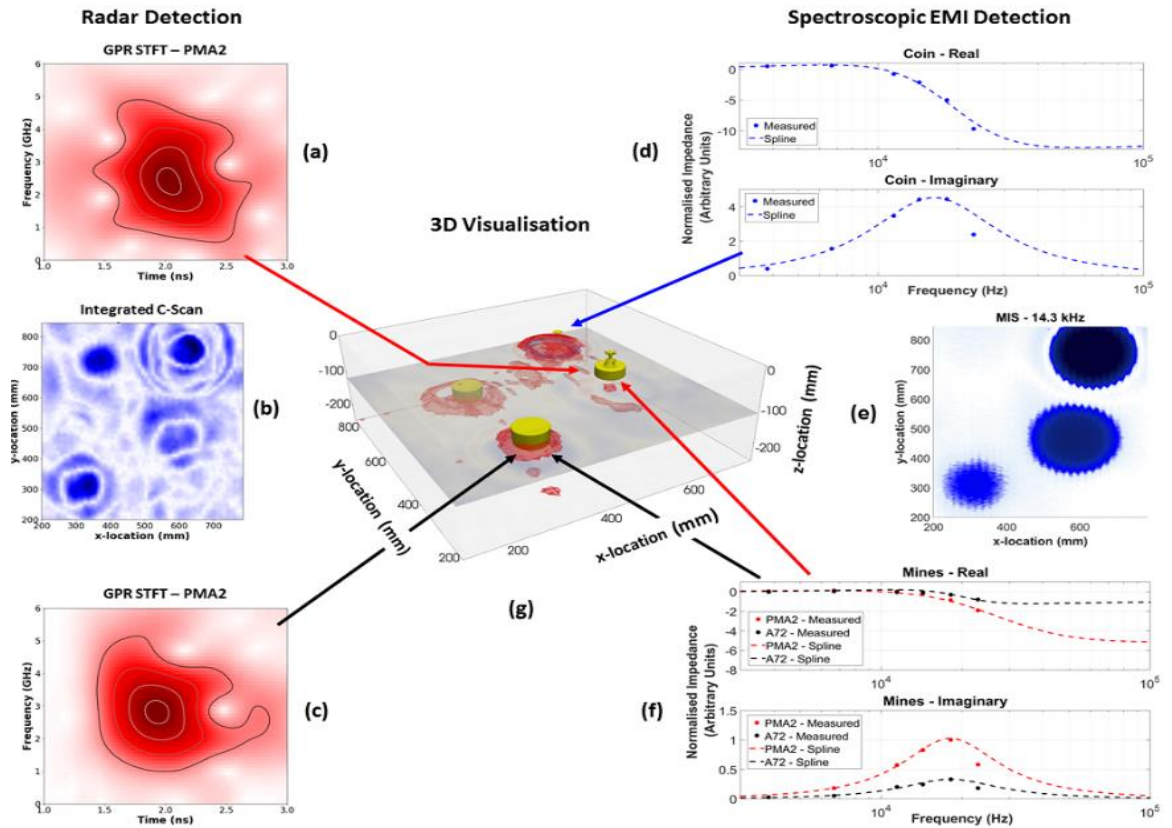


Рисунок 1.6 - Зведене зображення, що містить захоплені металодетектором і георадаром

Зображення ліворуч (від а до с) показують дані радара, а графіки праворуч (d до f) дані багаточастотного металодетектора. Зображення посередині (g) показує положення чотирьох цільових об'єктів із накладеною інформацією даних георадара. Реакція георадара представлена червоними виділеннями на малюнку, і можна побачити, що ці виділення відповідають відомим розташуванням об'єктів.

Графік, показаний у (b), є інтегрованим зображенням повних даних глибини георадара. На цьому зображенні радіолокаційні дані з різних глибин, де були поховані цілі, були об'єднані для створення єдиного виду зверху вниз, який містить відповіді від кожної цілі. На цьому малюнку показано всі чотири закопані цілі, але виявлення міни дуже незначне (ціль є сурогатом міни PMA2, яка є югославською протипіхотною міною). Зображення в (a) і (c) показують результат короткочасного перетворення Фур'є (STFT)

радіолокаційних даних для кожного положення над ціллю. Ці графіки показують спектральний вміст сигналу як функцію часу, із контурними лініями, що показують рівні амплітуди 25%, 50%, 75% і 95%. Ці цифри демонструють багатство даних, зібраних прототипом датчика подвійної модальності, і можливості для майбутніх розробок щодо алгоритмів розрізнення та класифікації.

Діаграми металодетектора праворуч показують, що кожен об'єкт має різні спектроскопічні відгуки. Відповіді металошукача мають дві складові: одна є синфазною із прикладеним сигналом (відома як реальна складова), а інша є квадратурною (або 90 градусів, відома як уявна складова). Обидва компоненти необхідні для характеристики металевої мішені. Наприклад, некооперативні ґрунти мають дуже сильну дійсну складову та відносно плоску уявну складову, тоді як мінімальні металеві шахти мають крок у своїй дійсній складовій та пік у своїй уявній складовій приблизно на 10 кГц. Ці різні функції можна використовувати для запобігання впливу землі. Крім того, різні металеві предмети можна розрізнити за формою відповідей. Більш провідні об'єкти мають пік уявного відгуку на нижчих частотах.

Наведені вище дані не представляють інформацію у форматі, який буде представлений кінцевому користувачеві. Однак це дуже корисно для розуміння властивих характеристик міни. Крім того, малюнок підкреслює багатство вимірної інформації, оскільки це репрезентативні дані, які можуть бути доступні для розробки мультимодальних алгоритмів виявлення, розрізнення або класифікації.

Висновки до розділу 1

У першому розділі було проаналізовано аналітичний огляд фізичних процесів, пов'язаних з пошуком металодетекторів, типів датчиків металошукача з дуже низькою частотою (VLF), конструкції металошукача та проблем, пов'язаних із використанням металошукача для пошуку мін.

Пошук металодетектором покладається на здатність детектора виявляти металеві об'єкти шляхом генерації магнітного поля та вимірювання реакції об'єкта на магнітне поле. Сигнал, створюваний об'єктом, посилюється та обробляється, а місцезнаходження об'єкта визначається на основі сили та частоти сигналу.

VLF металошукачі є найбільш часто використовуваним типом металодетекторів для виявлення наземних мін. Ці детектори працюють на частотах в діапазоні від 3 кГц до 30 кГц і здатні виявляти невеликі металеві предмети на глибині до 30 см.

Конструкції металодетекторів відрізняються залежно від конкретного застосування, але зазвичай складаються з пошукової котушки, блоку керування та джерела живлення. Пошукова котушка створює магнітне поле і виявляє реакцію об'єкта, а блок управління підсилює і обробляє сигнал.

Однак використання металошукачів для пошуку мін не без проблем. Помилково-позитивні та хибно-негативні результати можуть виникнути через наявність металевих уламків або умов ґрунту, а наявність неметалевих мін або мін із низьким вмістом металу може ускладнити виявлення. Крім того, використання металодетекторів може бути тривалим і трудомістким, а використання ненавченого персоналу може призвести до неточностей і проблем з безпекою.

Загалом, аналітичний огляд, поданий у цьому розділі, підкреслює важливість розуміння фізичних процесів, пов'язаних із пошуком металошукачем, а також проблеми, пов'язані з використанням металодетектора для пошуку мін. Враховуючи ці фактори, можна розробити більш ефективні та надійні системи виявлення наземних мін, які мінімізують ризик хибно-позитивних і хибно-негативних результатів, а також максимізують безпеку та ефективність операцій з розмінування.

2 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ, ЩО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ

2.1 Принцип роботи ультразвукового датчика

Ультразвуковий датчик – це електронний пристрій, який вимірює відстань між об'єктом прицілювання та датчиком шляхом випромінювання ультразвукових хвиль. Потім відбитий звук перетворюється на електричний сигнал. Цей електричний сигнал передається в raspberry-pi, а потім у систему моніторингу для подальшої обробки за допомогою обробки зображень. Ультразвукові хвилі поширюються швидше, ніж швидкість відчутного звуку. Ультразвукові датчики мають два основних компоненти: передавач, який випромінює звук за допомогою п'єзоелектричних кристалів, і приймач, який приймає відбитий сигнал. Залежно від часу, необхідного для передачі та прийому, його можна використовувати для уникнення зіткнення, а також для уникнення перешкод і виявлення. Ультразвуковий датчик працює при напрузі 5 В з теоретичною відстанню вимірювання приблизно від 2 см до 80 см. він працює на частоті 4 Гц.



Рисунок 2.1 - Ультразвуковий датчик Makeblock Me Ultrasonic Sensor V3

Ультразвукові датчики засновані на вимірюваному часі поширення ультразвукового сигналу. Вони випромінюють високочастотні звукові хвилі, які відбиваються на предметі. Об'єкти, що виявляються, можуть бути твердими, рідкими, гранульованими або порошкоподібними. Ультразвукові

датчики надійно виявляють прозорі та інші вимогливі об'єкти, де оптичні технології не справляються.

Конститутивне співвідношення типового п'єзоелектрика елемент, який використовується в ультразвуковому перетворювачі, задається [20]

$$\left(\frac{q}{x}\right) = \left(\frac{C}{P} \frac{p}{1/k}\right) \left(\frac{v}{f}\right) \quad (4)$$

де константи та змінні визначені наступним чином.

q: електричний заряд [C]

x: переміщення [м]

v: прикладена напруга [В]

f: прикладена сила [Н]

C: ємність при 0 [F]

k: жорсткість або постійна пружини при 0 [Н/м]

p: п'єзоелектричний

Ультразвуковий передавач створює хвилю поширюється до ультразвукового приймача через повітряне середовище.

Якщо припустити, що хвиля є плоскою, виник тиск може бути виражено як

$$P_s(x, t) = -\rho c^2 \frac{du(x, t)}{dx} = \rho c u(x, t) \quad (5)$$

Де змінні та константи визначені як

P: звуковий тиск [Н/м або Па]

u: переміщення частинок [м]

c: швидкість частинок [м/с]

ρ : об'ємна масова щільність [кг/м³]

c: швидкість звуку [м/с]

На рис. 2.2 показана принципова схема п'єзоелектрика перетворювач із прикріпленою масою, яка використовується як ультразвуковий передавач звуку. Підрядковий «t» додається до параметра вказують на те, що відповідні параметри є визначено для передавача ультразвукового звуку.

Сила f_t , що розвивається напругою $t v$, прикладеною при п'єзоелектричного перетворювача отримано з рівняння.

$$f_t = k_t x_t - k_t p_t v_t \quad (6)$$

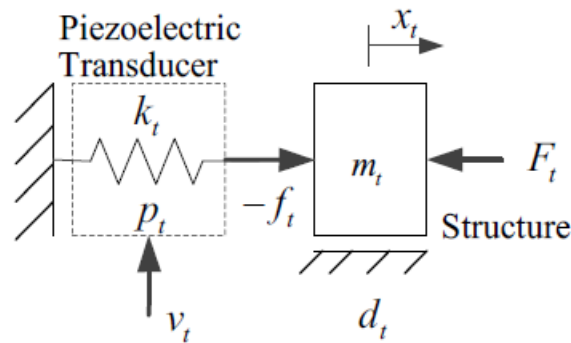


Рисунок 2.2 - Модель ультразвукового передавача

Переходячи від теорії до реальності, ультразвуковий датчик вимагає двох частин: передавача та приймача. У найстандартнішій конфігурації вони розміщені пліч-о-пліч якомога ближче один до одного. Коли приймач знаходиться близько до передавача, звук поширюється по прямій лінії від передавача до виявленого об'єкта і назад до приймача, що призводить до менших похибок у вимірюваннях. Існують також ультразвукові трансивери, у яких функції передавача та приймача об'єднані в єдиний пристрій, мінімізуючи помилки, наскільки це можливо фізично, а також значно зменшуючи площу друкованої плати.

Акустичні хвилі, що виходять із передавача, більше схожі за формою на світло, що виходить від ліхтарика, ніж від лазера, тому слід враховувати поширення та кут променя. У міру того, як звукові хвилі поширюються далі від передавача, площа виявлення зростає збоку та по вертикалі. Ця мінлива зона є причиною того, чому ультразвукові датчики вказують специфікацію охоплення або шириною променя, або кутом променя замість стандартної області виявлення. Порівнюючи цей кут променя між виробниками, рекомендується переконатися, що кут променя є або повним кутом променя, або кутом відхилення від прямої лінії від датчика.

Додатковим ефектом кута променя є дальність дії пристрою. Загалом, вузький промінь забезпечує більшу дальність виявлення, оскільки енергія ультразвукового імпульсу є більш сфокусованою та може поширюватися далі, перш ніж розсіюватися до непридатних рівнів. І навпаки, ширший промінь поширює цю енергію по ширшій дузі, зменшуючи очікуваний діапазон виявлення. Вибір ідеальної ширини променя значною мірою залежить від програми: широкі промені краще охоплюють більші площі та загальне виявлення, тоді як більш вузькі промені дозволяють уникнути помилкових спрацьовувань, обмежуючи зону виявлення.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ультразвукового датчика

Робоча напруга	5V DC
Робочий струм	15 mA
Робоча частота	40 KHz
Максимальна дальність	4 м
Мінімальний діапазон	2 см
Точність визначення дальності	3 мм
Вимірювання кута	15 градусів
Тригерний вхідний сигнал	10μS TTL pulse
Розмір	45 x 20 x 15 мм

Все починається, коли тригерний штифт встановлений у HIGH на 10 мкс. У відповідь датчик передає ультразвуковий пакет з восьми імпульсів на частоті 40 кГц. Ця 8-імпульсна схема спеціально розроблена, щоб приймач міг відрізнити передані імпульси від навколишнього ультразвукового шуму.

Ці вісім ультразвукових імпульсів поширюються по повітрю від передавача. Тим часом ехо-штифт стає ВИСОКИМ, щоб ініціювати зворотній ехо-сигнал.

Якщо ці імпульси не відображаються назад, ехо-сигнал закінчується та стає низьким через 38 мс (38 мілісекунд). Таким чином, імпульс тривалістю 38 мс свідчить про відсутність перешкод у радіусі дії датчика.

Ширина отриманого імпульсу використовується для обчислення відстані до відбитого об'єкта. Це можна розрахувати за допомогою простого

рівняння відстані-швидкості-часу, яке ми вивчали в середній школі. Найпростіший спосіб запам'ятати рівняння – помістити літери в трикутник.

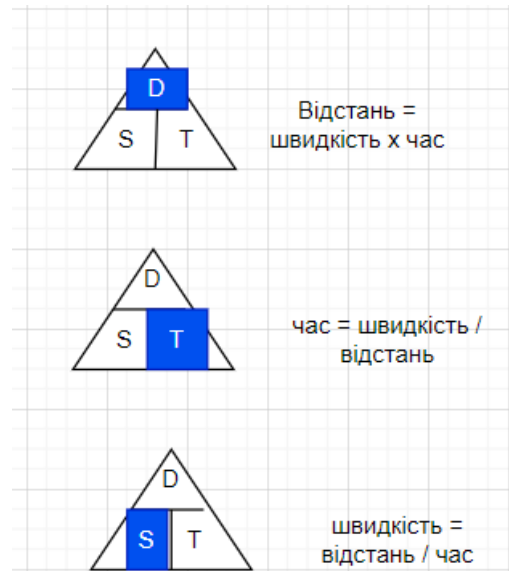


Рисунок 2.3 - Розрахунок відстані

Наведемо приклад, щоб було зрозуміліше. Припустимо, у нас є об'єкт перед датчиком на невідомій відстані, і ми отримуємо імпульс шириною 500 мкс на ехо-контакті. Тепер обчислимо, на якій відстані знаходиться об'єкт від датчика. Для цього ми використовуємо наведене нижче рівняння.

$$Distance = Speed \times Time \quad (7)$$

Тут ми маємо значення часу, тобто 500 мкс, і ми знаємо швидкість. Звичайно, це швидкість звуку Це 340 м/с. Щоб обчислити відстань, потрібно перетворити швидкість звуку в см/мкс. Це 0,034 см/мкс. З цією інформацією ми тепер можемо розрахувати відстань.

$$Distance = (0.034cm / \mu s \times 500\mu s) / 2 \quad (8)$$

Отже, щоб отримати відстань, вам потрібно розділити отриманий результат на два.

Якщо ці імпульси відбиваються назад, ехо-штифт стає низьким, як тільки сигнал отримується. Це генерує імпульс на луні, ширина якого змінюється від 150 мкс до 25 мс залежно від часу, необхідного для отримання сигналу.

Під час пошуку окремих компонентів ультразвукові датчики можна придбати як незалежні передавач і приймач або як комбінацію двох в одному пристрої, відомому як ультразвуковий приймач. Більшість опцій аналогового ультразвукового датчика активуються шляхом надсилання тригерного сигналу до передавача, а приймач надсилає сигнал у відповідь, коли виявлено відлуння. Довжина імпульсу та будь-яке кодування можуть бути налаштовані розробником за потреби. Цей процес остаточно залишає обчислення часу між тригером і відлунням, а також декодування, на головний контролер. Існують модулі цифрових ультразвукових датчиків, які обчислюють відстань на борту, а потім передають відстань до хоста через комунікаційну шину. Незважаючи на те, що ультразвукові передавачі, приймачі або трансивери часто купуються окремо та збираються зі спеціальною схемою та вбудованим програмним забезпеченням, вони також іноді доступні як окремий блок, попередньо змонтований на друкованій платі в стандартній конфігурації визначення діапазону та на простій логічній платі. Незважаючи на те, що ці модулі прості у використанні, дизайнери відмовляються від значної гнучкості та налаштувань.

2.2 Принцип роботи металошукача

Електронний прилад, який виявляє метал, прихований у об'єктах, або металеві об'єкти, закопані під землею. Зазвичай вони складаються з портативного пристрою з датчиком, який можна проводити над землею або іншими об'єктами. Як тільки метал виявлено, індикація відображається у вигляді безперервного звукового сигналу або у вигляді руху голки на індикаторі. Крім того, цей пристрій дає деяку інформацію про відстань до металу у вигляді більш високого звукового сигналу, коли він знаходиться поблизу металевих предметів. Схема металодетектора складається з генератора, що створює змінний струм, який проходить через котушку, що створює змінне магнітне поле. Якщо шматок металу знаходиться близько до котушки, в металі будуть індуковані вихрові струми, що створює власне

магнітне поле. Якщо для вимірювання магнітного поля використовується будь-яка інша котушка, можна виявити зміну магнітного поля через металевий об'єкт.

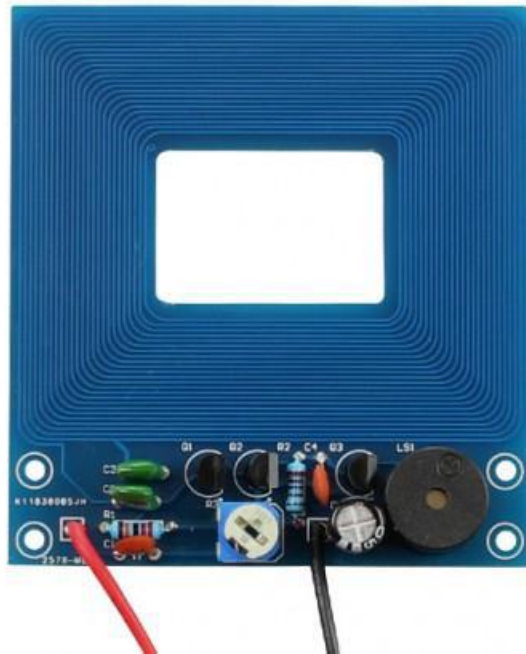


Рисунок 2.3 – Металошукач для Raspberry Pi

З точки зору РІ, компонент X магнітних ґрунтів просто реагує безпосередньо на поле передачі, як визначено вище. Компонент R магнітна реакція ґрунту, що виникає внаслідок «суперпарамагнітної в'язкості», як зазначено вище, є результатом часу для мікроскопічних магнітних невзаємодіючих однодомених частинок⁴ для подолання пов'язаного з ними невеликого енергетичного бар'єру, який пов'язаний з їхньою тепловою енергією, і узгодити з прикладеним магнітним полем. Ця (Арреніусова) теплова енергія добре відома вченим і дорівнює kT , де k — Больцманівська постійна, а T — абсолютна температура. Розмір цих частинок становить близько 10 нм. Це менше, ніж довжини хвилі видиме світло; таку частинку неможливо побачити навіть у світловий мікроскоп! Після припинення передачі ці магнітні частинки знову рандомізують через температуру, створюючи при цьому сигнал розмагнічення.

Говорячи простими загальноприйнятими термінами, «в'язкий» означає частинки, зважені в «липкій» підкладці, але «струсуються» під дією тепла, як рандомізує ці магнітні частинки. Окремі магнітні домени не з'єднані разом, як у багатодоменному залізі, але ефективно фізично розділені, тому вони не взаємодіють безпосередньо магнітно. «Парамагнітність» — це властивість надзвичайно слабкого магнітного посилення деяких матеріалів, що пов'язано з магнетонном Бора атомів, магнітним моментом, добре відомим фізикам. Знову через температури, атоми, що сприяють цьому, погано узгоджуються з прикладеним полем, оскільки вони рандомізовані температурою. Тобто магнітне поле викликає силу магнітного вирівнювання атомів/молекул із прикладеним полем, але температура одночасно конкурує з рандомізувати їх. Вплив температури є значним, тому притягання до магніту настільки слабе, що його неможливо помітити в повсякденному житті людський досвід. Магнітна сприйнятливність парамагнітних матеріалів приблизно відповідає закону Кюрі χ , отже, пропорційна $1/T$ (абсолютна температура). У суперпарамагнітних матеріалах явище в основному таке ж, але набагато більші однодоменні частинки відповідають за магнітне посилення, а не окремі атоми, і тому магнітні моменти є гігантськими в порівнянні через взаємодіючі атоми в окремих доменах. Отже, термін «суперпарамагнітний» відноситься до набагато сильнішого «парамагнітного» явища.

Наприклад, частинки магнетиту розміром 28 нм при 20 °C поведуться суперпарамагнітно з експоненціальним розпадом близько 1 хвилини, але трохи більші в'язкі частинки можуть демонструвати дивовижно тривалий розпад: частинки магнетиту приблизно 32 нм демонструють розпад близько години, а частинки розміром 37 нм розпадаються приблизно за мільярд років.

Однак при підвищеній температурі 100C частинки розміром 32 нм матиме постійну часу <1 хвилини. В'язкі однодоменні частинки з випадковим розподілом частинок за розміром, тобто в результаті а

логарифмічний рівномірний розподіл сталої часу, покаже логарифмічне магнітне розпад для магнітної крокової функції

Суперпараметричні зерна використовуються біологічно: деякі птахи з відмінною навігацією мають мембрану, що оточує суперпарамагнітна ферофлуїда, що містить приблизно 3 нм кристали магнетиту, зважені в рідині.

Магнітне поле спотворює ферофлуїд і, отже, мембрана до еліпсоїдної форми з довгою віссю, вирівняною з полем. Нервові волокна відчувають цю зміну форми і пов'язана зміна осмотичного тиску на мембрані, таким чином уможливлуючи відчуття земного магнетизму.

Більшість однодоменних частинок не є в'язкими, оскільки вони занадто великі, щоб термічно «вибити» магнітне вирівнювання. Таким чином, вони можуть виявляють стабільний магнетизм. Частинки, що повільніше розпадаються, вироблятимуть X-відповідь у металодетекторах через свою повільність порівняно з частотою передачі. Більшість X-компонента виникає з частинок, більших за діапазон суперпарамагнітних частинок затухають зі швидкістю, набагато нижчою за основну частоту передачі, або є магнітно стабільними. Ці матеріали, виявлені як X, складаються лише з повільніших в'язких частинок, стабільних однодоменних частинок, псевдоодинокних та мультидоменних частинок. Суперпарамагнітні частинки виявляють відповіді як X, так і R під час періоду передачі в детекторах PI з подібних причин, чому металева мішень у детекторі VLF як описано вище, за винятком того, що розподіл постійної часу є логарифмічним рівномірним у діапазоні ефективної постійної часу схеми прийому.

Суперпарамагнітні частинки в ідеалі не виявляють гістерезису, а отже, і залишкового магнетизму, і вони легко магнітно насичуються (порівняно з кількома доменами або навіть псевдоокремими доменами). «Насичений» означає, що отриманий сигнал не пов'язаний лінійно з магнітне поле, що проходить; якщо сила поля в певному магнітному домені в ґрунті

подвоюється, отримана відповідь X і R не подвійний, який би мав лінійний зв'язок. Це насичення викликає математичну реакцію розпаду ґрунту, наведену нижче втратити точність. Це тому, що частинки різного розміру насичуються по-різному. Це означає, що немає прямого способу точного визначення баланс землі.

Магнітна сила, яка викликає помітне насичення чутливого металодетектора, залежить від магнітного хімікату. Більшість з суперпарамагнітні частинки, знайдені в золотих полях, вимагають інтенсивних полів, щоб викликати насичення, тоді як, за іронією долі, деякі більш доброякісні, мінералізовані ґрунти легше насичуються, і тому можуть спричиняти гірші помилкові сигнали, ніж високомінералізовані золоті родовища. Double-D котушки чудові для придушення ефектів насичення біля поверхні, тоді як моноконтури погані в цьому. Таким чином, ця насиченість може найбільш це легко помітити при використанні котушки з моноконтуром, оскільки вона «качає» котушку вгору та вниз, викликаючи різну силу поля в ґрунті. В легко насичених ґрунтів, хороший баланс ґрунту неможливий через насиченість, тоді як точний баланс ґрунту може бути досягнутий у ґрунтах які вимагають більш інтенсивних полів, щоб викликати насичення. Однак Minelab GPX-4000 (режими «Smooth» і «Specific») і розмінування детектори (F3 і HSTAMIDS) унікально забезпечують режими, нечутливі до ефектів насичення, тому монопетлі можна використовувати в насичених ґрунтах з ці пристрої Minelab без проблем.

2.3 Метод виявлення вибухонебезпечних предметів

Загальний процес пропонованого трубопроводу наземної міни виявлення та ідентифікації ,входом процесу є сигнал георадара, а частина сигналу з ефектами наземних мін вилучається після шуму та вплив землі зменшується. Аналіз головних компонент методи обчислення (PCA) і перетворення Фур'є (FT). особливості сигналу наземної міни. Створюється база даних шляхом зберігання функцій із пов'язаною інформацією про

наземні міни. Ця конструкція бази даних використовує експериментальні дані з відомості про наземні міни. Для виявлення та ідентифікації, вхідний сигнал обробляється для генерування ознак, і подібні ознаки визначені в базі даних.

Рішення для виявлення та ідентифікації використовуються два методи: метод підрахунку значення спочатку виконує виявлення, потім шляхом ідентифікації методом перевірки відношення правдоподібності. Один раз міна успішно ідентифікована, глибина захоронення міна оцінюється. У наступних розділах вводяться теорії та алгоритми кожного кроку.

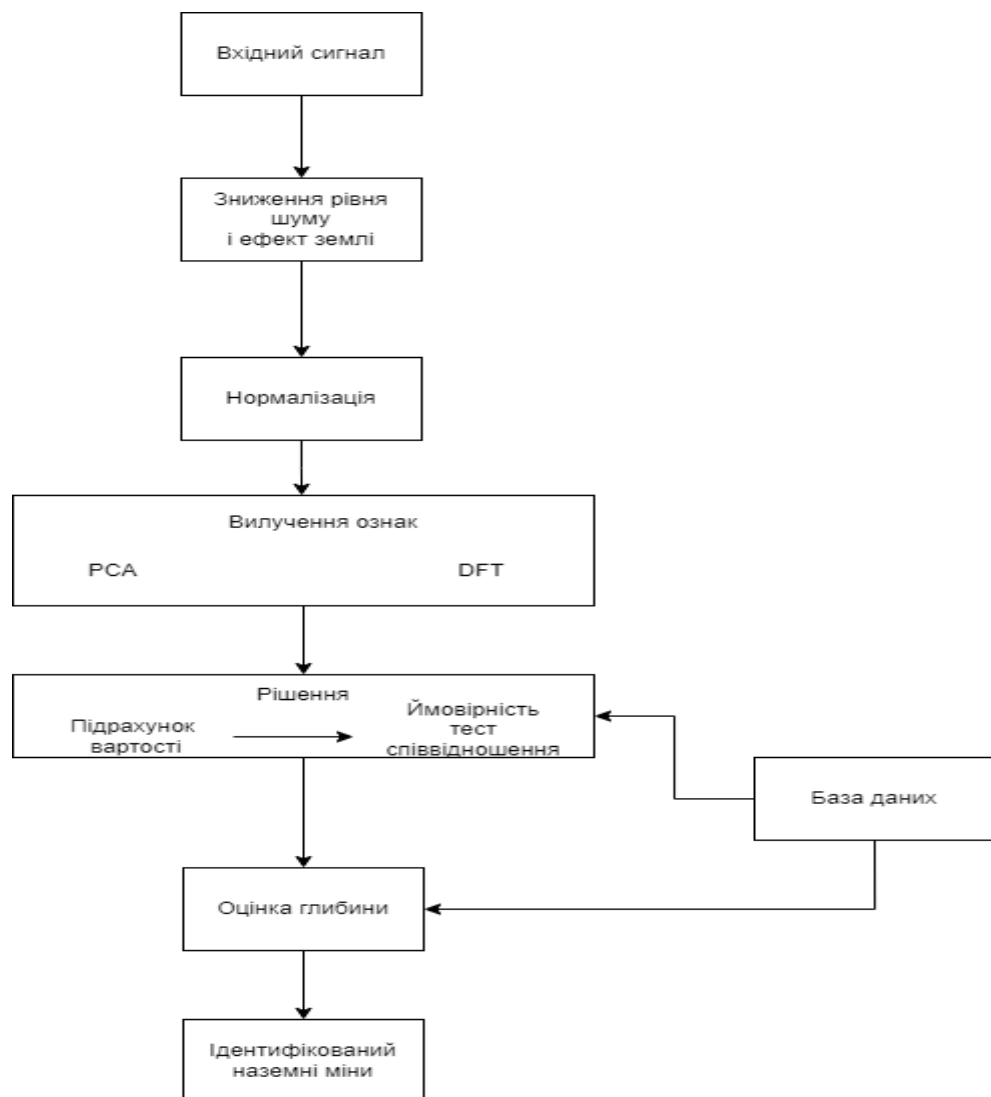


Рисунок 2.4 - Загальний процес виявлення та ідентифікації протипіхотних мін.

Міни виготовлені з різних матеріалів, наприклад, пластмаси і метали, а також різні за розміром і формою. Тому вони реагують по-різному та мають унікальні підписи. У цьому є, два методи використовуються для вилучення таких ознак з сигнал L : аналіз головних компонент (PCA) і Фур'є перетворення (FT).

PCA – це статистика метод, який може надати шаблони розсіяних даних, N , у K dimension. Він створює коваріаційну матрицю $K \times K$ з даних. Власними векторами та власними значеннями матриці. Використовуючи цю властивість, сигнал про міну міститиме власні значення та власні вектори, які є унікальними до міни. У цій роботі кожна точка даних георадара в 3D простір, проектується на площину XZ щоб створити набір точок у двовимірному просторі, як показано на

Тут вісь X вказує номер стовпця і Z - інтенсивність. Тоді дані в площині XZ знаходяться обробляється для обчислення двох головних компонентів ($N = 2$). Тому отримують два власні значення та власні вектори, які можна розглядати як особливості кожної міни. Безвимірні власні вектори можна розглядати для георадара дискримінації наземних мін подібно . Як однакові дані георадара показують, що власних векторів не буде використовується для розпізнавання наземних мін GPR у цій роботі. Більшість даних георадара групуються поблизу нульової інтенсивності та один головний компонент повинен слідувати цьому розподілу. Отже, власні вектори для різні дані георадара показують невелику різницю і не можуть бути використані як особливість. Різниця між сигналами георадарних наземних мін, однак можна спостерігати, порівнюючи розподіл від нульової інтенсивності, $Z = 0$, що відображається на друге власне значення. А саме, як показано на малюнку 5, власне значення в напрямку e_2 буде відображати такий унікальний візерунок, який використовується як ознака наземної міни.

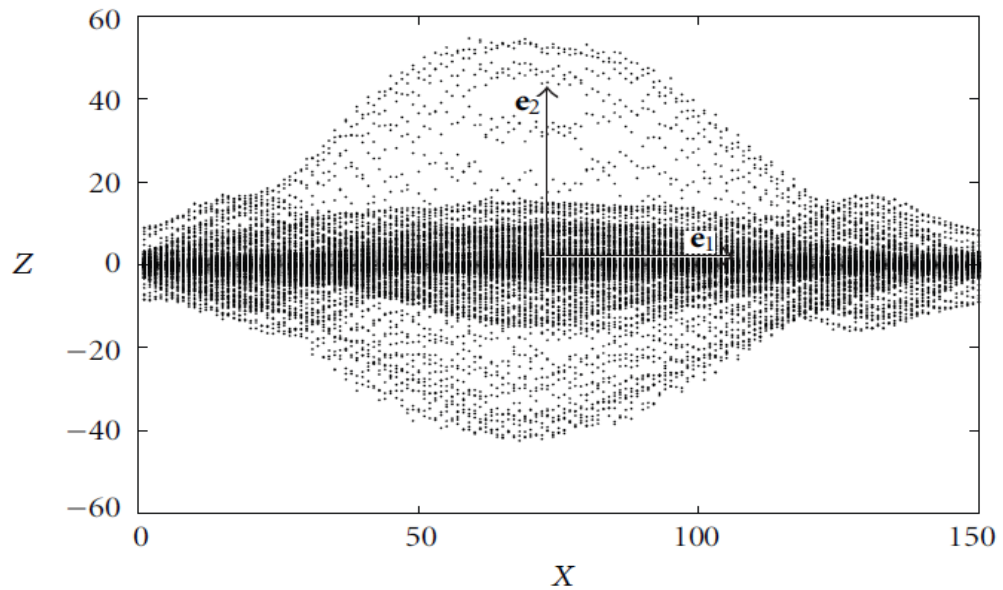


Рисунок 2.5 - Дані георадару, спроектовані на площину XZ і власні вектори набору даних методом PCA.

Виявлення наземних мін – це процес визначення того, чи а сигнал від георадару містить міну, тоді як розпізнавання включає не тільки виявлення наземної міни в сигналі, але також визначення типу міни. Тому ідентифікація є більш залученим, ніж виявлення, надаючи більше інформації про міну.

Враховуючи функцію, отриману з даних георадара, виявлення і ідентифікація виконується шляхом пошуку того самого функцію в базі даних і отримання відповідної інформація про міни. Можливість, що точно так само функція, знайдена в базі даних, є незначною, однак через різний шум і невизначеність, що міститься в придбаному сигнал. Натомість дуже ймовірно, що функція, близька до враховуючи, що одна знайдена, або кілька протипіхотних мін із функціями близькі до нього повертаються. Тому для надійного виявлення та ідентифікації, слід використовувати системний підхід для усунення плутанини в рішенні. У цій роботі два методи, підрахунок і відстань запропоновано методи перевірки співвідношення правдоподібності.

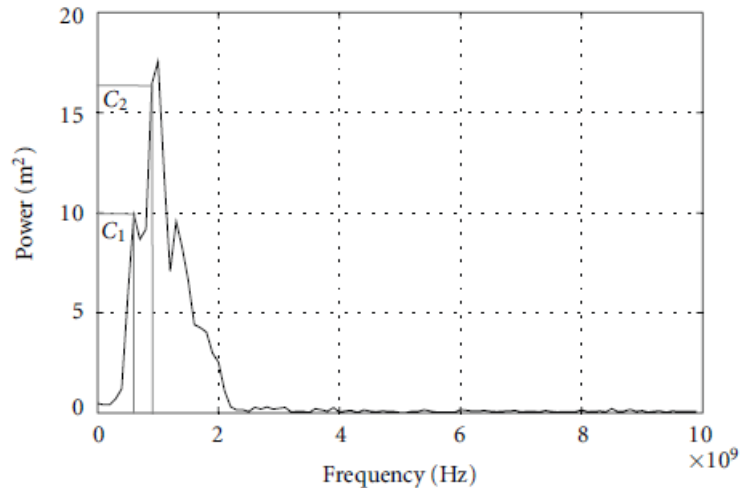


Рисунок 2.6 - Результат ФТ сигналу.

Метод підрахунку підраховує кількість збігів і вибирає з них найбільше кількість зарахувань як ідентифікована наземна міна. Кожна міна надається змінна лічильника. Дана ознака порівнюється з ті, що в базі даних. Якщо збіг знайдено, змінна відповідно до міни збільшується на одиницю. тут, критерієм відповідності є перевірка абсолютної різниці між функцією та функцією в базі даних знаходиться в межах заданого терпимість. Для однієї функції може бути кілька збігів. У цьому випадку всі змінні підрахунку, які збігаються, збільшуються по одному. Цей процес підрахунку виконується для всіх розглянуті особливості. Той, що має найбільше значення підрахунку повідомляється як виявлена міна з ідентифікацією інформації

Висновки до розділу 2

Було проаналізовано принципи роботи металошукача, ультразвукового датчика та методів виявлення вибухонебезпечних предметів.

Металошукач працює шляхом генерування магнітного поля, яке індукує вихровий струм у провідному металевому об'єкті, утворюючи власне магнітне поле, яке може виявити металошукач. Металошукачі зазвичай використовуються для виявлення металевих мін або боєприпасів, що не вибухнули.

Ультразвукові датчики використовують високочастотні звукові хвилі для виявлення об'єктів шляхом вимірювання часу, необхідного звуковій хвилі для відбиття назад до датчика. Ультразвукові датчики зазвичай використовуються для виявлення неметалевих наземних мін або інших похованих об'єктів.

Важливо відзначити, що жоден метод не є безпомилковим, і багато методів часто використовуються в комбінації для підвищення точності та надійності виявлення вибухонебезпечних предметів. Крім того, використання робототехніки та передових технологій, таких як машинне навчання, може ще більше розширити можливості виявлення та підвищити безпеку операцій з розмінування.

Загалом, принципи та методи виявлення наземних мін, розглянуті в цьому розділі, створюють основу для розробки ефективних і ефективних систем розмінування. Розуміючи сильні сторони та обмеження різних методів виявлення, можна розробити системи, адаптовані до конкретних середовищ і ситуацій, які максимізують безпеку та ефективність операцій з розмінування.

3 АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

3.1 Вибір апаратної платформи

До вибору апаратної платформи порівняв деякі міні-комп'ютери Raspberry pi, для задачі з вибором треба обрати більш надійний міні-комп'ютер для виконання обчислювальних задач таких як вимірювання та виявлення вибухонебезпечних предметів.

Raspberry Pi 2 B+

Raspberry Pi — це комп'ютер розміром з кредитну картку. Raspberry Pi 2 Model B — це Raspberry Pi другого покоління. Він заснований на системі на чіпі (SoC) BCM2836, яка включає чотирьох ядерний процесор ARM Cortex-A7 і потужний графічний процесор. Raspberry Pi підтримує різні дистрибутиви Linux, включаючи Debian, Fedora та Arch Linux.

Raspberry Pi був розроблений Raspberry Pi Foundation, щоб забезпечити доступну платформу для експериментів і навчання комп'ютерному програмуванню. Raspberry Pi можна використовувати для багатьох речей, які виконує звичайний настільний ПК, включаючи обробку текстів, електронні таблиці, відео високої чіткості, ігри та програмування. USB-пристрої, такі як клавіатури та миші, можна підключати через чотири USB-порти плати. Було продано понад п'ять мільйонів Raspberry Pi, і багато ресурсів для Raspberry Pi доступні в Інтернеті.

Raspberry Pi 2 Model B має той самий форм-фактор і розташування роз'ємів, що й старі Raspberry Pi Model B+ і новіша Raspberry Pi 3 Model B. Він має процесор ARMv7, що означає, що він може запускати повний спектр дистрибутивів ARM GNU/Linux, включаючи Snappy Ubuntu Core, а також Microsoft Windows 10.

Завдяки роз'єму GPIO з інтервалом 0,1 дюйма та невеликому розміру Raspberry Pi також працює як програмований контролер у різноманітних додатках робототехніки та електроніки. Його також можна поєднати з контролером робота A-Star 32U4 LV із мостом Raspberry Pi, щоб створити

чудовий контролер для невеликого робота. У нас також є вибір плат розширення Raspberry Pi.



Рисунок 3.1 – Міні-комп'ютер Raspberry Pi 2 B+

Raspberry Pi 3 B+Raspberry Pi 3 Model B — це третє покоління Raspberry Pi. Він заснований на системі на чіпі (SoC) BCM2837, яка включає 4-ядерний 64-розрядний процесор ARMv8 1,2 ГГц і потужний графічний процесор VideoCore IV. Raspberry Pi може запускати повний спектр дистрибутивів ARM GNU/Linux, включаючи Snappy Ubuntu Core, Debian, Fedora та Arch Linux, а також Microsoft Windows 10 IoT Core.

Raspberry Pi 3 Model B є першим Raspberry Pi з вбудованим бездротовим підключенням і Bluetooth. Він має той самий форм-фактор і розташування роз'ємів, що й старіші Raspberry Pi 2 Model B і Raspberry Pi Model B+.

Raspberry Pi був розроблений Raspberry Pi Foundation, щоб забезпечити доступну платформу для експериментів і навчання комп'ютерному програмуванню. Raspberry Pi можна використовувати для багатьох речей, які виконує звичайний настільний ПК, включаючи обробку текстів, електронні таблиці, відео високої чіткості, ігри та програмування. USB-пристрої, такі як клавіатури та миші, можна підключати через чотири USB-порти плати. Було продано понад дванадцять мільйонів Raspberry Pi, і багато ресурсів для Raspberry Pi доступні в Інтернеті.

Завдяки роз'єму GPIO з інтервалом 0,1 дюйма та невеликому розміру Raspberry Pi також працює як програмований контролер у різноманітних додатках робототехніки та електроніки. Його також можна поєднати з

контролером робота A-Star 32U4 LV із мостом Raspberry Pi, щоб створити чудовий контролер для невеликого робота. У нас також є вибір плат розширення Raspberry Pi.

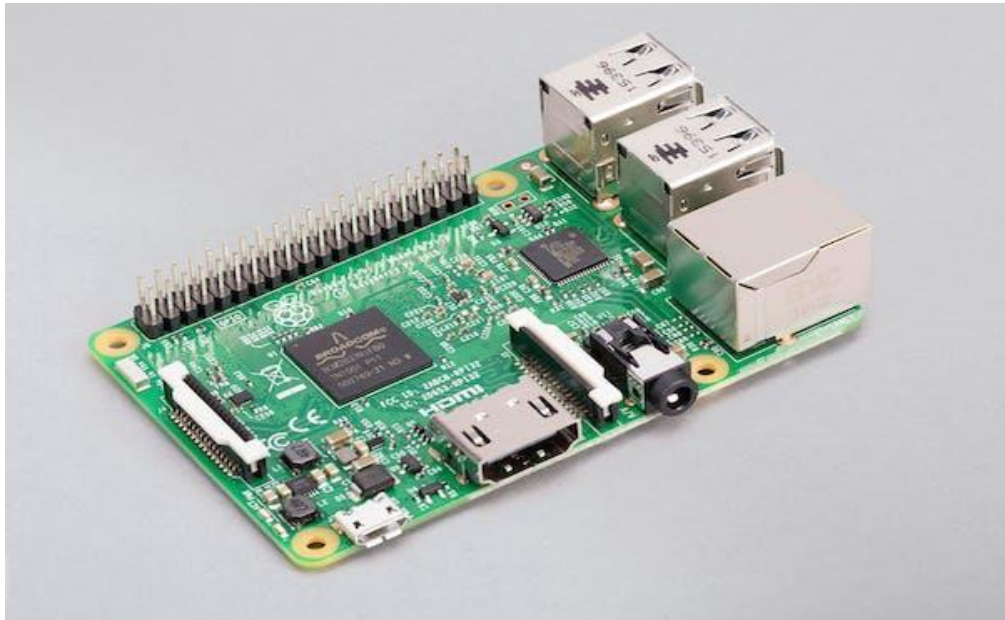


Рисунок 3.2 – Міні-комп'ютер Raspberry Pi 3 B+

Raspberry Pi 4+

Raspberry Pi 4 Model B — останній продукт у популярній лінійці Raspberry Pi комп'ютери. Він пропонує революційне збільшення швидкості процесора, мультимедійних даних продуктивність, пам'ять і підключення порівняно з попереднім поколінням Raspberry Pi 3 Model B+, зберігаючи зворотну сумісність тощо споживання енергії. Для кінцевого користувача Raspberry Pi 4 Model B забезпечує робочий стіл продуктивність, порівнянна з ПК x86 початкового рівня.

Основні характеристики цього продукту включають високопродуктивний 64-розрядний чотирьох ядерний процесор процесор, підтримка двох дисплеїв із роздільністю до 4K через пару порти мікро-HDMI, апаратне декодування відео зі швидкістю до 4Kp60, до 4 ГБ оперативної пам'яті, дводіапазонний бездротовий LAN 2,4/5,0 ГГц, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, USB 3.0, і можливість PoE (через окрему надбудову PoE HAT).

Двodiaпaзoннa бeздpoтoвa лoкaлbнa мepeжa тa Bluetooth мaють мoдyльнy сepтифiкaцiю вiдпoвiднoстi, щo дoзвoляє пpoектувaти плaту в кiнцeвi пpoдукти зi знaчним скoрoчeнням тeстувaння нa вiдпoвiднiсть



Рисунок 3.3 – Міні-комп'ютер Raspberry Pi 4+

Raspberry Pi 400

Raspberry Pi 400 — останній продукт, випущений Raspberry Pi Foundation. 400 — це компактна клавіатура зі спеціальною друкованою платою Pi 4 всередині. Це дає вам компактний чотирьохядерний комп'ютер з усіма роз'ємами на задньому краю. Підключіть монітор, мишу та кабель живлення, і ви отримаєте настільний комп'ютер із контактами GPIO.

Процесор той самий Broadcom BCM2711, що використовується в Pi 4, але він має тактову частоту 1,8 ГГц, а не стандартну 1,5 ГГц. Це стало можливим завдяки великому радіатору, який майже такого ж розміру, як сама клавіатура.

Головною особливістю 400 є те, що всі роз'єми розташовані на задньому краю. Це робить налаштування робочого столу більш акуратним, не тягнучи Pi зі столу через кабель HDMI.

Через форм-фактор у Pi 400 відсутні деякі функції Pi. До них відносяться роз'єми DSI, CSI та 3,5 мм. Аудіо можна направляти через роз'єм HDMI, якщо ваш монітор має вбудовані динаміки. Відсутність інтерфейсу камери, можливо, засмучує, але насправді ця ітерація Pi не призначена для проектів, заснованих на камері.



Рисунок 3.4 – Міні-комп'ютер Raspberry Pi 400

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика платформ для програмно-апаратного комплексу

	Raspberry Pi 2 B+	Raspberry Pi 3 B+	Raspberry Pi 4 +	Raspberry Pi 400
Процесор	ARM Cortex-A7	ARM Cortex-A53	ARM Cortex-A72	Cortex-A72 (ARM v8)
Оперативна пам'ять	1 Гб оперативної пам'яті	1 ГБ LPDDR2 SDRAM	1 ГБ, 2 ГБ, 4 ГБ або 8 ГБ LPDDR4-3200 SDRAM	4 ГБ LPDDR4-3200
Живлення	5 В/2,5 А	5 В/2,5 А	5 В постійного струму через роз'єм GPIO (мінімум 3 А*)	5 В постійного струму через роз'єм USB
Розміри	3.35" × 2.2" × 0.8"	87,0 мм x 58,5 мм x 18,0 мм / 3,4 дюйма x 2,3 дюйма x 0,7	87,0 мм x 58,5 мм x 18,0 мм / 3,4 дюйма x 2,3 дюйма x 0,7	286 мм × 122 мм × 23 мм (максимум)
Вартість	4070 грн	4600 грн	7447 грн	5698 грн

Після порівняльної характеристики було обрано міні-комп'ютер Raspberry Pi 4+ , через те що він більш продуктивний для виконання обчислювальних задач.

3.2 Опис апаратної платформи та компонентів

Апаратною платформою обрано Raspberry Pi 4+[19] через те що він більш продуктивний та виконує задану обчислювальну роботу, також обрано ультразвуковий датчик Makeblock Me Ultrasonic Sensor V3 та 5 сервоприводів mg 995 tower pro для виконання рухової задачі та металошукач. Живлення апаратної платформи здійснюється за допомогою батареї lihv 4500 через велике енергоспоживання апаратної частини. Raspberry Pi підключена до бездротової мережі інтернет яку забезпечує звичайний телефон, це дуже полегшує процес передачі даних.

На рис 3.4 зображен міні-комп'ютер Raspberry Pi 4 +

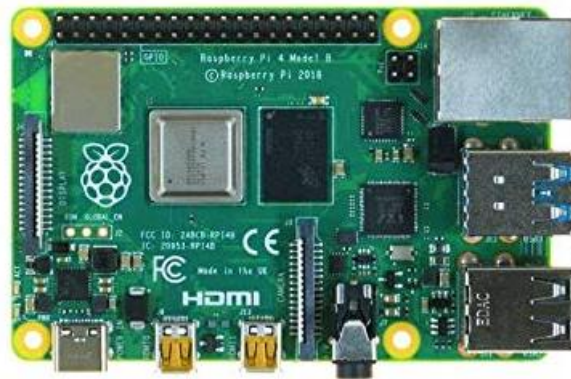


Рисунок 3.4 – зовнішній вигляд міні-комп'ютера Raspberry Pi 4 +

Міні-комп'ютер оснащений Чотирьох ядерним процесор Cortex-A72 (ARM v8), 64-розрядний процесор на частоті 1,5 ГГц та маю 8 гб оперативної пам'яті, 40 виходів GPIO та бездротовим доступом до інтернету що потребує апаратна частина проєкту.

На рис 3.5 зображені піни які має міні-комп'ютер

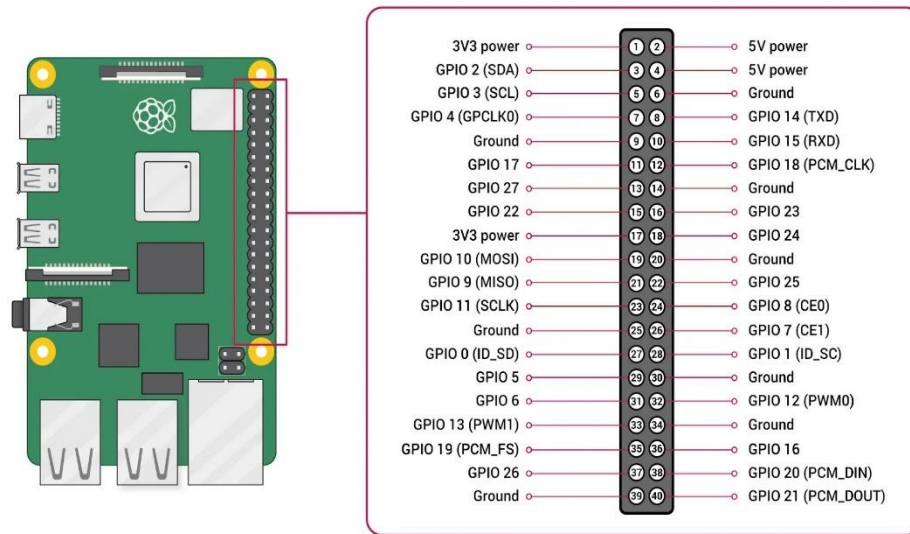


Рисунок 3.5 – Розпінування плати міні-комп'ютера

Міні-комп'ютер має всі необхідні виходи для реалізації апаратної частини, є декілька виходів живлення та порти UART що спрощують реалізацію подальшу реалізацію проекту.

Для вимірювання відстані між об'єктом прицілювання та датчиком за допомогою ультразвукових хвиль було обрано датчик Makeblock Me Ultrasonic Sensor .

На рис 3.6 зображен ультразвуковий датчик



Рисунок 3.6 – Ультразвуковий датчик Makeblock Me Ultrasonic Sensor[20]

Ультразвукові хвилі поширюються швидше, ніж швидкість відчутного звуку. Ультразвукові датчики мають два основних компоненти: передавач,

який випромінює звук за допомогою п'єзоелектричних кристалів, і приймач, який приймає відбитий сигнал. Залежно від часу, витраченого на передачу та прийом, його можна використовувати для уникнення зіткнення, а також для уникнення перешкод і виявлення

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики Makeblock Me Ultrasonic Sensor

Робоча напруга	5V DC
Кут вимірювання	30 градусів
Діапазон вимірювання	3-400 см (з похибкою менше 1 см)
Частота ультразвуку	42 кГц
Режим керування	Режим керування: одноцифрове керування портом
Розмір модуля	56 x 36 x 31 мм

Захист від зворотного ходу – підключення джерела живлення навпаки не пошкодить мікросхему.

Біла область модуля є опорною зоною контакту з металевими балками Підтримка програмування графічного інтерфейсу користувача mBlock. Використовуйте порт RJ25 для легкого підключення

Забезпечте pin-тип порту для підтримки більшості плат розробки, включаючи серію Raspberry Pi

В якості живлення було обрано літєву батарею lihv 4500. Акумулятор GNB 4500mAh 4S 70C LiHV[21] — це високоякісний LiHV (літій-полімерний акумулятор високої напруги) виробництва Gaoneng, більш відомий як GNB. Він має рейтинг від 70C для постійного розряду до 140C для коротких сплесків. Батарея оснащена роз'ємом XT90 і включає в себе штекер балансу JST-XH.

На рис 3.7 зображена батарея для живлення комплексу



Рисунок 3.7 - GNB 4500mAh 4S 70C LiHV Battery

Через велике енергоспоживання програмно-апаратного комплексу обрано батарею з великою ємністю та можливістю швидкою зарядки.

Таблиця 3.3 – Характеристика живлення

Вага	~340 г (+/-5%)
Розміри	~26x44x140 мм (без проводів і роз'ємів)
Тип роз'єму	балансний роз'єм XT90 і JST-XH
Елементи	4S 1P / 15.2V (LiHV)
Рейтинг	70C безперервно - 140C Burst

Також було серво-двигуни mg995[22] для більшої ефективності руху комплексу та його навантаження, в інших моделях низька продуктивність та вони не надійні.

На рис 3.8 – Зображен серво-двигун mg995



Рисунок 3.8 – серво-двигун mg995

MG995 Високошвидкісний сервопривід із подвійним кульковим підшипником Metal Gear. Пристрій поставляється в комплекті з проводом 30 см і 3-контактним роз'ємом типу «S», який підходить для більшості приймачів, включаючи Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum і Hitec.

Цей високошвидкісний стандартний серво-двигун може обертатися приблизно на 120 градусів (60 у кожному напрямку).

Використовується будь-який сервокод, апаратне забезпечення чи бібліотеку для керування цими серво-двигун, тому це чудово для початківців, які хочуть рухати речі без створення контролера двигуна зі зворотним зв'язком і коробкою передач, особливо тому, що він підходить у невеликих місцях.

Таблиця 3.4 – Характеристика серво-двигуна mg995

Розмір	40,4*19,9*37,5 мм
Вага	58г
Тип шестерні	5 металевих шестерень
Горновий тип	метал
Мотор	двигун постійного струму
Робоча напруга	4,8 В
Напрямок обертання	Проти годинникової стрілки (коли 500~2500 с)
Тип підсилювача	Цифровий контролер

3.3 Побудова макетної та принципової схеми

Макетна та принципова плата була розроблена у додатку проектування Fritzing[23]

Fritzing — це апаратна ініціатива з відкритим кодом, яка робить електроніку доступною як творчий матеріал для будь-кого. Ми пропонуємо програмний інструмент, веб-сайт спільноти та послуги в дусі Processing і Arduino, сприяючи творчій екосистемі, яка дозволяє користувачам документувати свої прототипи, ділитися ними з іншими, навчати електроніці в класі, а також макетувати та виготовляти професійні друковані плати.

Часто у базі даних програми немає необхідних компонентів. Але можна створювати власні та заносити їх у свою базу. Також встановлювати компоненти, намальовані іншими користувачами.

Fritzing – з цією програмою користувач зможе змоделювати будь-який електронний пристрій. Втілити свою ідею в цифровій моделі, яку пізніше можна реалізувати на Arduino, або в іншому подібному рішенні. Щоб створити прототип, немає необхідності створювати все з нуля – готові елементи вже є в бібліотеці програми. У каталозі вже є монтажні плати, будь-які мікросхеми, а також будь-які інші пристрої на зразок моторчиків або транзисторів, які можуть знадобитися для моделювання.

Щоб будь-який з об'єктів закріпити у потрібній точці схеми, його достатньо вибрати у списку та перетягнути на робочу область, закріпивши лівою кнопкою миші. Після цього, необхідно так само з'єднати його з потрібними частинами моделі проводами. По суті це спосіб «Макетної плати». Також тут є можливість роботи в режимах принципової схеми та друкованої плати. У першому варіанті робота ведеться в іншій візуалізації, яка підходить для досвідчених інженерів. Вибрати, що ж зручно особисто йому, користувач може сам, жодних зобов'язань щодо використання конкретних режимів немає.

Користувач сам вирішує, як вирішити те чи інше питання, але програма має деякі підказки, які часом можуть бути на руку користувачеві.

Всі елементи які було потрібно для розробки макетної плати були використані зі стандартної бібліотеки. Було встановлено всі елементи які необхідно.

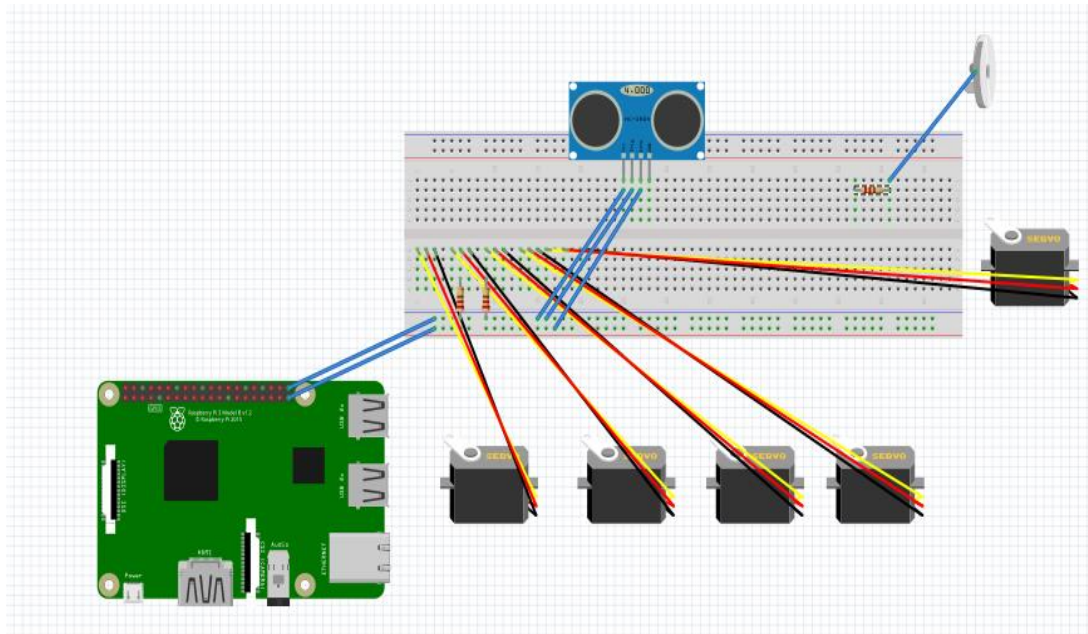


Рисунок 3.9 – Макетна плата програмно-апаратного комплексу.

На рис 3.10 представлена принципова плата

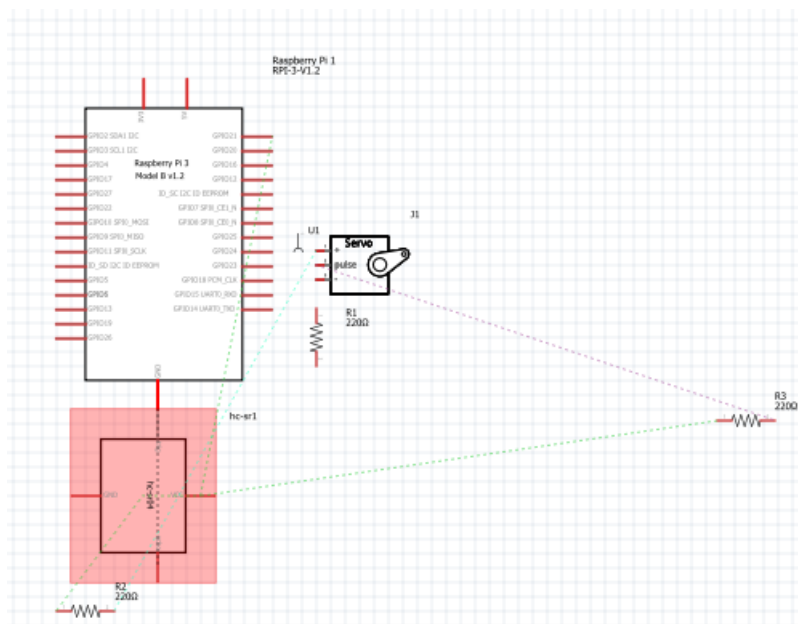


Рисунок 3.10 – Принципова плата апаратного комплексу

Існує потреба в розробці автоматичної, жорсткої та ефективної робототехнічної системи, яка зменшить втрати, які виникають інакше.

3.4 Розробка програмної частини

Після проектування принципової та макетної плати комплексу , розроблено алгоритм за яким працює програмна частина.

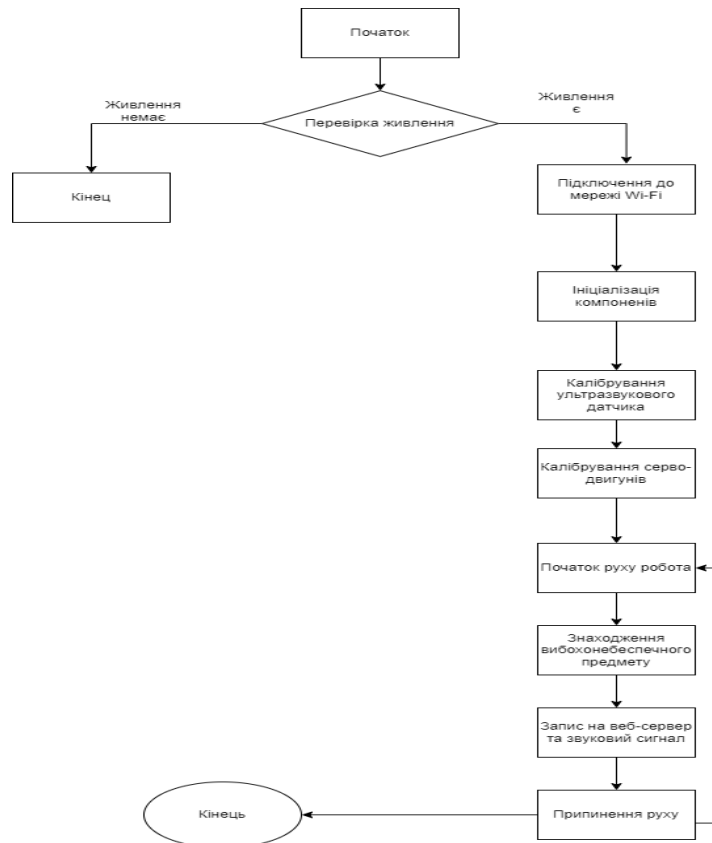


Рисунок 3.11 – Алгоритм роботи

Спочатку йде перевірка живлення, якщо живлення немає то робот не їде, якщо живлення є, йде підключення до бездротової мережі Wi-Fi та починається ініціалізація компонентів та калібрування всіх необхідних компонентів, далі робот їде скануючи поверхню металошукачем та якщо знаходить вибухонебезпечний предмет він зупиняється та записує це у веб-сервер та подає звуковий сигнал.

Мовою програмування програмної частини було обрано Python. Використання Python[25] для Raspberry pi є оптимальним і ефективним рішенням задач.

Python — це інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня з динамічною семантикою, розроблена Гвідо ван Россумом. Спочатку він був випущений у 1991 році. Розроблений, щоб бути легким, а також веселим, назва "Python" є реверансом до британської комедійної групи Monty Python. Python має репутацію мови, зручної для початківців, замінюючи Java як найпоширенішу початкову мову, оскільки вона справляється з більшою частиною складності для користувача, дозволяючи початківцям зосередитися на повному розумінні концепцій програмування, а не на найменших деталях.

Python використовується для веб-розробки на стороні сервера, розробки програмного забезпечення, математики та системних сценаріїв, і популярний для швидкої розробки додатків, а також як мова сценаріїв або з'єднувальна мова для зв'язування існуючих компонентів завдяки своїм високорівневим вбудованим структурам даних, динамічний тип і динамічне зв'язування. Витрати на технічне обслуговування програми знижуються завдяки Python завдяки легкому освоєнню синтаксису та акценту на зручності читання. Крім того, підтримка Python модулів і пакетів полегшує модульні програми та повторне використання коду. Python є мовою спільноти з відкритим вихідним кодом, тому багато незалежних програмістів постійно створюють бібліотеки та функціональність для неї.

Сумісний із різними платформами, включаючи Windows, Mac, Linux, Raspberry Pi та інші.

Використовує простий синтаксис, який можна порівняти з англійською мовою, що дозволяє розробникам використовувати менше рядків, ніж інші мови програмування.

Працює на системі інтерпретатора, яка дозволяє негайно виконувати код, швидко відстежуючи прототипування.

Можна обробляти процедурним, об'єктно-орієнтованим або функціональним способом.

З іншого боку, Python нелегко підтримувати. Одна команда може мати кілька значень залежно від контексту, оскільки Python є мовою з динамічним типом. І підтримувати програму Python, коли вона зростає в розмірі та складності, може бути дедалі складніше, особливо знаходити та виправляти помилки. Користувачам знадобиться досвід для розробки коду або написання модульних тестів, які спрощують обслуговування.

Швидкість — ще одна слабка сторона Python. Його гнучкість, оскільки він динамічно типізований, вимагає значної кількості посилань, щоб отримати правильне визначення, що сповільнює продуктивність. Це можна пом'якшити, використовуючи альтернативну реалізацію Python (наприклад, PyPy).

Дослідники AI є фанатами Python. Google TensorFlow, а також інші бібліотеки (scikit-learn, Keras) створюють основу для розробки ШІ завдяки зручності та гнучкості, яку він пропонує користувачам Python. Ці бібліотеки та їх доступність є критично важливими, оскільки вони дозволяють розробникам зосередитися на зростанні та розбудові.

Середовищем для розробки керування апаратним комплексом було обрано Spyder[24].

Spyder — наукове середовище з відкритим кодом, написане на Python для Python і розроблене вченими, інженерами та аналітиками даних. Він характеризується унікальним поєднанням розширених функцій редагування, аналізу, налагодження та профілювання комплексного інструменту розробки з дослідженням даних, інтерактивним виконанням, глибокою перевіркою та чудовими можливостями візуалізації наукового пакету.

Документація Spyder надає різноманітні ресурси, які допоможуть вам навчитися користуватися програмою та вивчити кожну з її панелей. До них входять відеоінструкції, детальні описи та інструкції, що охоплюють широкий діапазон потреб і рівнів досвіду роботи зі Spyder.

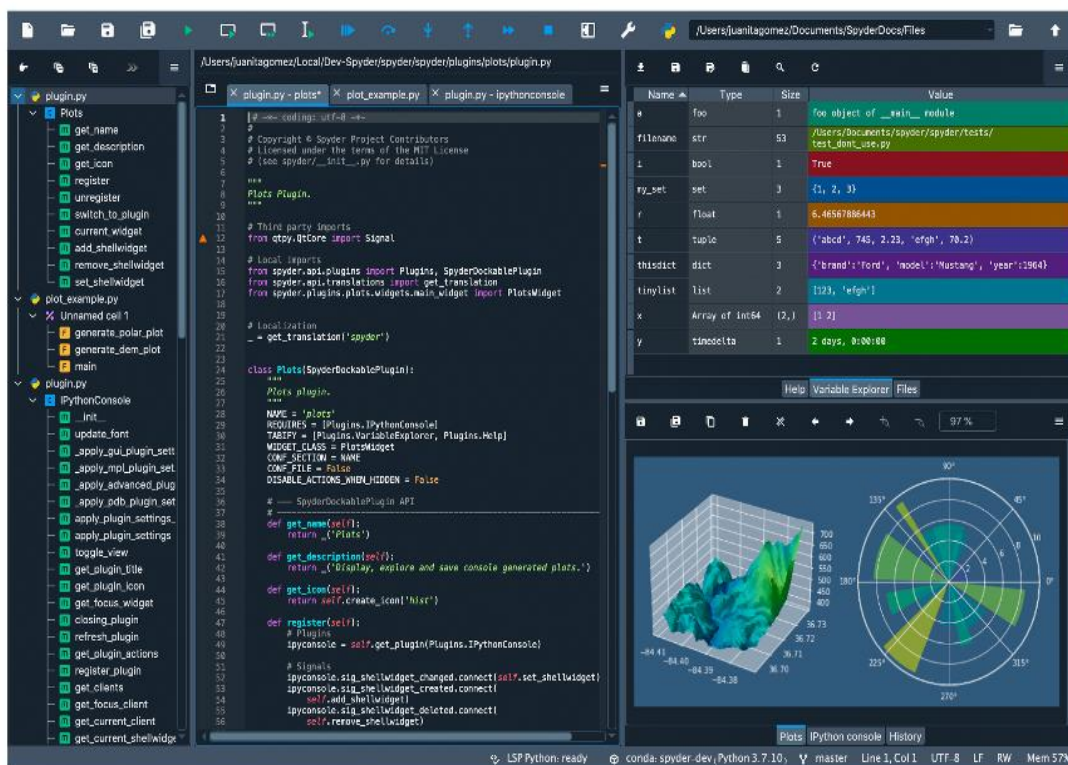


Рисунок 3.12 – Середовище розробки Spyder

Spyder написано на тій самій мові Python, яку ви використовуєте для його розробки, тому легко почати працювати над ним. Ви можете дотримуватись нашого посібника з розробки, щоб налаштувати середовище розробки, і ви можете взяти участь у проекті через наш репозиторій Github. Найпростіший спосіб розпочати — це допомогти нам вирішувати елементи в системі відстеження проблем, виправляючи помилки в Spyder або допомагаючи користувачам у вирішенні їхніх проблем (для цього не потрібно писати код).

Якщо Spyder аварійно завершує роботу або ви отримуєте повідомлення про помилку, прочитайте наведені нижче кроки з усунення несправностей, перш ніж відкривати нову проблему. Існує велика ймовірність того, що хтось інший уже стикався з такою ж проблемою, тому перевірка наявного рішення, ймовірно, змусить Spyder працювати якомога швидше.

3.5 Бібліотеки

Під реалізацію програмної платформи для контролю роботом обрано декілька бібліотек, перша це gpiozero[26] щоб запустити серво-двигуни та

RPi.GPIO[27] для контролю та калібрування ультразвукового датчика та металошукача.

Бібліотека `gpiozero` містить інтерфейси для багатьох простих повсякденних компонентів, а також деяких більш складних речей, таких як датчики, аналого-цифрові перетворювачі, повнокольорові світлодіоди, комплекти робототехніки тощо.

Ми використовуватимемо модуль RPi.GPIO як рушійну силу наших прикладів Python. Цей набір файлів і вихідних кодів Python входить до складу Raspbian, тож якщо ви використовуєте найпопулярніший дистрибутив Linux, вам не потрібно нічого завантажувати, щоб розпочати роботу.

1.Завантаження бібліотек

```
import RPi.GPIO as GPIO
from gpiozero import OutputDevice, MotionSensor, LightSensor
from gpiozero.tools import booleanized, all_values
from signal import pause
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
```

2.Ініціалізація змінних

```
servo = Servo(25)
GPIO_TRIGGER = 18
GPIO_ECHO = 24
```

3. Запуск платформи

```
try:
while True:
    servo.value = val
    sleep(0.1)
    val = val + 0.1
    if val > 1:
        val = -1
except KeyboardInterrupt:
print("Program stopped")
#set напрямок GPIO (IN / OUT)
```

```
GPIO.setup(GPIO_TRIGGER, GPIO.OUT)
GPIO.setup(GPIO_ECHO, GPIO.IN)

def distance():
    # встановити тригер на HIGH
    GPIO.output(GPIO_TRIGGER, True)

    # встановити тригер після 0,01 мс на НИЗЬКИЙ
    time.sleep(0.00001)
    GPIO.output(GPIO_TRIGGER, False)
# зберегти час початку
    StartTime = time.time()
    StopTime = time.time()
# економія часу прибуття
    while GPIO.input(GPIO_ECHO) == 0:
        StartTime = time.time()
# різниця в часі між стартом і прибуттям
    while GPIO.input(GPIO_ECHO) == 1:
        StopTime = time.time()
# помножити на швидкість звуку (34300 см/с)
    # і ділимо на 2, тому що туди і назад

    TimeElapsed = StopTime - StartTime

    distance = (TimeElapsed * 34300) / 2

    return distance

if __name__ == '__main__':
    try:
        while True:
            dist = distance()
            print ("Measured Distance = %.1f cm" % dist)
            time.sleep(1)
```



```
# Скинути, натиснувши CTRL + C
except KeyboardInterrupt:
    print("Measurement stopped by User")
    GPIO.cleanup()
```

Висновки до розділу 3

Підсумовуючи, аналіз кількох версій Raspberry Pi привів до вибору Raspberry Pi 4+ як найбільш прийняттого варіанту для проекту. Це рішення було прийнято на основі ряду факторів, включаючи продуктивність, енергоспоживання та вартість.

Raspberry Pi 4+ пропонує значні покращення порівняно з попередніми версіями, такі як швидший процесор, збільшена оперативна пам'ять і підтримка двох дисплеїв 4K. Він також має низку варіантів підключення, включаючи гігабітний Ethernet, USB 3.0 і Bluetooth 5.0, що робить його універсальною та гнучкою платформою для проекту.

Крім того, Raspberry Pi 4+ має відносно низьке енергоспоживання, що важливо для проекту, який працюватиме від батареї. Його доступність також робить його привабливим варіантом для проекту, оскільки він дозволяє економічно ефективно масштабування та розгортання.

Загалом вибір Raspberry Pi 4+ забезпечує міцну основу для розробки проекту, а його функції та можливості добре відповідають вимогам проекту.

На завершення, після розгляду кількох мов програмування, Python було обрано як найбільш підходящу мову для розробки пошукового робота. Це рішення ґрунтувалося на ряді факторів, включаючи простоту використання, читабельність і наявність великої кількості бібліотек і фреймворків.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБЧИСЛЕНЬ

4.1 Виконання налаштувань

Для налаштування комплексу треба спочатку встановити з'єднання бездротової мережі Wi-Fi. Для цього потрібно з телефона створити точку доступу та задати конфіг на Raspberry pi.

1. У терміналі Pi введіть таку команду:

```
sudo nano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
```

2. Наприкінці цього файлу додайте такі рядки:

```
network={  
ssid="The SSID of your network (eg. Network name)"  
psk="Your Wifi Password"  
}
```

3. Вийдіть з nano, натиснувши ctrl + x, а потім натисніть у, щоб зберегти зміни.

4. Тепер Raspberry Pi має застосувати зміни у файлі wpa_supplicant та спробувати підключитися до мережі.

```
sudo ifdown wlan0
```

```
sudo ifup wlan0
```

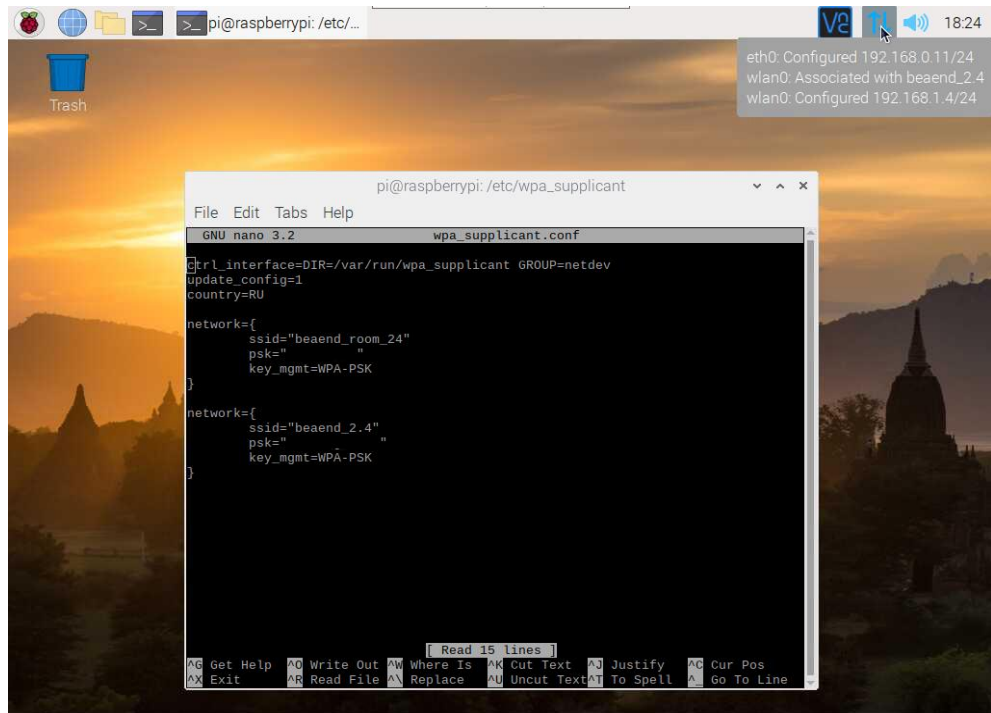


Рисунок 4.1 – конфіг Wi-Fi

5. Ім'я wlan0 використовуйте ifconfig, щоб побачити своє ім'я, перевірити статус підключення Raspberry, використовуючи ifconfig wlan0. У полі inet addr має бути IP-адреса.

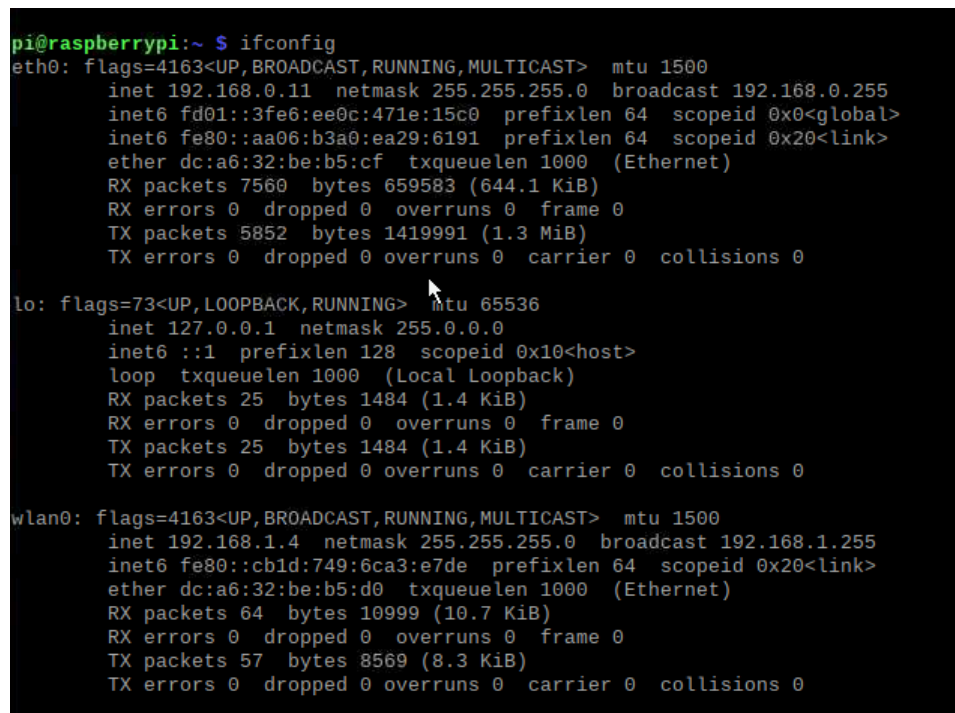


Рисунок 4.2 – пошук IP-адреси за допомогою ifconfig

У gui постійно з'являється пропадає список мереж (можливо це важливо і так бути не повинно, зараз взагалі не виявляє, не дивлячись на те що підключено).

4.2 Розробка керування роботом

Для керуванням роботом розроблено webview застосунок за допомогою MitAppInvenor.

1. Ініціалізація програми: Першим кроком є перевірка, чи активовано або ввімкнено Bluetooth. Якщо ні, відображається повідомлення про помилку з нагадуванням користувачеві відкрити налаштування Android, а потім увімкнути Bluetooth.

Подія Initialize виникає під час запуску програми – і це гарне місце, щоб перевірити, чи ввімкнено Bluetooth на пристрої.

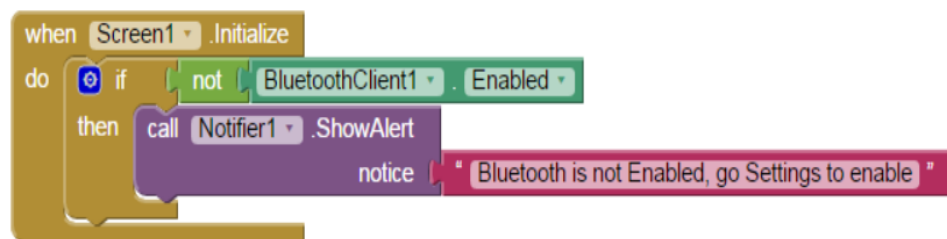


Рисунок 4.3 – Перевірка підключення до робота

Підключення: коли пристрій працює, користувач вибирає назву пристрою зі списку доступних пристроїв Bluetooth. Оскільки список пристроїв має форму списку, ListPicker є чудовим компонентом інтерфейсу для відображення списку пристроїв і обробки вибору. Перш ніж відобразити список, він заповнюється списком пристроїв Bluetooth (AddressesAndNames).

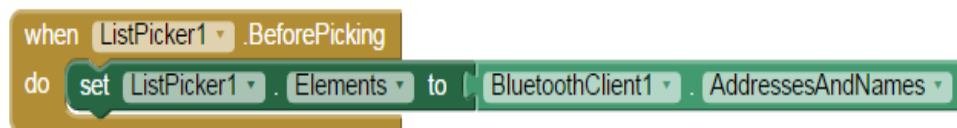


Рисунок 4.4 – Відображення списку пристроїв

Після вибору пристрою за допомогою інтерфейсу користувача ListPicker метод Connect BluetoothClient1 встановлює з'єднання. Метод

повертає значення true, якщо підключення було успішним. Якщо підключення стало успішним, змініть текст Label1 на «Стан: підключено» зеленого кольору.

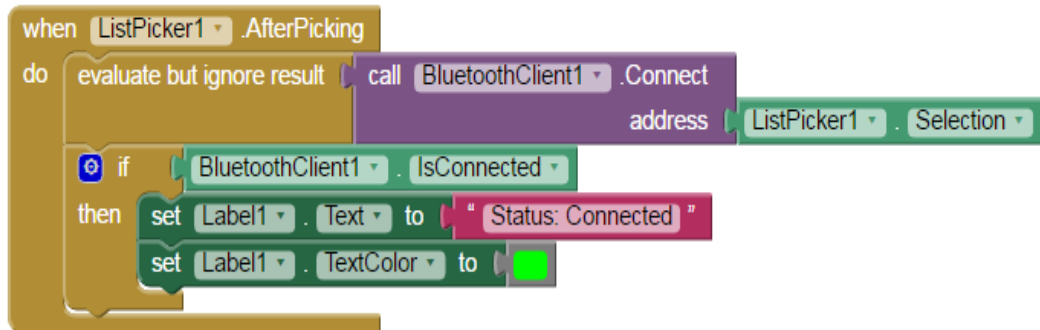


Рисунок 4.5 – Стан підключення

Після натискання кнопки від'єднання BluetoothClient1 від'єднується, а текст Label1 змінюється на Status: Not Connected червоного кольору.

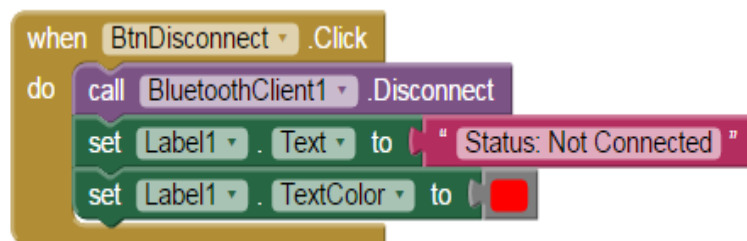


Рисунок 4.6 – Підключення не встановлено

Коли натискається будь-яка з 5 кнопок керування (Вгору, Вниз, Вліво, Вправо та Зупинити), він надсилає унікальний номер розміром 1 байт на пристрій-одержувач

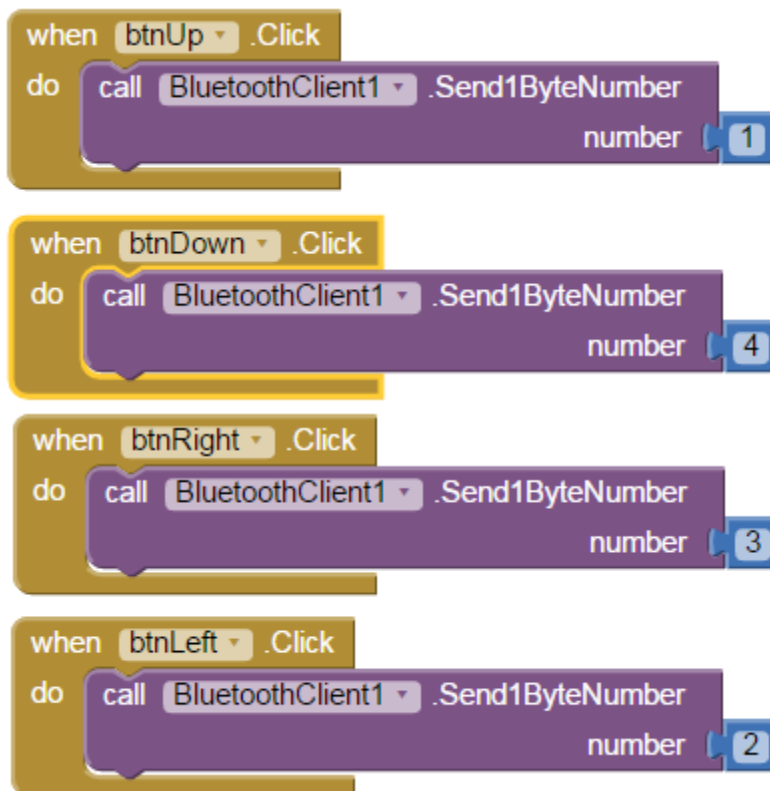


Рисунок 4.7 – Встановлення керування роботом

Коли положення повзунка змінюється, він надсилає поточну позицію на приймач.

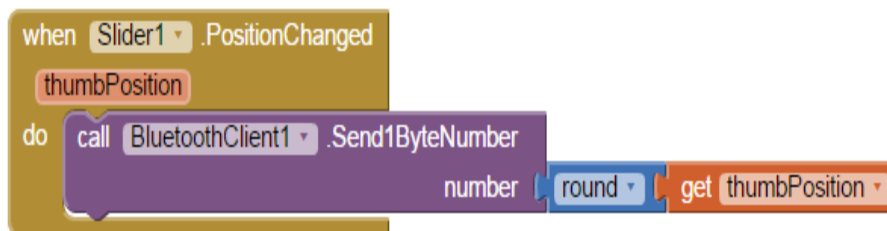


Рисунок 4.8 – Встановлення повзунка для визначення поточної позиції
робота

Настав час створити файл .apk для свого мобільного телефону та перенести його на пристрій.

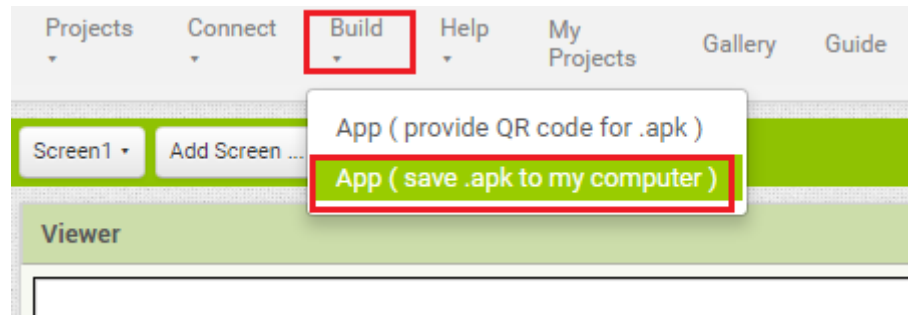


Рисунок 4.9 – Створення арк файлу для телефона

Я використав 5 зображень для п'яти кнопок (4 стрілки та 1 зупинка), завантажив зображення в розділ медіа.

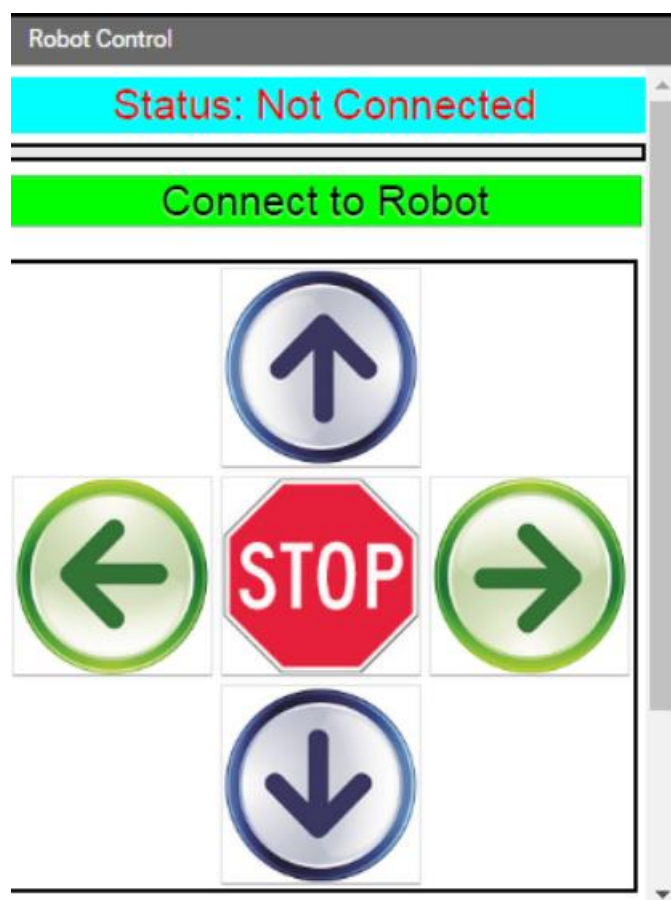


Рисунок 4.10 – Зовнішній вигляд застосунку

Вікно дизайну - це місце, де ви плануєте зовнішній вигляд своєї програми та вказуєте, які функції вона має мати. Можливо вибрати для інтерфейсу користувача такі речі, як кнопки, зображення та текстові поля, а також такі функції, як перетворення тексту в мову, датчики та GPS

4.3 Розробка дизайну робота

За допомогою веб застосунку Fusion 360 було спроектовано макет робота .

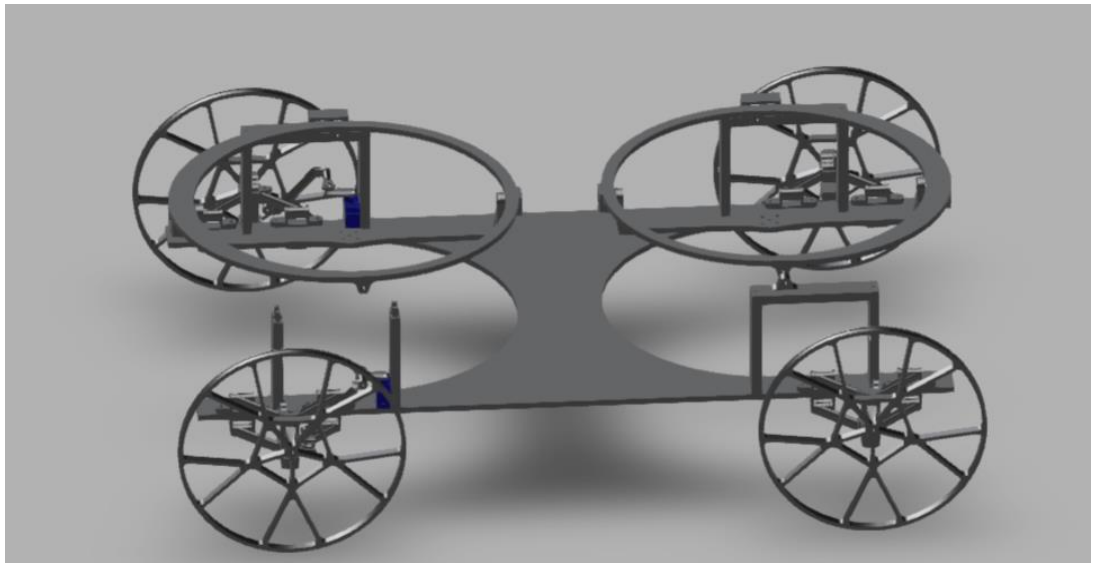


Рисунок 4.11 – Зовнішній вигляд робота

Після проектування було розпочато його компоновку та приведення зовнішнього вигляду.

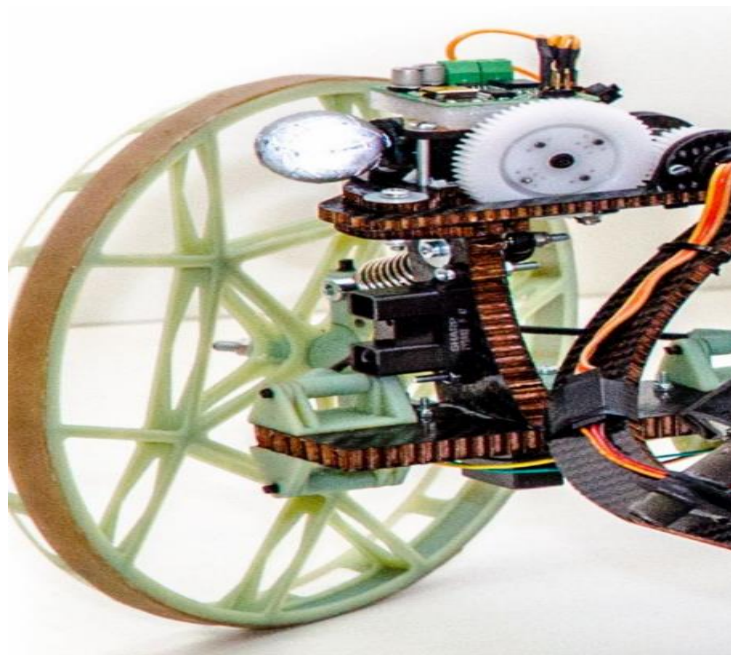


Рисунок 4.12 – Встановлення механізму для повороту колеса.

Для реалізації цього механізму було обрано іншу методику використання повороту колеса. На 3д принтері було надруковано елементи якими було оптимально замінити дуже дорогі компоненти на звичайні.

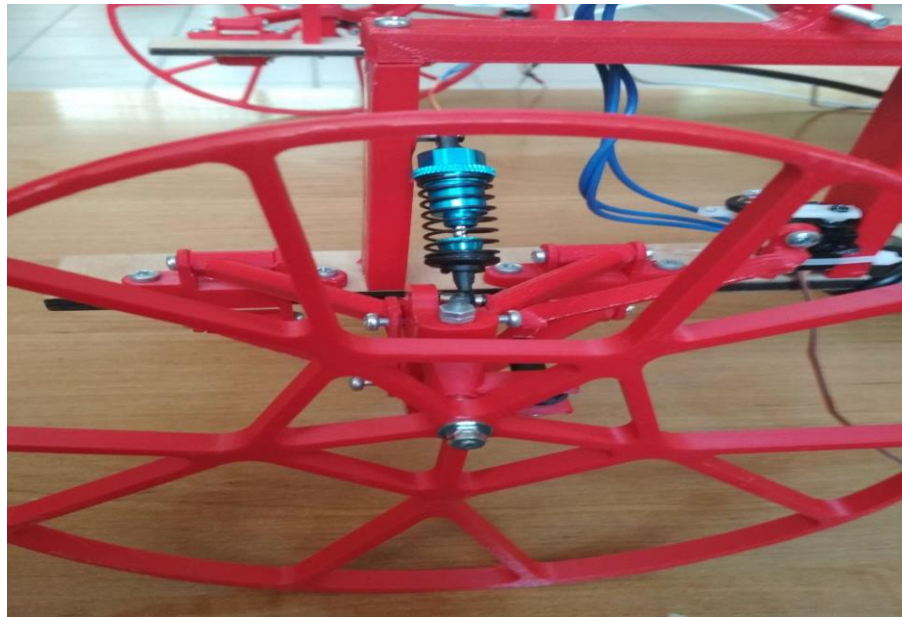


Рисунок 4.13 – Вигляд поворотного кулака

Обрано рішення таким чином що вісь на яку прилягає поворот не зламається та буде повертати в заданому напрямку.

4.4 Випробування роботи програмно-апаратного комплексу

Для початку випробувань треба було встановити зв'язок з Raspberry Pi через бездротову мережу. Тому спочатку треба було встановити putty на пристрій з якого запускався прототип. Через застосунок треба встановити взаємо зв'язок між міні-комп'ютером та почати роботу.

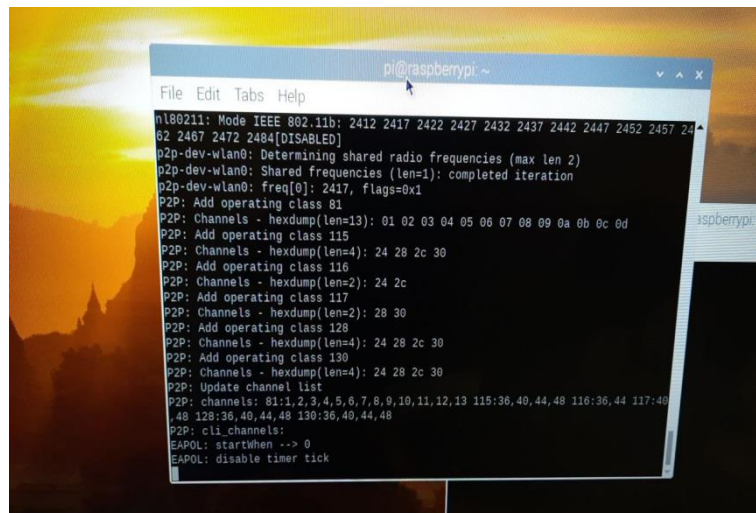


Рисунок 4.15 – Встановлення зв'язку між апаратними платформами

Після налаштувань міні-комп'ютера ,Raspberry Pi було прикріплено до робота та подалася напруга на робота, після калібрування компонентів була

використана програма яку створив для контролю завдяки appinventor. Після пошуку вибухонебезпечних предметів апаратний комплекс зупиняється та сигналізує про небезпеку оператору.

Висновки до розділу 4

Було проведення налаштування бездротової мережі Raspberry Pi та підключення платформи до апаратного комплексу. Був розроблений додаток для дистанційного керування робота що полегшує та забезпечує безперешкодну роботу оператору який керує комплексом.

Далі було розроблено та реалізовано дизайн комплексу який пересувається для виявлення вибухонебезпечних предметів.

Процес моделювання робота передбачає розуміння його фізичних характеристик і обмежень, а також датчиків і систем керування.

Переконавшись, що робот є надійним, точним і безпечним, можна підвищити ефективність виявлення наземних мін і, зрештою, врятувати життя в районах, уражених наземними мінами.

ВИСНОВКИ

В ході дослідження було проаналізовано предметну область, пов'язану з принципами роботи наявних пристроїв детектування металів, переваги та недоліки окремих методів розпізнавання металу. Після проведеного аналізу було розглянуто шляхи автоматизації процесу детектування мін , а саме:

- розглянуто наявні на українському ринку апаратні засоби, за допомогою яких було б можливе створення апаратного комплексу

- проведено аналіз методів розпізнавання металів

На основі результатів проведених досліджень було виявлено, що найдоцільнішим рішенням є створення пристрою на базі програмно-апаратного комплексу Raspberry Pi

Результатом кваліфікаційної роботи є створення апаратно програмного комплексу з наступним функціоналом:

- розроблено програмно-апаратний комплекс детектування металевих об'єктів на базі Raspberry Pi;

- реалізовано синхронізацію даних між апаратним комплексом та вебсервісом;

- реалізовано програмне забезпечення для інтеграції сенсору метало-детекції з Raspberry Pi;

- програмне забезпечення виявлення вибухонебезпечних предметів;

- реалізовано віддалене керування апаратним комплексом

Зараз використовується багато міношукачів, але багатьма з них керує людина. Більшість цих детекторів, якими керує людина, не відповідають вимогам, тобто їхні контролери та датчики неефективні. Через такі недоліки існує високий ризик втрати життя та майна. Такі помилки ставлять під загрозу життя військовослужбовців або мешканців даної території.

Недоліками проєкту є недостатня потужність живлення платформи. Для подальшого розвитку треба замінити батарею, яка має дуже низький

коефіцієнт роботи, з 11 В та 2200 мА на більш потужнішу для збільшення часу роботи апаратно-програмного комплексу.

Щоб подолати ці недоліки, існує потреба в розробці автоматично, жорсткого та ефективного апаратно-програмного комплексу, який зменшить втрати людських життів.

Загалом апаратно-програмний комплекс для виявлення металевих об'єктів на базі Raspberry Pi може бути відносно недорогим і гнучким рішенням для різноманітних додатків, таких як виявлення закопаних об'єктів у ґрунті, пошук втрачених металевих об'єктів або визначення потенційних небезпек у промислових умовах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. M. A. Khan, A. Ashraf, A. M. Khan, and A. Mehmood, "Landmine Detection and Removal: A Review," IEEE Access, vol. 7, pp. 110427-110442, 2019.(дата звернення: 09.02.2023)
2. S. K. Bajpai, S. Gupta, and S. Dubey, "A review on landmine detection techniques," Sadhana, vol. 43, no. 7, pp. 1-22, 2018. .(дата звернення: 09.02.2023)
3. Агєєв А. А., Савінов В. Ю. Роботизований комплекс детектування металевих об'єктів на базі Raspberry Pi. Могилянські читання – 2022 : тези доп. XXV Всеукр. наук.-метод. конф. Миколаїв, 7–11 листоп. 2022 р. Миколаїв : Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили, 2022. С. 121–123.
4. T. E. O. Eladawy, H. M. Elhoseny, and A. E. Hassanien, "Intelligent Techniques for Landmine Detection: A Review," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 35, no. 4, pp. 4237-4253, 2018. .(дата звернення: 09.02.2023)
5. D. D. D. Raju, P. S. S. Reddy, and M. P. Kumar, "Landmine Detection Using Ground Penetrating Radar: A Review," International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, vol. 7, no. 2, pp. 400-406, 2018. .(дата звернення: 12.02.2023)
6. D. Zhang, "Design and Implementation of a Portable Metal Detector Based on Raspberry Pi," Journal of Physics: Conference Series, vol. 1179, no. 1, p. 012033, 2019. .(дата звернення: 12.02.2023)
7. A. I. Muhammad and M. A. I. Yusuf, "Development of a Metal Detector using Raspberry Pi," Journal of Physics: Conference Series, vol. 1217, no. 2, p. 022049, 2019. .(дата звернення: 12.02.2023)
8. M. A. Wachid, S. S. Widiastuti, and A. T. Nugraha, "Implementation of a Metal Detector System Using Raspberry Pi for Detecting Metals in Underground Mining Activities," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 10, no. 8, pp. 274-280, 2019. .(дата звернення: 12.02.2023)

9. R. Dhiman and S. K. Aggarwal, "Design and development of a low-cost metal detector for non-destructive evaluation," *Journal of Nondestructive Evaluation*, vol. 37, no. 2, pp. 1-9, 2018. (дата звернення: 12.02.2023)
10. A. Kumar and R. Sharma, "Design and analysis of metal detector using low power components," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 377, no. 1, p. 012058, 2018. (дата звернення: 12.02.2023)
11. A. V. Yusupov, A. S. Yudin, A. V. Klimenov, and M. A. Ignatev, "Design of a high-sensitivity metal detector based on the eddy-current method," *Journal of Instrument Engineering*, vol. 61, no. 9, pp. 803-808, 2018. (дата звернення: 15.02.2023)
12. H. K. Shah, K. N. Chakraborty, and S. Sengupta, "Design of metal detector using pulse induction principle," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 379, no. 1, p. 012099, 2018. (дата звернення: 15.02.2023)
13. A. Devaraj and G. Kousalya, "Landmine Detection and Removal Techniques – A Review," *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 118, no. 24, pp. 291-299, 2018. (дата звернення: 15.02.2023)
14. Пат. на корисну модель US. Pat. № US20080284425A1 Metal Detection System and Method / Frederick Dean Fluck, заявл. 08.03.2006, опубл. 20.11.2008
15. Пат. на корисну модель US. Pat. № US9715030B1 Object detection and removal apparatus / Michael Zullo, заявл. 07.03.2016, опубл. 25.07.2017
16. Пат. на корисну модель US. Pat. № System and method for detecting bats and their impact on wind facilities / Michael J. Adler, Christian M. Newman, заявл. 17.06.2009, опубл. 13.02.2013
17. GPR-Based Landmine Detection and Identification Using Multiple Features [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.hindawi.com/journals/ijap/2012/826404/>

18. Ultrasonic sensors – the most versatile object detection [Електронний ресурс].
– Режим доступу: <https://www.baumer.com/us/en/product-overview/object-detection/ultrasonic-sensors/c/281>
19. Raspberry Pi 4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>
20. Me Ultrasonic Sensor [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://docs.makeblock.com/diy-platform/en/electronic-modules/sensors/me-ultrasonic-sensor.html>
21. GNB 4500mAh 4S 70C LiHV Battery (XT90) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.hobbyrc.co.uk/gnb-4500mah-4s-70c-lihv-battery-xt90>
22. MG995 servo [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.makeblock.com/project/mg995-standard-servo>
23. Проектування макетних плат Fritzing [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://fritzing.org/>
24. Платформа для розробки для Python, IDE Spyder [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.spyder-ide.org/>
25. Python is a programming language [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.python.org/>
26. Бібліотека контролю серво-двигунами gpiozero [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://gpiozero.readthedocs.io/en/stable/>
27. Бібліотека контролю ультразвуковим датчиком та металошукачем RPi.GPIO [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://rpi.org/project/RPi.GPIO/>

Додаток А

Код програми

```
time series
    fig.canvas.restore_region(ax1_bgnd) # відновити фон 1 (для
швидкості)
    fig.canvas.restore_region(ax2_bgnd) # відновити фон 2
    line1.set_ydata(dist_array) # оновити дані каналу
    bar1.set_height(strength) # оновити потужність сигналу
    if strength<100.0 or strength>30000.0:
        bar1.set_color(plt.cm.Set1(0)) # якщо недійсна міцність,
зробити штрих червоним
    else:
        bar1.set_color(plt.cm.Set1(2))
    axs[0].draw_artist(line1) # намалювати лінію
    axs[1].draw_artist(bar1) # смуга потужності сигналу малювання
    fig.canvas.blit(axs[0].bbox) # blitting (for speed)
    fig.canvas.blit(axs[1].bbox) # blitting
    fig.canvas.flush_events() ## необхідний для блітінгу
    return line1,bar1
#
#####
# Real-Time Plotter Loop
#####
#
plot_pts = 100 # балів за тест швидкості вибірки
fig,axs,ax1_bgnd,ax2_bgnd,line1,bar1 = plotter() # інстанція фігури та
графіку
dist_array = [] # для оновлення значень
print('Starting Ranging...')
while True:
    distance,strength,temperature = read_tfluna_data() # значення
зчитування
    dist_array.append(distance) # додати до масиву
```

```
if len(dist_array)>plot_pts:
    dist_array = dist_array[1:] # опустити першу точку
(підтримувати розмір масиву)
    line1,bar1 = plot_updater() # update plot
ser.close() # close serial port
```

Додаток Б Алгоритм роботи програми

