

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Удосконалення методу виявлення вибухонебезпечних об'єктів

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КТРСм-22-2
Савін В.А.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології

освітньої програми Комп'ютеризовані та
робототехнічні системи

(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Омаров Ш.А.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2023 р.

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

«16» січня 2024 р.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Sabin V.A.', written in a cursive style.

Савін В.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

« » 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Савіну Владиславу Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення методу виявлення вибухонебезпечних об'єктів

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

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 23.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Характеристики приладу в діапазоні: – заявлена глибина виявлення: до 6 см,
– індикація виявлення: світлова та звукова, – напруга живлення: від 3 В до 5 В;
– розмір плати: до 10 см × 10 см.

3.2 Поєднання сенсорів з врахуванням чутливої матриці відеокамери та індуктивної котушки металошукача.

3.3 Використання комбінованого методу виявлення ВНП.

3.4 Використання передової мережа розпізнавання об'єктів YOLO

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Вступ.

4.2 Аналіз предметної області.

4.3 Аналіз методів виявлення та знешкодження ВНП.

4.4 Розробка методу виявлення вибухонебезпечних об'єктів.

4.5 Опис програми розпізнавання вибухонебезпечних предметів та перевірка.

4.6 Вказівки щодо заходів з безпечної експлуатації .

4.7 Висновки.

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

6. Консультанти розділів роботи

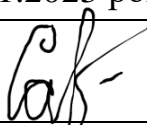
Найменування розділу	Керівник (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Провести аналіз літератури за темою роботи	06.11.2023	Виконано
2	Провести аналіз принципів виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів	13.11.2023	Виконано
3	Провести проектування автоматизованої системи виявлення вибухонебезпечних предметів	20.11.2023	Виконано
4	Розробити алгоритм пошуку з одночасним використанням металодетектора та системи технічного зору	11.12.2023	Виконано
5	Провести експериментальні дослідження	18.12.2023	Виконано
6	Провести розрахунки, пов'язані з охороною праці	25.12.2023	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	29.12.2023	Виконано
8	Подання роботи до ЕК	23.01.2024	Виконано

Дата видачі завдання 03.11.2023 року

Студент


(підпис)

Савін В.А.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

проф. Омаров Ш.А.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 82 с., 2 табл., 39 рис., 2 дод., 29 джерел.

ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ПРЕДМЕТИ, ВИЯВЛЕННЯ,
ІДЕНТИФІКАЦІЯ, РОБОТ, СТЗ, УПРАВЛІННЯ.

Мета роботи – вдосконалення методу виявлення вибухонебезпечних предметів для розширення номенклатури знайдених пристроїв, включаючи пластикові міни.

Об'єкт дослідження – робототехнічні комплекси, які використовуються для виявлення вибухонебезпечних предметів.

Предмет дослідження – виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних предметів з використанням металодетектора та системи технічного зору.

Методи дослідження – математичний аналіз, математичне очікування, середньоквадратичне відхилення, оцінка розкиду похибки.

У роботі проведено:

– аналіз принципів виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів, класифікації роботизованих засобів для пошуку та знешкодження вибухонебезпечних предметів;

– проектування автоматизованої системи виявлення вибухонебезпечних предметів з використанням датчиків різної фізичної дії;

– розробку алгоритму пошуку вибухонебезпечних предметів з одночасним використанням металодетектора та системи технічного зору;

– написання програми для контролеру системи управління рухом мобільного пристрою;

– дослідження для підтвердження правильності теоретичних рішень.

Результати кваліфікаційної роботи апробовані на збірниках наукових статей [1-2].

ABSTRACT

Explanatory note: 82 p., 2 tabl., 39 fig., 2 app., 29 sources.

EXPLOSIVE OBJECTS, DETECTION, IDENTIFICATION, ROBOTS, STZ, CONTROL.

The purpose of the work is to improve the method of detecting explosive objects to expand the range of devices found, including plastic mines.

The object of research is robotic complexes used to detect explosive objects.

The subject of the research is the detection and identification of explosive objects using a metal detector and a technical vision system.

Research methods – mathematical analysis, mathematical expectation, root mean square deviation, estimate of error spread.

The work carried out:

- analysis of the principles of detection and disposal of explosive objects, classification of robotic means for the search and disposal of explosive objects;
- designing an automated system for detecting explosive objects using sensors of various physical effects;
- development of an algorithm for searching for explosive objects with the simultaneous use of a metal detector and a technical vision system;
- writing a program for the controller of the motion control system of a mobile device;
- research to confirm the correctness of theoretical solutions.

The results of the qualification work were tested on collections of scientific articles [1-2].

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз літератури за темою дослідження.....	12
1.1 Аналіз методів виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів.....	12
1.1.1 Загальні принципи виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів	12
1.1.2 Визначення та класифікація роботизованих засобів для пошуку та знешкодження вибухонебезпечних предметів.....	13
1.2 Аналіз роботизованих засобів для виявлення вибухонебезпечних предметів.....	14
1.2.1 Роботизований засіб TEODOR	14
1.2.2 Vanguard MK2 ROV	15
1.2.3 МК-5 EOD Robot	16
1.2.4 Wheelbarrow Super-M.....	17
1.2.5 Робот Robhaz-DT.....	18
1.2.6 Робот BISON.....	23
1.3 Аналіз сенсорної системи роботів для розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів	23
1.3.1 Використання відеокамер.....	26
1.3.2 Лазерна система.....	29
1.3.3. Радарна система.....	29
1.3.4. Сонарна система.....	30
1.4 Глобальна система позиціонування	30
1.5 Методи виявлення наземних мін	32
1.6 Висновки до першого розділу.....	36

2	Аналіз методів визначення металевих предметів за допомогою металошукача.....	37
2.1	Градومتрія та електромагнітна індукція	37
2.2	3D регульоване магнітне поле	42
2.3	Висновки до другого розділу	44
3	Розроблення комбінованого методу виявлення вибухонебезпечних об'єктів.....	45
3.1	Опис конструкцій міношукачів військового типу	45
3.2	Опис комбінованого методу виявлення ВВП	51
3.3	Розробка алгоритму роботи програми	56
3.4	Висновки до третього розділу.....	59
4	Експериментальні дослідження.....	60
4.1	Опис експериментального макету	60
4.2	Опис програми розпізнавання вибухонебезпечних предметів.....	63
4.3	Перевірка запропонованого методу	66
4.4	Охорона праці.....	73
4.5	Висновки до четвертого розділу.....	75
	Висновки	76
	Перелік джерел посилання	78
	Додаток А Апробація результатів наукових досліджень.....	82
	Додаток Б Демонстраційний графічний матеріал.....	105

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
- ВНП – вибухонебезпечні предмети;
- ДСТУ – Державний стандарт України;
- ІоТ – Інтернет Речей;
- РК – рідко-кристалічний;
- ЕІТ – електроімпедансна томографія;
- ЕОД – знешкодження вибухонебезпечних боєприпасів;
- ЕВД – виявлення парів вибухових речовин;
- GPS – Глобальна система позиціонування;
- НMF – горизонтальне магнітне поле;
- PI – імпульсна індукція;
- RTK – GPS у реальному часі;
- SNR – відношення сигнал/шум;
- VLF – наднизькочастотний діапазон.

ВСТУП

Безпека людини має першочергове значення в сучасному світі, насиченому зброєю, і тому потреба врахувати безпеку армійського персоналу та людей, які живуть у районах, небезпечних для війни, стає дуже важливою.

Наземна міна – це, по суті, вибуховий пристрій, захований ворогом під землею, і вибухає, коли будь-яка людина або транспортний засіб переступають або проїжджають через нього. Детонатором вибуху міни є тиск, створюваний особовим складом або автотранспортом на ґрунт, під яким закладена міна. Пошкодження, спричинені вибухом наземної міни, є смертельними, тому виявлення протипіхотних мін стає необхідним до того, як армійський персонал або автомобіль випадково переступить через них. Основним завданням є виявлення цих протипіхотних мін без вибуху та знешкодження їх після виявлення. Але будь-яке ручне втручання людини завжди небезпечно.

Роботи використовуються для різних застосувань у промисловій сфері, він виконує різноманітну діяльність і стає все більш досконалим. Ось чому сьогодні для виявлення мін використовуються роботизовані транспортні засоби та безпілотні роботи.

Роботи завжди надійні з точки зору досконалості виявлення, і під час цього жодне людське життя не загрожує. Автоматичний робот, здатний виявляти закопані наземні міни та знімати їх з місця розташування, водночас дозволяючи оператору керувати роботом без проводів на відстані.

Виявлення закопаної міни здійснюється за допомогою металошукачів, оскільки більшість наземних мін містять металеві компоненти. Робот рухатиметься заздалегідь прокладеною траєкторією. Автоматизована система дозволяє оператору залишатися на безпечній відстані, дозволяючи йому керувати роботом без проводів або дистанційно.

Метою цієї роботи є вдосконалення методу виявлення вибухонебезпечних предметів для розширення номенклатури знайдених пристроїв, включаючи пластикові міни.

Об'єктом дослідження в даній роботі є робототехнічні комплекси, які використовуються для виявлення вибухонебезпечних предметів.

Предмет дослідження – виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних предметів з використанням металодетектора та системи технічного зору.

Методи дослідження – математичний аналіз, математичне очікування, середньоквадратичне відхилення, оцінка розкиду похибки.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити принципи виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів, виконати класифікацію роботизованих засобів для пошуку та знешкодження вибухонебезпечних предметів;

- виконати проектування автоматизованої системи виявлення вибухонебезпечних предметів з використанням датчиків різної фізичної дії;

- виконати розробку алгоритму пошуку вибухонебезпечних предметів з одночасним використанням металодетектора та системи технічного зору;

- розробити програму для контролеру системи управління рухом мобільного пристрою;

- виконати експериментальні дослідження для підтвердження правильності теоретичних рішень;

- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [3], а також з методичними вказівками и з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» [4], та згідно положень [5-9].

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз методів виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів

1.1.1 Загальні принципи виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів

Термін «Знешкодження вибухонебезпечних боєприпасів (EOD)» можна визначити як виявлення, ідентифікацію, оцінку на місці, переведення в безпечний стан та остаточне знешкодження вибухових боєприпасів, що не вибухнули. Даний термін також може включати вибухонебезпечний боєприпас, який став небезпечним через пошкодження або псування [10].

Існує багато методів знешкодження бомби чи вибухового предмета, вибір якого залежить від кількох змінних. Найбільшою змінною є близькість вибухівки чи пристрою до людей чи критичних об'єктів. З предметами у відкритих полях обробляються значно інакше, ніж у густонаселених районах.

Роль вибухотехніка полягає в тому, щоб виконати своє завдання максимально віддалено. Насправді покластися на бомбу можна тільки в надзвичайно небезпечній для життя ситуації, коли безпеку для людей і критичних структур неможливо зупинити.

Після того, як технік точно визначить, що це за вибухівка або пристрій і в якому стані вони наразі перебувають, він розроблює процедуру, щоб зробити їх безпечними. Це може включати такі прості речі, як заміна елементів безпеки, або такі складні, як використання потужних вибухових пристроїв для зрізання, заклинювання, зв'язування або видалення частин стрільби предметів.

1.1.2 Визначення та класифікація роботизованих засобів для пошуку та знешкодження вибухонебезпечних предметів

Робот EOD – це мобільний робот, який використовується замість людини в операціях OED з пошуку, виявлення та обробки вибухових матеріалів. Роботизована система складається з мобільної платформи, оснащеної рухливою рукою, захватом і сенсорною системою, яка забезпечує можливості дистанційного керування. Незважаючи на невеликі відмінності з метою підвищення універсальності, поточні зразки роботів EOD схожі за принципами роботи [11].

Перелік сфер застосування робота EOD можна навести як:

- виявлення вибухових речовин та маніпуляція ними;
- робота з біологічними, біохімічними та іншими небезпечними матеріалами;
- маніпуляції з підозрілими пакетами;
- нейтралізація та знешкодження боєприпасів, що не вибухнули;
- виявлення та знешкодження мін;
- збір візуальної інформації в небезпечному середовищі.

Оскільки робот EOD не є новою концепцією, багато різних типів конструкцій EOD вже використовуються у військових операціях, а також виготовлено багато прототипів. Їх потужності та можливості відрізняються, однак можна класифікувати поточні системи як роботів малого розміру та роботів більшого розміру [11].

Роботи невеликого розміру в основному використовуються для огляду та збору візуальної інформації. Їх вантажопідйомність невелика, менше 10 кг. З іншого боку, роботи другого класу більші та відносно сильніші. Вони також мають набагато вищу вантажопідйомність. Більшість мобільних платформ використовують гусениці для кращого зчеплення, а деякі типи роботів надають комплекти для перетворення гусениць на колеса. На додаток до переваги більшого зчеплення, гусениці забезпечують високу маневреність і легкість керування.

1.2 Аналіз роботизованих засобів для виявлення вибухонебезпечних предметів

1.2.1 Роботизований засіб TEODOR

Гусенична машина TEODOR2 оснащена 2 акумуляторними батареями по 12 вольт по 85 А/год кожна, 6-вісним силовим маніпулятором з телескопічним нижнім важелем, який має телескопічну зону 400 мм і захват (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Роботизований засіб TEODOR [12]

Візуальна система складається з поворотно-нахильної головки, яку можна окремо вибрати як кріплення для основної камери, і ще двох додаткових камер для детального перегляду.

Управління роботом здійснюється з пульта керування шляхом активації кожного суглоба окремо з панелі керування та керування рухом відповідно до візуальної інформації, що відображається на моніторі.

1.2.2 Vanguard MK2 ROV

Vanguard MK2 має шарнірний важіль і низький профіль, щоб досягти вузьких місць, наприклад під автомобілями (рис. 1.2).

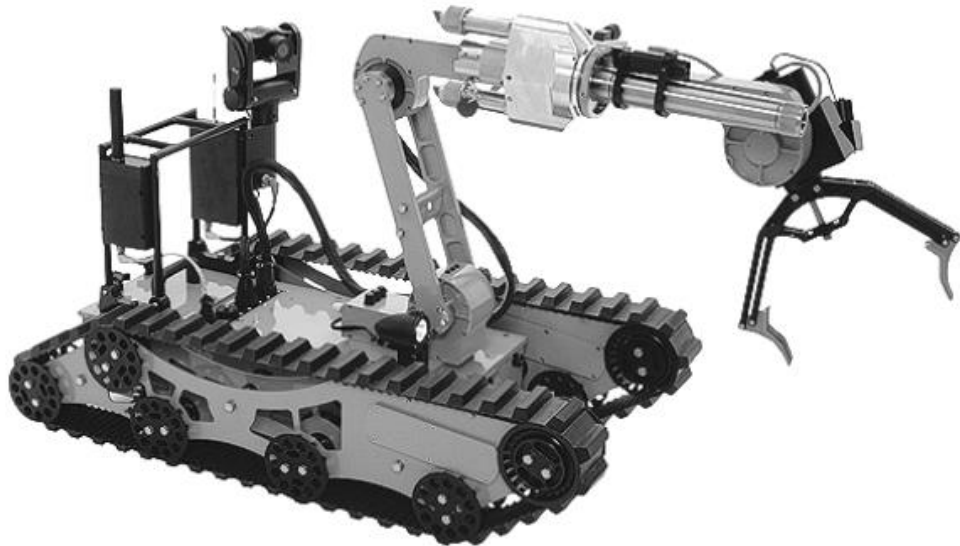


Рисунок 1.2 – Роботизований засіб Vanguard MK2 EOD Robot [13]

Пересування забезпечується гусеницями з незалежним приводом. Рука маніпулятора має 3 ступені свободи, за винятком паралельного захвату з 2 щелепами, який має 3 ступені свободи.

Система маніпулятора має вантажопідйомність 16 кг у відведеному положенні та 7 кг у повністю виведеному положенні руки. Враховуючи невелику вагу та розміри, які дозволяють роботу помістити в багажник автомобіля, Vanguard MK2 EOD Robot можна віднести до малорозмірних роботів. Робот оснащений камерою з поворотом, нахилом і масштабуванням на 360° та дисплеєм ноутбука для дистанційного керування. Рукою можна керувати в суглобовій щілині торканням клавіатури або джойстиком. Вузька ширина порівняно з довжиною тіла та руки обмежує здатність до керування, коли рука працює вбік.

1.2.3 МК-5 EOD Robot

МК-5 – це потужний EOD робот, який пропонується з двома руками: одна для звичайних операцій, а інша для високої точності та спритності операцій (рис. 1.3).

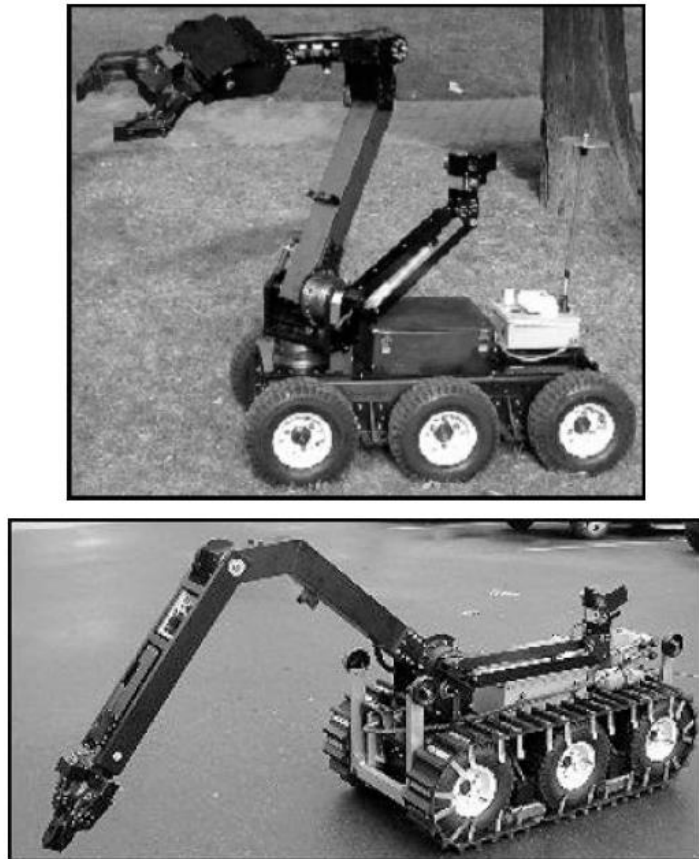


Рисунок 1.3 – Робот МК-5 EOD Robot від ESIT [14]

Залежно від застосування та вибору маніпулятора, кількість шарнірів збільшується до 7. Робот приводиться в рух колесами або модульними гусеницями, які кріпляться поверх наявних коліс. Робот має паралельний 2-щелепний захват для роботи з вибухівкою та підозрілими пакетами. В конструкції робота застосовуються різні кінцеві механізми, але система швидкої зміни захватів недоступна, тому робот повинен повернути маніпулятор в початкове положення, щоб змінити захват, коли для цього настає потреба.

1.2.4 Wheelbarrow Super-M

За принципом конструкції Wheelbarrow Robot дуже схожий на роботів TEODOR і МК-5, за винятком унікального шарнірного гусеничного механізму (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Робот Wheelbarrow Super-M від Remotec Inc [15]

Цей механізм змінює положення коліс, що забезпечує кращі ходові якості на пересіченій місцевості. Двосторонній зв'язок і керування роботом або камерою можна здійснити за допомогою дротового кабелю, волоконно-оптичних або радіочастотних каналів.

Робот Wheelbarrow оснащений кількома телевізійними камерами для дистанційного спостереження, як за навколишнім середовищем, так і за деталями захоплення. Залежно від типу кінцевого ефектора плече маніпулятора має 5-7 ступенів свободи і приводиться в дію як лінійними, так і обертальними двигунами.

1.2.5 Робот Robhaz-DT2

Робот Robhaz DT2 є єдиним некомерційним роботом серед зазначених вище роботів EOD. Він представляє подвійні гусениці з кожного боку, які можуть обертатися незалежно одна від одної (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Робот Robhaz-DT2 [16]

Пасивний поворотний шарнір з'єднує передню частину корпусу із задньою, забезпечуючи хорошу пристосованість до умов пересіченої місцевості. Крім того, робот оснащений маніпулятором із 6 ступенями свободи, яким керує тактильний джойстик. Тактильний пристрій із 6 ступенями свободи значно полегшує контроль маніпуляторів, але не може подолати проблему контролю простору суглобів.

Оскільки робот Robhaz DT2 не є комерційним проектом, можливості та продуктивність EOD нижчі, ніж у комерційних роботів, заявлених раніше. Проте блок тактильного керування є багатообіцяючим методом з точки зору швидкості та точності порівняно з традиційними механізмами маніпулятора з керуванням суглобової щілини.

На рисунку 1.6 показана структурна схема системи керування роботом Robhaz-DT2.

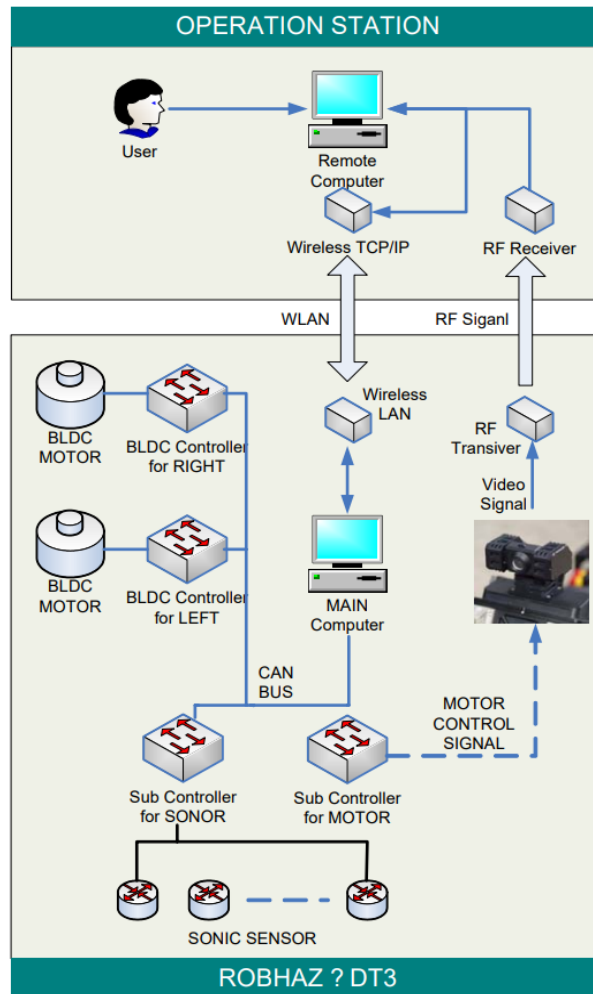


Рисунок 1.6 – Структурна схема системи керування роботом Robhaz-DT2 [16]

Метод ICP використовується для створення карти. Використовуючи цей алгоритм, можливо побудувати карту за короткий обчислювальний час.

В процесі роботи використовується 2D-лазерний датчик фірми SICK. Завдяки даному датчику можна отримати інформацію про навколишнє середовище, а також визначити положення робота та дані карти.

Гусеничний механізм, який може забезпечити пасивну адаптивність на основі унікального ланкового механізму, використовується для ROBHAZ-DT3 для підвищення його мобільності на нерівній місцевості. На рисунку 1.7 показана конструкція двоколісного механізму ROBHAZ-DT3.

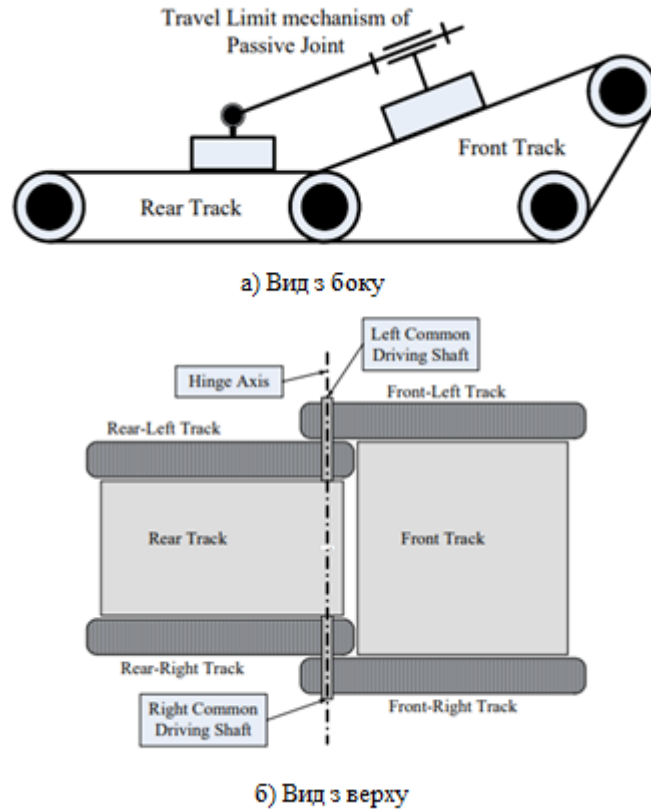


Рисунок 1.7 – Конструкція двоколійного механізму ROVHAZ-DT3

Механізм подвійної гусениці складається з двох частин, що приводяться в рух одним двигуном для кожної сторони. ROVHAZ-DT3 складається з трьох частин: переднього корпусу з гусеницею, заднього корпусу з гусеницею та механізму обмеження ходу пасивного шарніра. Передня ліва і задня ліва гусениці (або передня права і задня ліва гусениці) на рисунку 1.7 мають загальний ведучий вал, і відповідний двигун для приведення його в дію. Таким чином, дві гусениці з кожного боку обертаються в тому ж напрямку, що й ведучий вал, як показано на рисунку 1.7 (а).

Пристосованість до нерівностей місцевості досягається шляхом приєднання передньої та задньої частини корпусу через шарнірне з'єднання без будь-якого приводу. Вісь шарніра позначена на рисунку 1.7 (б) збігається

з віссю приводного валу. Рисунок 1.8 ілюструє пасивний відносний рух між переднім і заднім частинами робота.

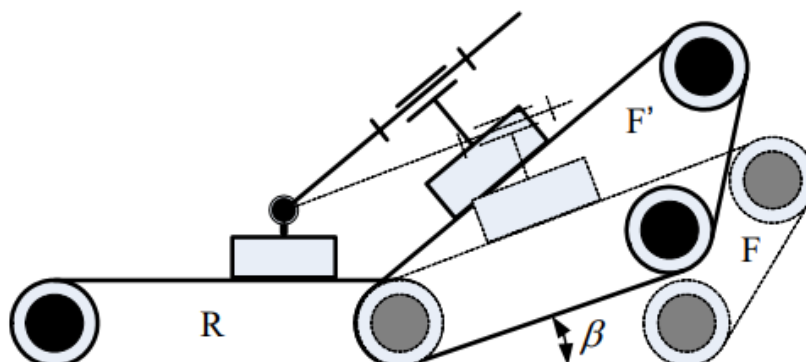


Рисунок 1.8 – Відносний рух між переднім і заднім частинами робота

Коли передня доріжка обертається під кутом β від початкового стану F до довільного кінцевого стану F' .

Зміна конфігурації призведе до зміни центру ваги або ZMP (Zero Moment Position – положення нульового моменту), що впливає на стійкість робота на пересіченій місцевості. Відомо, що одноколійні механізми мають обмеження на пересіченій місцевості через фіксований центр ваги в локальній рамі, що значно впливає на запас стійкості (мінімальна довжина між центром ваги та краями опорної зони). Запас стійкості в легкості одноколійного робота визначається лише іншим фактором, таким як нахил рельєфу. Тому для подолання цього обмеження розроблено ланцюговий механізм із кількома корпусами гусениць. За допомогою двоколійного механізму центр маси змінюється, а опорна площа також змінюється внаслідок пасивного руху під час руху по рельєфу.

Перевага двоколійного механізму показана на прикладі підйому по сходах, як показано (рис. 1.9).

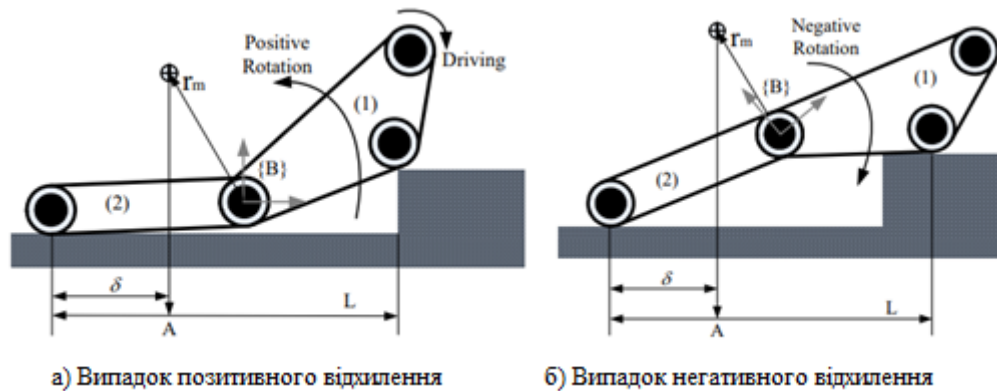


Рисунок 1.9 – Перевага двоколісного механізму на прикладі підйому по сходах

Сходи є одним із прикладів рельєфів для перевірки мобільності транспортного засобу, і він широко використовується в багатьох дослідженнях, пов'язаних із розробкою транспортного роботу для таких нерегулярних рельєф місцевості. Для простоти приклад намальовано у двовимірній вертикальній площині. $\{B\}$ – система координат, фіксована тілом, а \mathbf{r}_m – вектор положення центру ваги. L – це лінія в проекції, що представляє опорну площу, як зображено на рисунку 1.9 (а). Точка A – центр ваги, спроектований на опорну площу, а δ – запас стійкості.

Під час підйому по сходах як позитивна, так і негативна дуга обертання спостерігаються на рисунку 1.9. У ситуації на рисунку 1.9 (б), наприклад, опорна площа збільшується порівняно з площею на рисунку 1.9 (а). Загальна проекція L була б коротшою задля одноколісності. Це означає, що двоколісна конструкція має перевагу в низькому центрі ваги та великому запасі стійкості.

Потрібно зауважити, що для генерації обертання не використовується виконавчий механізм, а обертання здійснюється лише силою тяжіння на даній формі рельєфу. Таким чином, пасивність може покращити адаптацію до нерівної місцевості, а рух (тобто позитивне та негативне відхилення) відбувається послідовно під час підйому по сходах.

1.2.6 Робот BISON

Робот BISON – це повнопривідний робот для перевірки та знешкодження вибухонебезпечних предметів (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Робот BISON™ від ABP Precision (Poole) Ltd

Робот має електричний привід за допомогою двигуна постійного струму, який приводить в дію колеса з кожного боку пристрою. Живлення двигунів здійснюється від пари бортових батарей. Плечовий суглоб обертається за допомогою механізму, що включає лінійні приводи, тому вантажопідйомність надзвичайно висока.

Робот BISON має відносно просту конструкцію порівняно з іншими важкими роботами EOD, і цей факт забезпечує міцність і надійність як перевагу. Однак через простоту конструкції маніпулятора можливості BISON EOD щодо поводження з вибухівкою та маніпулювання ними менші порівняно з конкурентами, які мають маніпулятори з вищим ступенем свободи.

Маніпулятором BISON керують у спільному просторі за допомогою пульта дистанційного керування, включаючи РК-дисплей. Крім того, зв'язок з базою та дистанційним керуванням здійснюється по кабелю.

1.1.8 Порівняння роботів для розмінування та їх загальні характеристики

Розглянуті пристрої представлені на ринку у вигляді різних конструкцій маніпуляторів та кінцевих ефекторів (захватів), які мають в середньому 6-7 ступенів свободи. Враховуючи спектр завдань, що вирішуються в процесі експлуатації, одного типу конструкції кінцевого ефектора видається недостатнім, тому виробником представлено два або більше альтернативних захватів. Однак, щоб змінити кінцевий ефектор, робот повертається на базу і втрачає час.

Живлення для приводу двигунів і зв'язку з базою зазвичай забезпечується кабелем. Деякі бренди додатково пропонують радіочастотні елементи керування та батареї для підвищення мобільності.

Якщо врахувати робочі умови, кабель може застрягти або пошкодитися, спричинивши втрату живлення або зв'язку.

Звичайні системи застосовуються принаймні до двох або більше камер для основного та детального перегляду. Зазвичай одну камеру розміщують у задній частині транспортного засобу для ширшого кута огляду та включають масштабування, а іншу розміщують ближче до частини захоплення для детального перегляду матеріалу та виконання завдання. В деяких пристроях, обидві камери мають опцію нічного бачення та інфрачервоного випромінювання.

Однак найбільшою проблемою сучасних систем є механізм керування положенням маніпулятора і кінцевого ефектора. Роботи для розмінування на ринку використовують контроль положення суглобів, щоб розташувати кінцевий ефектор, що ускладнює поводження з рукою та втрачає час і універсальність.

Оператор контролює кут кожного з'єднання окремо, тому для досягнення точного положення та орієнтації кінцевого ефектора потрібна низка регулювань. Для спеціальних завдань, де точність дуже важлива, цей метод контролю недостатній і занадто повільний для виконання поставленого

Продовження таблиці 1.1

Робот	tEODor	Vanguard MK2	ESIT MK5	Wheelbarrow Super M	Robhaz DT2	BISON
Параметр						
Швидка заміна захвату	Немає	Немає	Немає	Немає	Немає	Немає
Механізм руху	Гусениці	Гусениці	Колеса	Гусениці	Гусениці	Гусениці та колеса
Засоби візуалізації	2 камери	2 камери	2 камери	4 камери	Немає	3 камери
Живлення	Батарея	Кабель або батарея	Батарея	Батарея	Немає інформації	Батарея
Дистанція керування	200 м	360 м	Немає інформації	Немає інформації	Немає інформації	1 км
Нічне бачення	Є	Опція	Немає	Є	Немає інформації	Немає

1.3 Аналіз сенсорної системи роботів для розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів

1.3.1 Використання відеокамер

Система зору мобільного робота складається з відеокамери та комп'ютерного блоку для обробки отриманих зображень. Поки ця система визначає положення робота, вона також може вимірювати положення об'єктів у кадрі зображення. Таким чином, порівнюючи зображення із заздалегідь визначеним шаблоном, система може розпізнати сцену або сам об'єкт. Крім того, зір є єдиною системою, яка може розпізнати колір об'єкта.

З іншого боку, отримання корисної інформації із зображень є складним завданням, враховуючи, що системі доводиться працювати з природними об'єктами в умовах природного освітлення. Крім того, для складних зображень потрібні потужні комп'ютери. Успішного вимірювання глибини об'єктів з одного кадру зображення недостатньо для точного позиціонування,

особливо коли враховується розмиття через вібрацію. Оскільки обробка зображень в основному залежить від різниці кольорів і контрастності в кадрі зображення, точність систем зору неоднакова і зазвичай залежить від програми.

Проведений аналіз показав, що найчастіше робот містить дві кольорові камери високої роздільної здатності. Ширококутна зум-камера, встановлена на задній стороні шасі, а камера меншого розміру, встановлена ближче до кінцевого ефектора для детального перегляду предмету. Сцена робочого простору, отримана з обох камер, відображається на моніторі ноутбука на базі керування, і зображення можна перемикаати залежно від вимог операції.

Приклад основної камери, що встановлюється на шасі показано на рисунку 1.11.

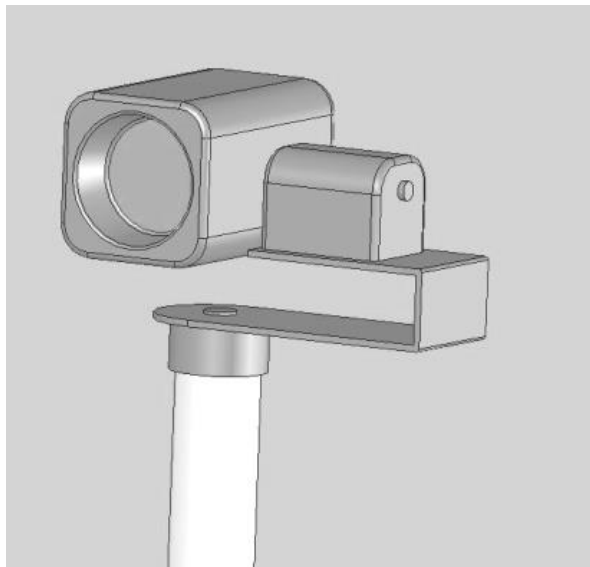


Рисунок 1.11 – Приклад основної камери, що встановлюється на шасі

Основна камера встановлена на телескопічній турелі на задній стороні шасі для перегляду як мобільної платформи, так і маніпулятора. Турель має вертикальний телескопічний хід 400 мм, а камера призначена для обертання в горизонтальній і вертикальній площині.

Ця характеристика руху основної камери з трьома ступенями свободи забезпечує неймовірну універсальність під час роботи. Оскільки камерою керують незалежно від руху мобільної платформи та маніпулятора, оператор може рухати камеру, щоб змінити кут огляду цілі, коли візуальна інформація переривається перешкодою, якою може бути навіть сам рухомий маніпулятор.

Основна камера оснащена системою нічного бачення для роботи в темряві, коли обставини забороняють використання світла. Керування камерою також буде оснащено функцією «слідування», так що, коли рука маніпулятора переміщується, камера буде слідувати за захопленням.

Для детального перегляду процесу розмінування використовується камера деталізації, що прикріплена до передньої частини руки маніпулятора (рис. 1.12).

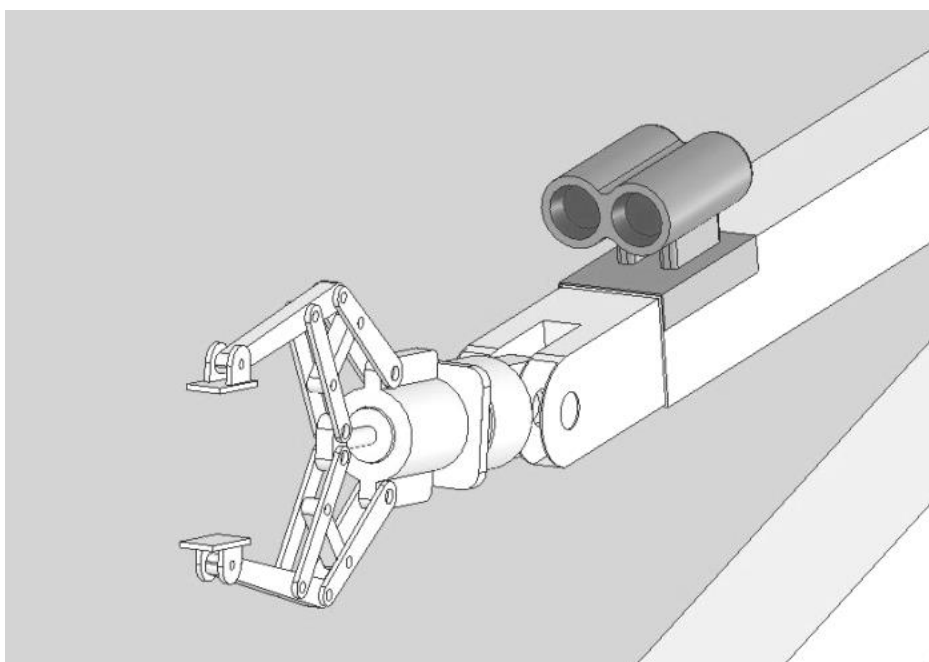


Рисунок 1.12 – Кріплення камери на руці маніпулятора [17]

Деталізована камера має фіксоване положення на кінці плеча маніпулятора, а кут огляду спрямований на робочий простір захоплення.

1.3.2 Лазерна система

Лазерна система працює на основі оцінки відбитих лазерних променів, які випромінює блок, встановлений на мобільній платформі. Однією з найбільших переваг є його простота з точки зору принципу та застосування. Крім того, звичайні лазерні системи дуже поширені як вимірювальні пристрої в промисловості, ця доступність означає, що різні типи доступні за порівняно низькою ціною.

Головна перевага цієї сенсорної системи полягає в тому, що на неї не впливають умови освітлення. Тим не менш, лазерні системи, які покладаються на лазер, встановлений на транспортному засобі, мають значний недолік при використанні на пересіченій місцевості. Нахил мобільної платформи робота може призвести до того, що лазерний промінь не влучить у цілі, якщо промінь не розходить вертикально. Ця розбіжність серйозно зменшує практичний робочий діапазон, оскільки вихідна потужність обмежена потребою, щоб система була безпечною для очей. Крім того, велика кількість пилу або туману може перешкоджати роботі системи.

1.3.3. Радарна система

Радар використовується для вимірювання відстані транспортного засобу до природних і штучних орієнтирів або об'єктів на відкритому повітрі. Принцип роботи в роботах дуже схожий на той, який використовується у військово-морських радіолокаційних устаткуваннях – радіолокаційні сигнали випромінюються, а потім відбиваються від об'єктів.

Звичайні радіолокаційні пристрої застосовують штучні опорні орієнтири, які встановлюються на полях і визначають положення транспортного засобу шляхом тріангуляції їх відстаней до робота.

Одна з найважливіших переваг полягає в тому, що можна досягти діапазону в кілька сотень метрів, незважаючи на те, що промінь розходить вертикально, щоб забезпечити невеликий ступінь нахилу робота. Крім того,

радарні системи менш сприйнятливі до кліматичних змін, ніж системи оптичних датчиків.

1.3.4. Сонарна система

Сонарні датчики випромінюють звукові хвилі та вимірюють час відлуння між датчиком і об'єктом. Обчисливши цей час відлуння, можна легко знайти відстань через те, що звукові хвилі рухаються в повітрі з постійною швидкістю. У більшості застосувань звукові хвилі випромінюються часто, і обчислення зосереджуються на часі, який потрібен звуковим хвилям, щоб досягти відбивної поверхні та повернутися до приймальної частини датчика.

Залежно від типу імпульсного випромінювання можна розпізнавати різні типи об'єктів, оцінюючи частотний спектр хвиль, відбитих від об'єкта (експериментальна система може розпізнавати чотири різні типи перешкод). Іншою перевагою є те, що звичайні ультразвукові датчики недорогі та широко використовуються в промислових цілях.

Однак ці датчики чутливі до руху повітря та навколишнього ультразвукового шуму, значна частина яких може бути створена самим роботом. Крім того, час оновлення даних низький для великих відстаней через паузу для розрахунків часу польоту.

1.4 Глобальна система позиціонування (GPS)

GPS вимірює відстань, використовуючи час проходження радіосигналів від супутників на орбіті Землі до пристрою GPS на землі, а положення обчислюється методом триангуляції. Щоб виміряти точний час у дорозі та положення, пристрій GPS має бути прив'язаний щонайменше до чотирьох супутників.

Більше того, щоб досягти вищої точності, ніж та, яку отримує звичайний GPS-пристрій, можна використовувати вдосконалені системи, які називаються диференціальним GPS (D-GPS) і кінематичним GPS у

реальному часі (RTK-GPS). Ці системи використовують станцію радіомаяка на земній поверхні для порівняння інформації, отриманої від супутників, щоб можна було зменшити помилки, викликані впливом навколишнього середовища. Точність підвищується, коли відстань між транспортним засобом і радіомаяком зменшується.

Потреба в ряді маяків, необхідних для лазерних і радарних систем, і труднощі їх позиціонування в точній геометрії усувається, а точність до сантиметрового рівня забезпечується за допомогою D-GPS або RTK-GPS. На ці системи не впливають вібрація, звук і орієнтація роботу. Крім того, для вдосконалених пристроїв можна припустити, що погодні умови не погіршать їх ефективність.

Порівняння можливостей сенсорних систем представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння можливостей сенсорних систем

	Vision	Laser	Radar	Sonar	GPS
Робота в ямі, порожнині, розпізнавання негативної висоти	Так	Так	Ні	Так	Ні
Розпізнавання перешкод по висоті	Так	Так	Так	Так	Ні
Вплив дощу, туману, пилу	Так	Так	Ні	Ні	Ні
Вплив нахилу	Ні	Так	Ні	Ні	Ні
Вплив вібрації	Так	Ні	Ні	Ні	Ні
Вплив звукових хвиль	Ні	Ні	Ні	Так	Ні
Ідентифікація об'єкта	Так	Ні	Ні	Так	Ні
Вимоги до точної геометрії датчика	Ні	Так	Так	Так	Ні
Наявність маяка	Ні	Так	Так	Ні	Ні
Наявність на ринку	Так	Так	Ні	Так	Так
Вимірювання відстані	Ні	Так	Так	Так	Ні

Оскільки технологія GPS не потребує довідкової інформації з землі, проблеми, пов'язані з пробуксовкою коліс, можна легко вирішити.

Однак затримка часу, спричинена обробкою сигналу для визначення розташування та орієнтації, кидає виклик системі керування на високих швидкостях. Крім того, на систему впливає наявність будівель, дерев або рельєф, а також переривання супутникових або диференціальних сигналів корекції. Крім того, оскільки він використовує абсолютні координати замість інформації про навколишнє середовище, для точного вимірювання у вертикальних координатах потрібні допоміжні пристрої, що означає додаткові витрати та час обробки.

1.5 Методи виявлення наземних мін

Існує три стратегії визначення наземних мін. По-перше, це ручне виявлення. Ручне виявлення мін є дуже важким і небезпечним процесом, і потребує значного часу для обробки великих ділянок, щоб знайти всі міни. Також потрібно брати до уваги той факт, що пластмаси та композитні матеріали також використовуються для виготовлення мін, а також матеріали з низьким вмістом металу. Все це ускладнює виявлення небезпечних предметів. Другий спосіб – визначення за допомогою механічного обладнання. Третій – за допомогою передових робототехнічних технологій. Повністю автономний робот може використовуватися для виявлення мін.

Модель нечіткого регулятора системи керування рухом мобільного робота, що запропонована в [18], використовує нечітку логіку на основі ймовірнісного підходу. Метод розроблено для пошуку наземних мін за допомогою автономного робота, що повідомляє про розташування мін.

Пристрій передає зібрану інформацію на сервер бездротовим способом. Роботом керують дистанційно, він отримує команди та рухається відповідно до заданого маршруту.

Технології, що використовуються для виявлення наземних мін: рентгенівське випромінювання, електроімпедансна томографія (EIT), виявлення парів вибухових речовин (EVD). Також застосовується ефективний метод виявлення та класифікації типів протипіхотних мін на основі ГЧ-зображень із використанням нейронної мережі.

Запропонований в [19] метод передбачає використання автономного робота, який може автоматично рухатися без будь-якого втручання людини, і виявляти міни за допомогою прикріплених до нього датчиків. В разі виявлення міна, він фіксує її місце розташування, і інформація потрапляє до серверу баз даних передана за допомогою IoT.

На рисунку 1.13 показано розташування міни та її зовнішній вигляд на фоні землі.



Рисунок 1.13 – Розташування міни та її зовнішній вигляд на фоні землі

На рисунку 1.14 показано запропонований потоковий граф методу визначення мін з використанням нечіткої логіки.



Рисунок 1.14 – Поточковий граф методу визначення мін [20]

Даний метод передбачає застосування декількох датчиків для підвищення ефективності виявлення вибухонебезпечних предметів. Одночасно застосовуються металодетектор для виявлення металевих предметів та веб-камера для ідентифікації знайдених предметів. Додатково веб-камера використовується для визначення пластикових мін за їх візуальними ознаками.

Інформація із різних датчиків надходить до контролеру нечіткої логіки, де приймається рішення про знайдених предмет.

Контролер нечіткої логіки працює з двома входами: помилка швидкості та помилка зміни швидкості (рис. 1.15). Першим кроком є застосування

нечіткого контролера, який визначає стани, відповідальні за продуктивність системи. Лінгвістичні змінні використовуються в контролері нечіткої логіки.

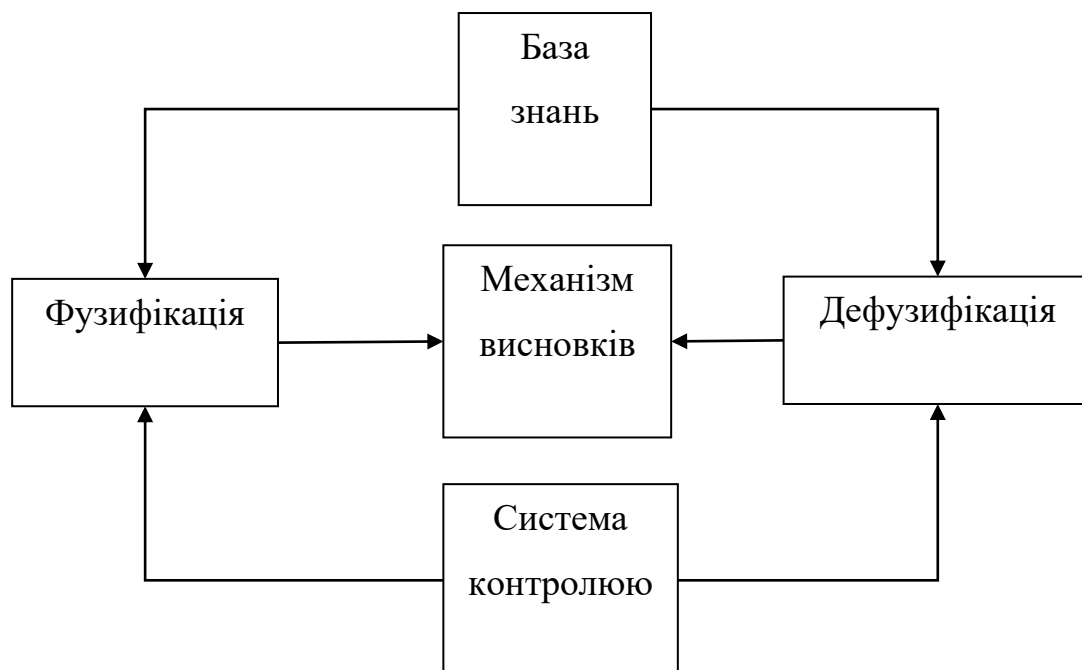


Рисунок 1.15 – Блок-діаграма контролера нечіткої логіки [20]

Фазифікація – це процес перетворення набору вхідних даних у чіткий набір. Для перетворення вхідних даних використовуються три типи фазифікаторів: синглтонний фазифікатор, фазифікатор Гауса та трикутний фазифікатор. На вхідних і вихідних наборах даних використовуються фазифікатори Гауссена і Трикутник.

Лінгвістичні нечіткі коди оформляються у форматі «ЯКЩО ТО». Умови та висновок задачі задаються у форматі ЯКЩО та ТО, а сигнали керування виробляються на основі вхідних умов.

Механізм логічного висновку – це не що інше, як програмний код, який використовується для виконання нечіткої логіки, що застосовується для вирішення поставленої задачі. Механізм логічного висновку працює як комп'ютерна програма, яка діє безперервно, як наш людський мозок.

1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі було проведено аналіз методів виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів з використанням робото технічних комплексів, наведено загальні принципи виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів. Також проведено аналіз роботизованих засобів для виявлення вибухонебезпечних предметів з прикладами роботів, які використовуються для розмінування та представлена порівняльна таблиця з їх характеристиками.

Далі описано види сенсорних системи роботів, які можуть бути використані для розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів та методи їх виявлення.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПРЕДМЕТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТАЛОШУКАЧА

2.1 Градометрія та електромагнітна індукція

Електромагнітний спектр визначає діапазон усіх можливих частот електромагнітного випромінювання. ЕМ-металодетектор базується на вимірюванні коливань ЕМ-поля, спричинених металевим об'єктом. Джерелом збудження може бути поле Землі в пасивній системі виявлення, яка вимірює спотворення земної гравітації, що виникає при знаходженні металу в полі зору сенсору. Крім того, системи активного виявлення металевих предметів використовують котушки або антени для створення електромагнітного поля, в якому об'єкти виявляються шляхом вимірювання відбитих або індукованих сигналів.

Градiометрія магнітного поля використовує взаємодію між полем землі (приблизно 0,5 G) і металевими об'єктами. Такий метод застосовується для виявлення та локалізації залишків військової техніки, мін та інших феромагнітних об'єктів, оскільки ці матеріали є магнітопроникними або несуть постійний магнітний момент, і таким чином спотворюють земне поле. Це викривлення поля, або градієнт, кількісно визначається за допомогою магнітного градіометра з двома датчиками поля, з'єднаними в диференціальні конфігурації для вимірювання просторової різниці полів.

Методи, що включають градіометрію магнітного поля, були застосовані для розробки наскрізних систем з використанням масиву градіометрів, вирівняних вертикально по обидва боки від порталу. Коли феромагнітний предмет проходить крізь портал, він викликає спотворення магнітного поля, яке визначається матрицями градіометрів. Оскільки градієнтометри розташовані групами, можна досягти певного ступеня локалізації об'єктів.

Градiометрiя успiшно використовується для вирiшення деяких питань безпеки на локальному стацiонарному об'єкті, та дозволяє виявити феромагнiтні матерiали, але визначити характеристики матерiалів дуже важко за допомогою цього пасивного методу.

Іншим методом є електромагнiтна iндукцiя. Електромагнiтна iндукцiя є поширеним пiдходом для виявлення металевих предметів і боеприпасів, що не вибухнули (ВНП). Традицiйні ЕМ є iндукцiйні металошукачі та інші пристрої для виявлення мiн, що складаються з двох частин: котушки наведення ЕМ поля та котушки зiмання ЕМ сигналу.

Котушка наведення ЕМ поля створює прикладене (первинне) магнiтне поле, яке викликає електромагнiтну iндукцiю всередині металу, що перевіряється.

Інша (сенсорна) котушка використовується для вимiрювання сумiсного поля, яке є суперпозицiєю первинного магнiтного поля та вихрового поля, що iндуковане струмом, тобто вторинним магнiтним полем.

На виході з датчика котушки формується iнформацiя про метал. Частотний або часовий аналіз використовується для видiлення характеристик отриманого сигналу з метою отримання властивостей металу, включаючи:

- форму;
- орієнтацiю;
- матерiал;
- тощо.

Розташування щодо конфiгурацiї двох котушок залежить від застосувань детекторів.

На рисунку 2.1 показана схема типового електромагнiтного iндукцiйного детектора для наскрiзного застосування. Конфiгурацiя котушок – це налаштування потужності.

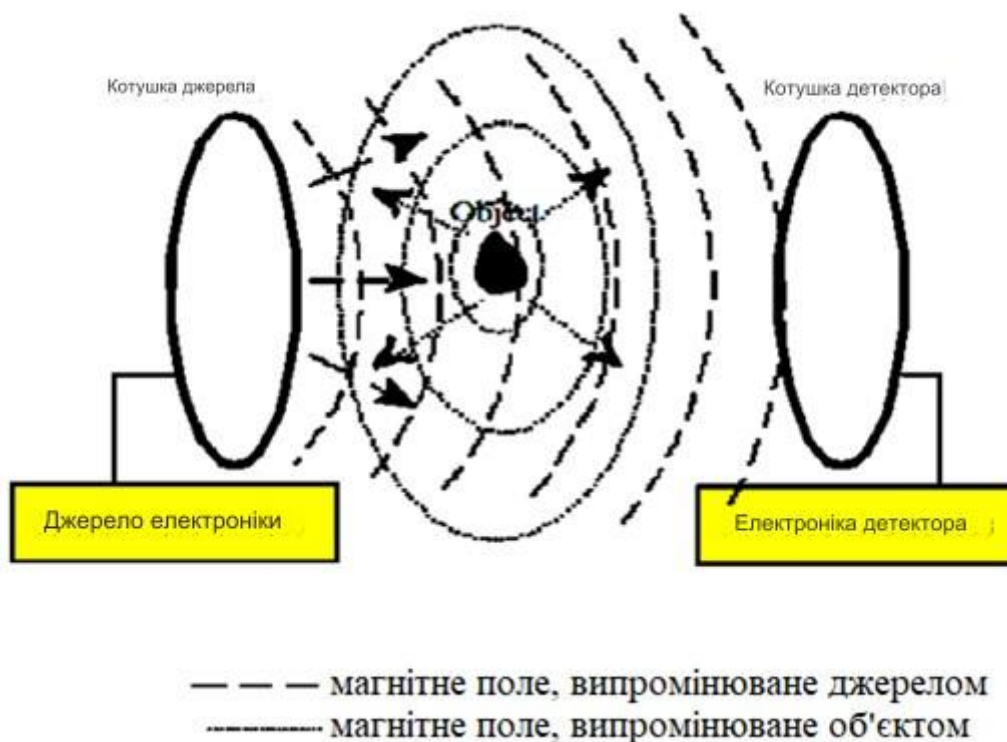


Рисунок 2.1 – Схема електромагнітних індукційних металодетекторів з котушками в режимі передачі [21]

На основі електромагнітної індукції було запропоновано та реалізовано кілька технологій для передових металодетекторів, які включають:

- наднизьку частоту;
- імпульсну індукцію;
- коливання частоти биття та тривимірне регульоване магнітного поля.

Наднизькочастотний діапазон (VLF) (від 3 кГц до 30 кГц) є найбільш часто використовуваним методом для металодетекторів, який передбачає використання як драйверу, так і датчиків у вигляді котушки [21]. Виявлення та характеристика об'єктів виконується на основі вимірювання реакції поля на первинне магнітне поле від металів, що перевіряються. Порівняно з електромагнітною індукцією, котушка, що сприймає зворотній сигнал, захищена від первинного поля, створюваного котушками драйвера, щоб

усунути взаємну індуктивність між ними й, таким чином, покращити «видимість».

Сигнали від сенсорних котушок дають інформацію про наявність металевого предмета. Величина сигналу пропорційна відстані між детектором і об'єктом, що вказує на розташування об'єкта. Характеристика металів реалізується шляхом перегляду фазового зсуву в отриманих сигналах. Це пояснюється тим, що індуктивність і опір металу суттєво впливають на індукований електромагнітний струм в металі з точки зору амплітуди та фази, що дає чіткий сигнал поля з певною величиною та фазою.

Під час застосування рівень фазового зсуву, який визначається за допомогою порогів або виїмок (фазових сегментів), використовується для розрізнення об'єктів вище та нижче рівня. Аналіз обмежений у класифікації об'єктів, так що можна ідентифікувати лише групу об'єктів замість певного елемента.

Різниця між імпульсною індукцією (PI) і VLF полягає в типі збудження струму, що подається на котушку драйвера, і подальших методах обробки сигналу.

PI застосовує короткий, але потужний імпульс до котушок драйвера, щоб створити імпульсне первинне магнітне поле. Після того, як імпульс згортається, з'являється відбитий імпульс (протягом кількох мілісекунд), який рухається в напрямку, протилежному до первинного поля, що призводить до іншого струму, що протікає всередині котушки драйвера.

Тривалість відбитого імпульсу збільшується, коли PI-детектор розміщується над металевим об'єктом, завдяки наявності імпульсних електромагнітних струмів, які підтримують відбитий імпульс і вносять відлуння в сигнали.

З огляду на фізичну основу, пристрої PI можуть використовувати лише одну котушку як для генерації імпульсного поля, так і для отримання відбитого імпульсу. Для постійного контролю. PI-детектори посилають імпульси в діапазоні від 25 імпульсів до 1000 імпульсів на секунду.

Виявлення металів здійснюється шляхом вимірювання тривалості відбитих імпульсів. Відстань між металом і РІ-детектором можна оцінити, проаналізувавши інтервал між імпульсом керування та відбитим імпульсом. Такі особливості, як затухання імпульсу, виявилися ефективними для визначення характеристик об'єкта, хоча обробка є складнішою, ніж VLF.

Варто відзначити, що використання імпульсного струму робить РІ здатним ефективно виявляти об'єкти на більшій відстані порівняно з методами VLF та багаточастотними VLF.

Затухання імпульсу використовується для виявлення та визначення характеристик металу, оскільки відповідь імпульсу змінюється залежно від властивостей різних об'єктів, зокрема матеріалу, форми та орієнтації. На рисунку 2.2 показано затухання імпульсу для різних металевих об'єктів.

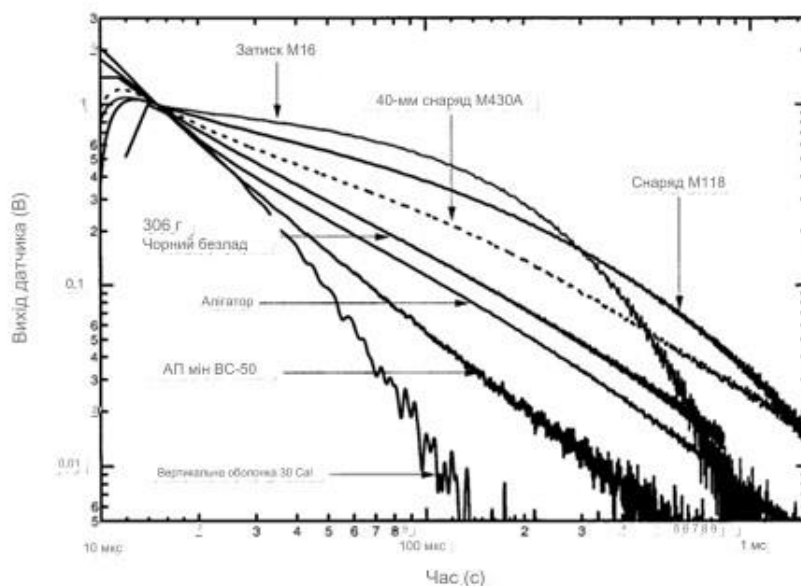


Рисунок 2.2 – Затухання імпульсу для різних металевих об'єктів [22]

Використання даного методу дає можливість знайти унікальні затухання імпульсу в тривимірному полі, що залежать від типу металу. Таким чином, ідентифікація металевих об'єктів може бути виконана шляхом введення бібліотек цільових констант загасання часу.

2.2 3D регульоване магнітне поле

Розглянуті попередні технології вимірюють магнітне поле в одному конкретному напрямку, тобто однокомпонентному магнітному полі, що реалізує опитування металів з однонаправленими векторами магнітного поля.

Система датчиків 3D керованого магнітного поля (3DSMF) покращує традиційні електромагнітні індукційні системи, розширюючи односпрямований контроль поля до трьох напрямків. Метали збуджуються 3D-імпульсним магнітним полем, яке відносно рівномірне на відстані порівняно з контурною котушкою. Вектор поля датчика керується відповідно до системи координат об'єкт-тіло, в результаті чого підвищується відношення сигнал/шум (SNR). Датчик захоплення також призначений для визначення магнітного поля в 3D. Велике значення має створення однорідного магнітного поля в певному напрямку. Кілька електричних проводів у лінійному вирівнюванні використовуються для імітації струму пластини, який створює однорідне горизонтальне магнітне поле (НМФ).

На рисунку 2.3 показана установка для генерації НМФ в напрямку x . Подібна установка використовується для НМФ у напрямках y та z .

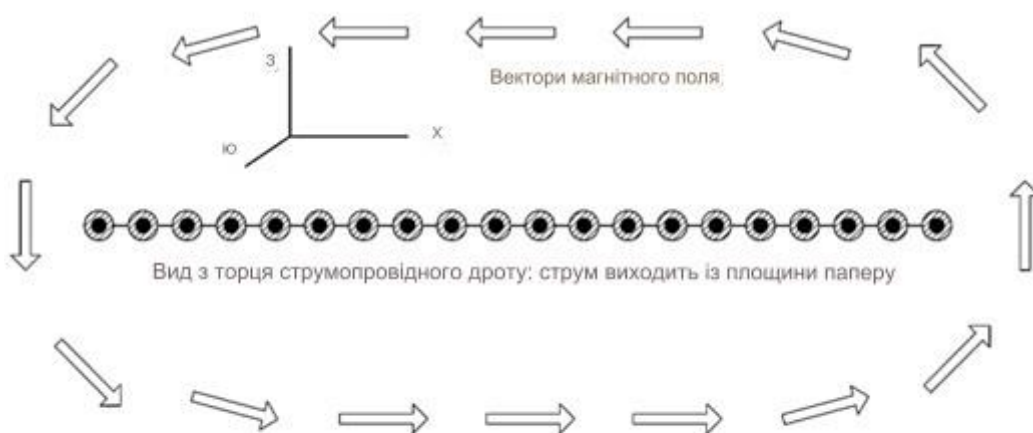


Рисунок 2.3 – Установка для генерації НМФ в напрямку x [22]

На рисунку 2.4 представлено концептуальну схему передавача 3DSMF.

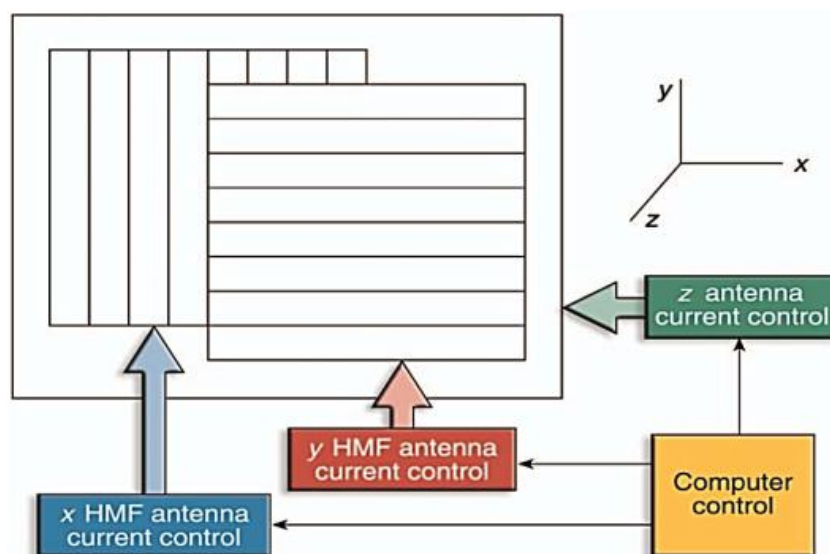


Рисунок 2.4 – Концептуальна схема передавача 3DSMF

Параметри окремого передавача НМФ включають: просторовий інтервал кожної пари електричних проводів, відстань поділу шляху зворотного струму, а також ширину та глибину (довжина дроту) передавача. Для кожного параметра за допомогою моделювання було таким: просторовий інтервал = 2,5 см, шлях зворотного струму = 1 м, ширина = 2 м і глибина = 2 м.

Зондування поля, коли ціль освітлюється НМФ у певному напрямку, досягається за допомогою датчиків у диференціальній конфігурації. Реалізація концепції зондування поля для НМФ у напрямку x зображена на рисунку 2.5.

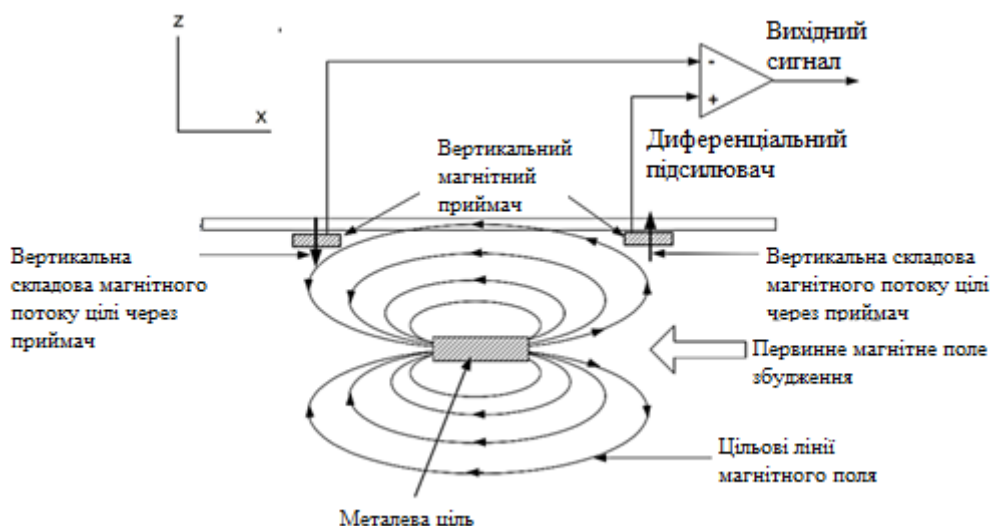


Рисунок 2.5 – Реалізація концепції зондування поля для НМФ у напрямку x

Відгук поля – це суперпозиція показань від лівого та правого датчиків, які вимірюють поле в ортогональному напрямку, тобто Z -напрямку, намагаючись роз'єднати передавач і датчики. Оскільки застосована диференціальна конфігурація, шум у двох розташуваннях датчиків усувається, і таким чином покращується SNR.

Зондування поля для двох інших НМФ реалізовано з використанням того самого підходу, що призвело до побудови 3D модуля зондування поля.

2.3 Висновки до другого розділу

У другому розділі проведено аналіз методів визначення металевих предметів за допомогою металошукача, розглянуто методи градометрії, електромагнітної індукції та 3D регульованого магнітного поля.

На основі електромагнітної індукції було запропоновано використовувати кілька технологій для передових металодетекторів, які включають: наднизьку частоту; імпульсну індукцію; коливання частоти биття та тривимірне регульоване магнітного поля.

3 РОЗРОБЛЕННЯ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

3.1 Опис конструкцій міношукачів військового типу

В процесі виявлення вибухонебезпечних предметів автономний мобільний робот самостійно рухається забрудненою територією заданим маршрутом.

Принцип пошуку мін за допомогою міношукача базується на використанні спеціального пристрою для виявлення металевих об'єктів, які можуть бути мінами чи іншими небезпечними предметами, що містять метал.

Розглянемо основні елементи міношукача.

Детектор металу – це основний сенсор, який реагує на наявність металевих об'єктів. Використовуючи електромагнітні властивості металів, детектор може виявляти їхню присутність у ґрунті чи інших середовищах.

Для уникнення спотворень сигналу від інших джерел та для визначення типу металевих об'єктів, міношукач може мати систему фільтрації та розпізнавання сигналів. Це дозволяє виділяти сигнали, які вказують на наявність потенційно небезпечних предметів.

Коли детектор виявляє металевий об'єкт, він повідомляє оператора про це за допомогою звукового сигналу, світлового індикатора чи іншого сповіщення. Це дозволяє операторові визначити місцезнаходження потенційно небезпечного об'єкта.

Деякі міношукачі можуть бути обладнані геодезичною системою, що дозволяє визначати координати точок виявлення металевих об'єктів. Це важливо для позначення місця, де можуть бути заховані міни, і для подальшого їх експертного вилучення чи знешкодження.

Принцип роботи міношукача полягає в ефективному виявленні металевих об'єктів у різних середовищах, що допомагає знижувати ризик вибуху та забезпечує безпеку під час розробки, обслуговування та очищення територій від мін.

Пошук мін – одна з головних задач вузькопрофільних пристроїв. Військовий металошукач використовується спеціалізованими службами для виявлення представлених засобів (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Металошукач MineLab F3Ci

Працює міношукач по техніці «прийом-передача». Глибина виявлення сучасних пристроїв досягає одного метра, перевищуючи цей показник.

Військовий металошукач відрізняється від стандартного завдяки:

- кількості та параметрам налаштування;
- режимам пошуку (військові металошукачі налаштовані на метали, що відповідають ВВП);
- конструкція дозволяє працювати в різних погодних умовах;
- підвищені вимоги до конструкції.

Армійські міношукачі – це комплексні пристосування з комп'ютерним функціоналом. Устаткування ефективно вловлює сигнал, забезпечує його цифрову обробку. При цьому задіюється мікропроцесор, який моментально

визначає параметри вибухонебезпечного предмета. Після обробки отриманих даних, міношукач відображає інформацію на РК-дисплеї і в навушниках характерним сигналом.

Міношукачі відрізняються по жорсткості. Якщо стандартне громадянське обладнання – легке і чутливе до температурних коливань, то військовий міношукач пристосований до експлуатації від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому його система пропускає незначні дрібні металеві деталі. Він налаштований виключно під великі об'єкти.

Міношукач вимагає особливого обслуговування. Він повинен експлуатуватися виключно підготовленим персоналом.

Сьогодні у продажу представлені не тільки сучасні, але й радянські пристрою. Військовослужбовці стверджують, що для пошуку мін можна використовувати і стандартне обладнання, наприклад, металошукачі Garrett, але будьте готові до того, що вони можуть не розпізнати вибухонебезпечні комплекси, які не містять металевих деталей. Для професійного застосування рекомендується зробити вибір на користь моделей, які будуть перераховані нижче.

Міношукач ІМП-1 призначений для виявлення, що знаходяться в ґрунті, снігу, під водою та за іншими перешкодами з немагнітних матеріалів, предметів виготовлених їх чорних або кольорових металів або виробів, що містять у своєму складі металеві предмети. Зовнішній вигляд показано на рисунку 3.2.

Міношукач ІМП напівпровідниковий індукційного типу складається з:

- пошуковий елемент циліндричної форми із сполучним кабелем, поворотним вузлом та укороченою штангою;
- три подовжувальні штанги з пружинними скобами для закріплення кабелю. Дві штанги мають внутрішнє різьблення для з'єднання між собою, а одна має різьблення тільки з одного боку;
- підсилювальний блок, що одночасно є і контейнером для джерел живлення;

- брезентова сумка з чересплечним ременем, призначена для перенесення підсилювального блоку та навушників (головних телефонів);
- головні телефони;
- ящик для укладання (транспортна упаковка).



Рисунок 3.2 – Міношукач ІМП-1

Міношукач ІМП-2, ІМП-2К призначений для пошуку металевих та металовмісних предметів, прихованих у ґрунті, у снігу та під водою на глибині до 0,6 м. Металешукач забезпечений системою автопідстроювання для пошуку в різних умовах.

Зовнішній вигляд міношукачу показано на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Міношукач ІМП-2

Глибина виявлення залежно від розмірів об'єкта пошуку:

- у ґрунті при будь-якій вологості та в снігу до 0,4 м;
- на ґрунті під водою не більше 1 м.

Живлення здійснюється автономно від вбудованих у прилад батарей або акумуляторів загальною напругою 9 В.

Металодетектор зберігає працездатність за температури навколишнього середовища від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Габаритні розміри:

- датчик $200\text{ мм} \times 200\text{ мм} \times 10\text{ мм}$;
- штанга із трьох колін $830\text{ мм} \times 1500\text{ мм}$;
- блок обробки $195\text{ мм} \times 130\text{ мм} \times 45\text{ мм}$.

Загальна вага у робочому стані не більше 2 кг.

Garrett ATX – один із найпопулярніших металодетекторів від американської компанії «Гаррет». Він належить до класу металодетекторів-амфібій, чудово працює на різних ґрунтах навіть без заміни котушки. Ідентифікує цінності, як на ґрунті, так і під водою (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд міношукача Garrett ATX

Завдяки універсальності та простоті управління, металошукач Garrett ATX підходить і досвідченим пошуковцям, і новачкам. Технічні характеристики цього приладу задовольняти шкірного. Крім потужності та довговічності, відрізняється металошукач Garrett ATX і тим, що він легкий (2,5 кг). Плюс до цього – розкладна конструкція. Його з легкістю можна переносити, займаючись пошуками у найважчих умовах.

На відміну від інших моделей, Garrett ATX укомплектований 12-дюймовою DD котушкою, яка забезпечує гарний відгук цінних предметів. Котушка, як і блок управління, водонепроникна, за рахунок чого прилад можна використовувати на річках, озерах, у морі. Суттєвим перевагою є і те, що котушка має високу чутливість, що дозволяє виявляти найдрібніші золоті та інші цінні предмети.

Металошукач Garrett ATX має ряд переваг, властивих старим моделям, але є у цього приладу і свої переваги. Він з успіхом працює як на звичайних, так і на сильномінералізованих ґрунтах без необхідності перемикання режимів. Розкладна конструкція робить цей металошукач зручним у перевезенні. Плюс до цього – регульована телескопічна штанга. Ця унікальна

функція відповідає за сканування та визначення цілей із заліза без необхідності зміни маски дискримінації.

Цей міношукач відноситься до категорії надчутливих. Різноманітність режимів настройки дозволяє експлуатувати його навіть в найважчих умовах. Він визначає все ВВП з обраному радіусі. Інформаційні сервіси підтверджують його активну застосування в цивільних і військових умовах.

3.2 Опис комбінованого методу виявлення ВВП

Автономні роботи для пошуку мін розробляються та використовуються для забезпечення безпеки під час розробки, обслуговування та очищення територій від вибухонебезпечних об'єктів, таких як міни.

Автономний робот може бути обладнаний різними типами сенсорів, такими як візуальні камери, теплові камери, лідари та радіочастотні детектори.

Використовуючи ці сенсори, робот може аналізувати навколишнє середовище та визначати області, де можуть бути присутні металеві об'єкти або інші потенційно небезпечні предмети.

Система навігації дозволяє роботів безпечно рухатися по території, уникаючи перешкод та потенційно небезпечних зон. Робот може використовувати технології картографування для створення картини території та маркування областей, де виявлено металеві об'єкти.

Автономний робот може бути обладнаний сучасними детекторами металів, які виявляють наявність металевих предметів, включаючи міни. Система обробки сигналу дозволяє визначати тип металевого об'єкта та розрізняти його від інших металевих об'єктів, які не є вибухонебезпечними.

Коли робот виявляє потенційно небезпечний об'єкт, він може автоматично сповістити оператора чи виконати інші програмовані заходи безпеки. Якщо виявлено міну, робот може відмітити місце розташування для подальшого виведення мінізнищувача або для процедур видалення мін.

Використання алгоритмів ШІ дозволяє роботу адаптуватися до різних умов і вчитися виявляти нові типи мін та інших небезпечних предметів на основі отриманих даних.

Автономні роботи для пошуку мін можуть значно підвищити ефективність та безпеку відновлення та очищення територій від вибухонебезпечних об'єктів.

Структурна схема автоматизованої системи автоматичного виявлення ВВП показана на рисунку 3.4.

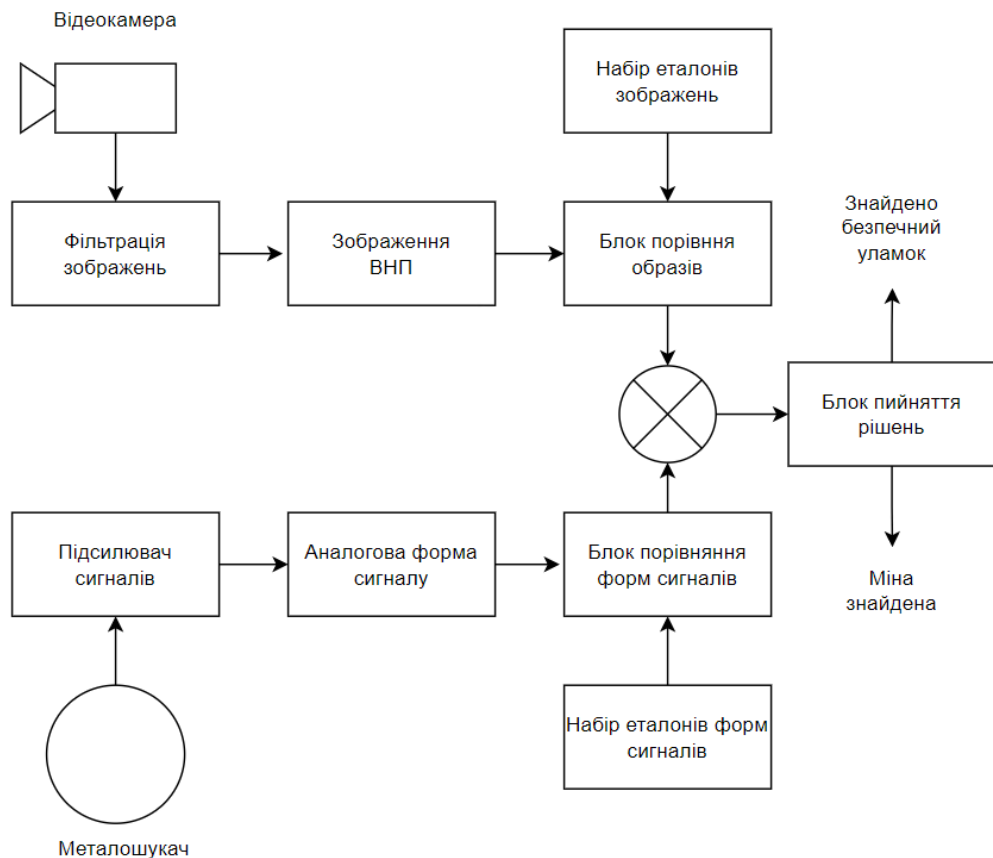


Рисунок 3.4 – Структурна схема автоматизованої системи автоматичного виявлення ВВП

Розроблена структурна схема автоматизованої системи автоматичного виявлення ВВП включає два контури визначення наявності потенціально небезпечних предметів в полі зору сенсорів.

В якості сенсорів виступають:

- чутлива матриця відеокамери;
- індуктивна котушка металошукача.

Два контури працюють незалежно та доповнюють один одного. Але прийняття рішення відбувається на основі сигналів від обох контурів в певний момент часу.

Перший контур призначений для ідентифікації ВНП за їх візуальними ознаками. Даний контур складається з таких блоків:

- відеокамера;
- блок фільтрації зображень;
- блок виділення зображення ВНП на фоні перешкод;
- бази даних з зображеннями різних типів ВНП, що являє собою набір базових еталонів;
- блок порівняння образів та ідентифікації потенційного ВНП.

Задача першого контуру – знайти на фоні перешкод потенційне зображення вибухонебезпечного предмету.

Виходячи з того, що ВНП може бути замаскований, або розташований так, що його зовнішній вигляд не буде відповідати еталону з великою долею ймовірностей, традиційні способи ідентифікації в реальних умовах виявляються недієздатними.

Запропонований метод дозволяє знизити відсоток співпадіння отриманого зображення з еталоном завдяки використанню іншого контуру – автоматизованого детектору металів. Пороговий відсоток ідентифікації ВНП є адаптивним та залежить від результату ідентифікації іншим контуром. Чим вище цей показник у другого контуру, тим меншим може він бути у першого і навпаки.

На рисунку 3.5 наведено графік залежності підсумкового значення на виході блоку прийняття рішення в залежності від обчислених ймовірностей ідентифікації ВНП першим та другим контурами.

Як можна бачити з наведеного графіку мінімальним пороговим значенням вихідного сигналу з блоків порівняння є 30% на будь якому контурі, але при цьому на виході іншого, повинно бути значення не менше 70%.

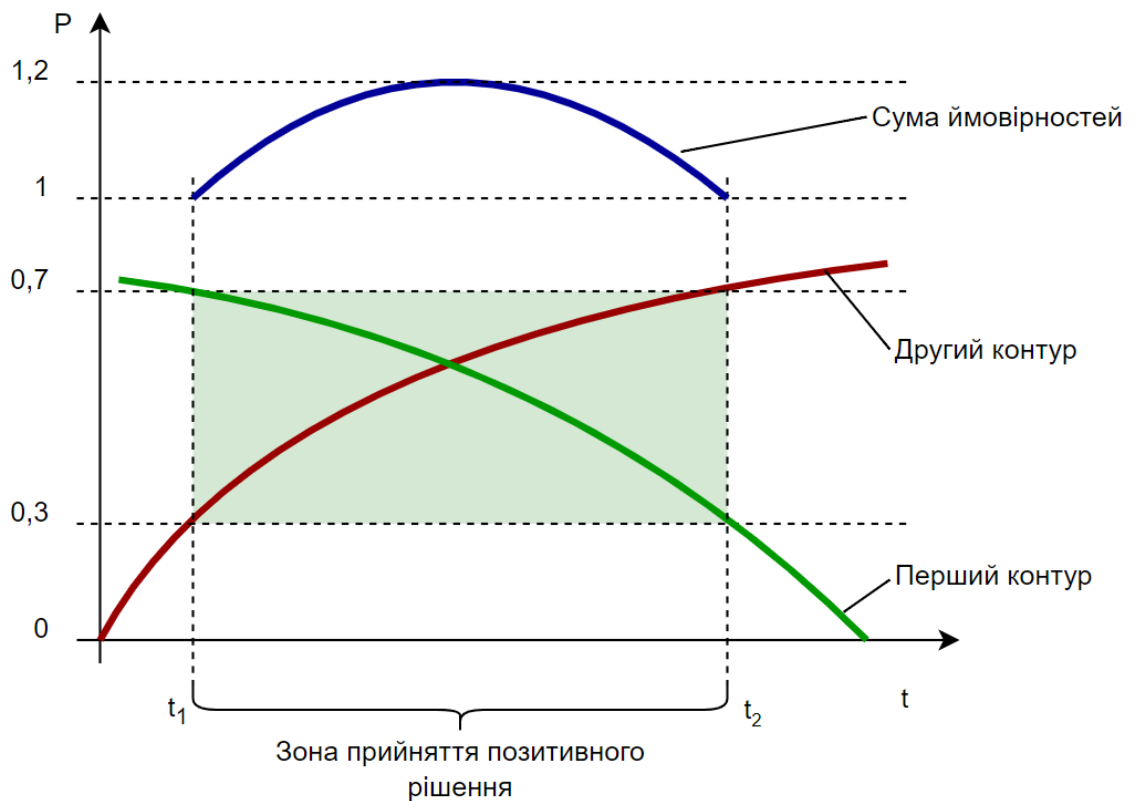


Рисунок 3.5 – Графік залежності підсумкового значення на виході блоку прийняття рішення в залежності від обчислених ймовірностей ідентифікації ВВП першим та другим контурами

Будь-яка комбінація значень ймовірностей між точками вимірів t_1 та t_2 вважається істиною та відповідає зоні прийняття позитивних рішень. Остаточною умовою є підсумкова крива (сума ймовірностей):

$$P_s = P_v + P_m, \quad (3.1)$$

$$P_v > 30\%, P_m > 30\%,$$

де P_v – ймовірність визначення міни візуальним шляхом;
 P_m – ймовірність визначення міни за допомогою металодетектору;
 P_s – результуюча ймовірність.

Як можна бачити з рисунку 3.5, підсумкова крива пролягає через точки в діапазоні від 1 % до 1,2 %. Тобто, якщо на виході компаратора присутнє значення підсумкової ймовірності більше 1, блок прийняття рішення формує позитивний імпульс, що відповідає ситуації, коли міна знайдена. В іншому випадку формується сигнал «Знайдено безпечний уламок».

Таким чином система візуальної ідентифікації ВНП використовує контур автоматизованого детектору металів як додаткове джерело сигналів виявлення небезпечних предметів. Цей принцип також працює по відношенню до другого контуру.

Контур автоматизованого детектору металів складається з таких блоків:

- металошукач з індуктивною котушкою;
- блок підсилення сигналів;
- блок формування аналогового сигналу, що відповідає матеріалу ВНП;
- блок порівняння форм сигналів;
- набір еталонів форм сигналів для різних металів.

Блок порівняння форм сигналів призначений для ідентифікації матеріалу металевого уламка або ВНП. Міна, або інший ВНП може бути виготовлений з використанням різних технологій та матеріалів (кольорових та чорних металів, або їх примісив). На основі набору еталонів можна сформувати вихідний сигнал (повідомлення), що містить відомості про ймовірність відношення знайденого предмету до певної категорії ВНП.

Знаючи характеристику металу, з якого виготовлений предмет, використовуючи інформацію про візуальну ознаку від контуру відео-

ідентифікації, блок прийняття рішення формує підсумковий сигнал, який впливає на роботу автономного роботизованого пристрою пошуку ВВП.

3.3 Розробка алгоритму роботи програми

Робота програми починається з отримання інформації з блоку виявлення металевих предметів. Інформація надходить у вигляді послідовності байт отриманих в результаті перетворення аналогового сигналу від чутливої котушки блоком АЦП.

Послідовність байтів аналізується підпрограмою виявлення металевих предметів. Якщо метал знайдено, програма переходить до блоку визначення типу металу. Визначення типу відбувається на основі характеристик металевих предметів та різній частотній характеристиці отриманих цифрових наборів даних.

Результат обробки сигналу з металодетектору записується в змінну P_m та заносить в відповідну комірку пам'яті для подальшої обробки.

Якщо метал не було знайдено змінна P_m дорівнюється нулю і також записується до відповідної комірки пам'яті.

Наступний етап роботи програми починається з отримання зображення з відеокамери. Зображення проходить початкову обробку, фільтрацію та виділення контурів знайдених потенційних небезпечних предметів.

Як біло показано на рисунку 3.5 при розпізнаванні небезпечних предметів застосовується база даних характерних ознак ВВП.

Алгоритм роботи системи автоматичного виявлення ВВП показана на рисунку 3.6.

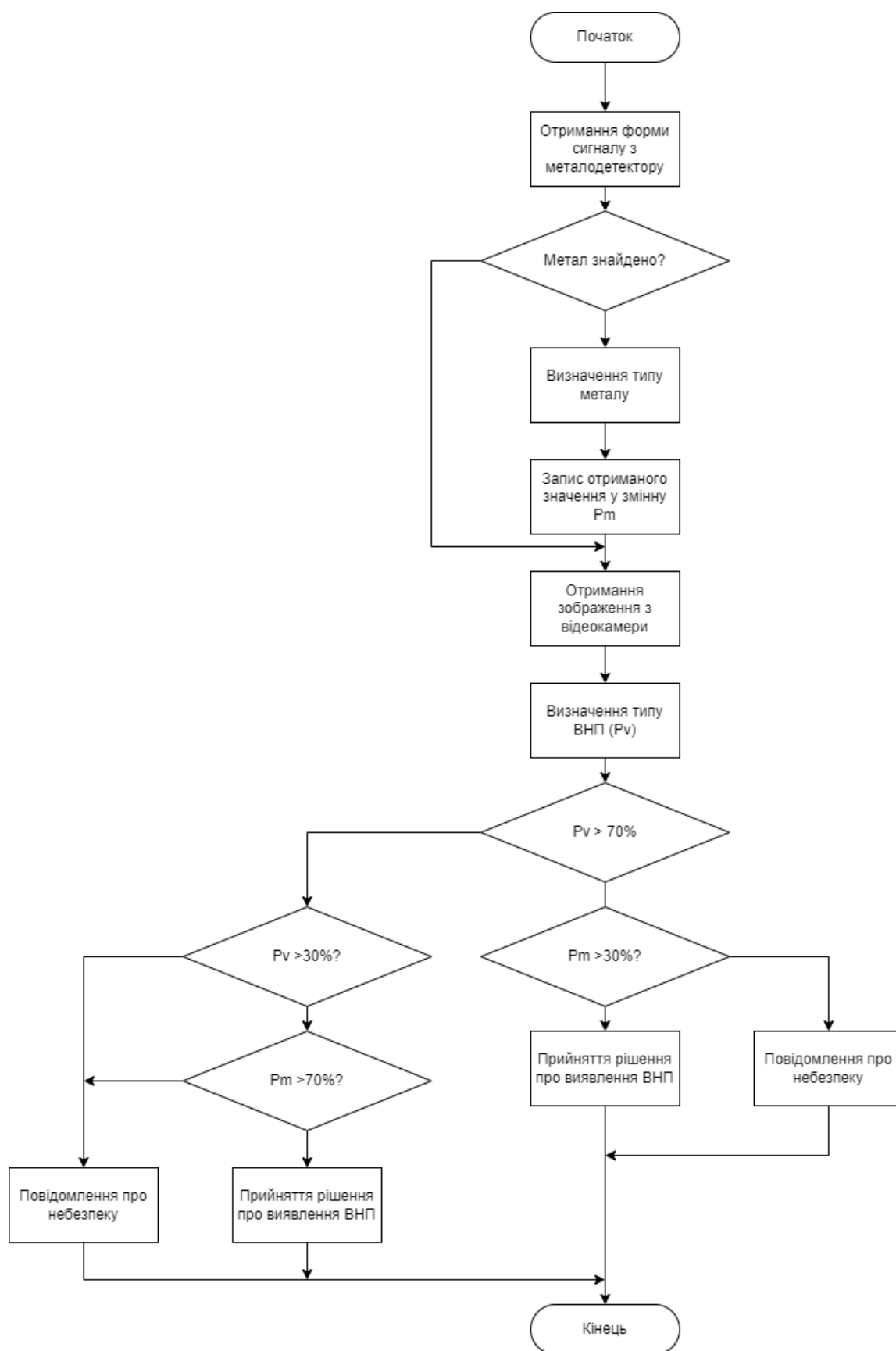


Рисунок 3.6 – Алгоритм роботи системи автоматичного виявлення ВВП

Після обробки та розпізнавання зображення отримується значення змінної P_v .

Якщо значення P_v більше порогового значення (70 %) то перевіряється інша змінна – P_m . За формулою (3.1) при $P_v > 70$, допустиме значення P_m повинно бути більше 30 % ($P_m > 30$). В разі виконання умови:

$$P_v > 70 \&\& P_m > 30,$$

приймається рішення про виявлення ВВП.

Якщо виконується умова:

$$P_v > 70 \&\& P_m < 30,$$

приймається рішення про виявлення те, що було знайдено потенційно небезпечний предмет. Система сигналізує про цю ситуацію і подальші рішення приймає людина-оператор.

Якщо $P_v < 70$ виконується додаткова перевірка, чи виконується умова:

$$P_v > 30.$$

Якщо так, то перевіряється умова:

$$P_v > 30 \&\& P_m > 70.$$

Якщо ця умова виконується, то приймається рішення про виявлення небезпечного предмета.

Якщо умова не виконується то програма сигналізує про небезпечну ситуацію і подальші рішення приймає людина-оператор.

3.4 Висновки до третього розділу

У третьому розділі проведено розробку комбінованого методу виявлення вибухонебезпечних об'єктів. Наведено опис конструкцій міношукачів військового типу та приклад комбінованого методу виявлення ВВП.

Розроблена структурна схема автоматизованої системи автоматичного виявлення ВВП включає два контури визначення наявності потенціально небезпечних предметів в полі зору сенсорів.

В якості сенсорів виступають:

- чутлива матриця відеокамери;
- індуктивна котушка металошукача.

Два контури працюють незалежно та доповнюють один одного. Але прийняття рішення відбувається на основі сигналів від обох контурів в певний момент часу.

Проведено розробка алгоритму роботи програми. При розпізнаванні небезпечних предметів застосовується база даних характерних ознак ВВП.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Опис експериментального макету

Схема поєднання компонентів експериментального макету показана на рисунку 4.1.

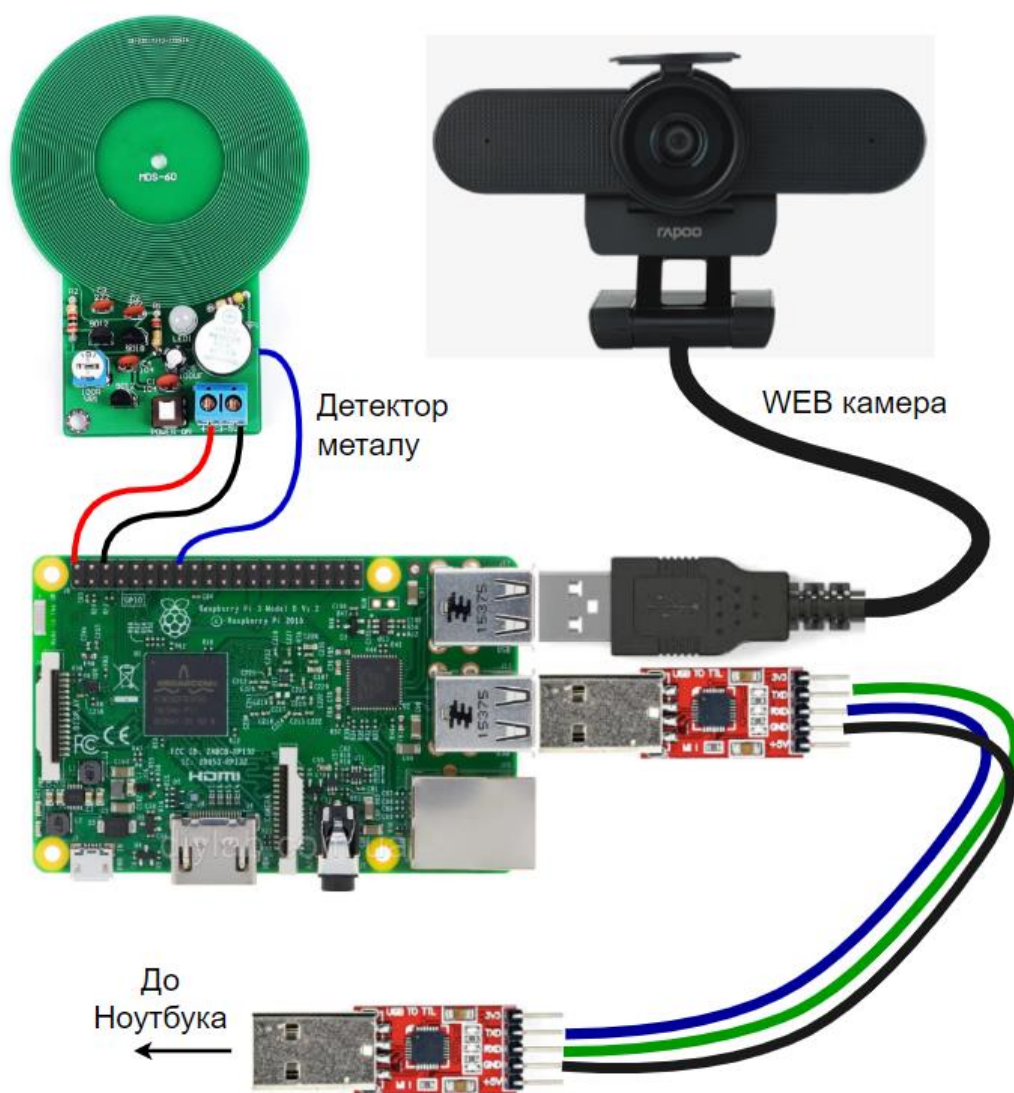


Рисунок 4.1 – Схема поєднання компонентів експериментального макету

Для експериментальних досліджень використовується:

- детектор металу «MDS-60»;
- WEB камера;
- міні-ПК Raspberry PI;
- два перехідника USB-UART.

Детектор металу «MDS-60» – це DIY конструктор металошукача, який можна зібрати самостійно. Він складається з друкованої плати та електронних компонентів, які необхідно збирати відповідно до інструкцій. Конструктор металошукача дозволяє виявляти металеві предмети ховані під землею.

Характеристики приладу:

- заявлена глибина виявлення: до 6 см;
- індикація виявлення: світлова та звукова;
- напруга живлення: від 3 В до 5 В;
- розмір плати: 8,6 см × 6,1 см.

Прилад працює за принципом електромагнітного поля. Коли котушка з детектором металу рухається над металевим предметом, вона викликає зміну електромагнітного поля. Ця зміна захоплюється датчиком і передається до мікросхеми контролера, яка інтерпретує її як сигнал про наявність металу. Результати пошуку відображаються на екрані, дозволяючи користувачу точно визначити місцезнаходження металу.

Для підключення до плати Raspberry PI конструкція детектору металу було дороблена. В якості виходу сигналу наявності металевого предмету використовується точка 1 (колектор транзистору Q3), як зображено на схемі (рис. 4.2).

При визначенні наявності металевого предмету в точці 1 з'являється сигнал логічної одиниці напругою 5 В. Даний сигнал поєднується з контактом GPIO23, як показано на рисунку 4.3.

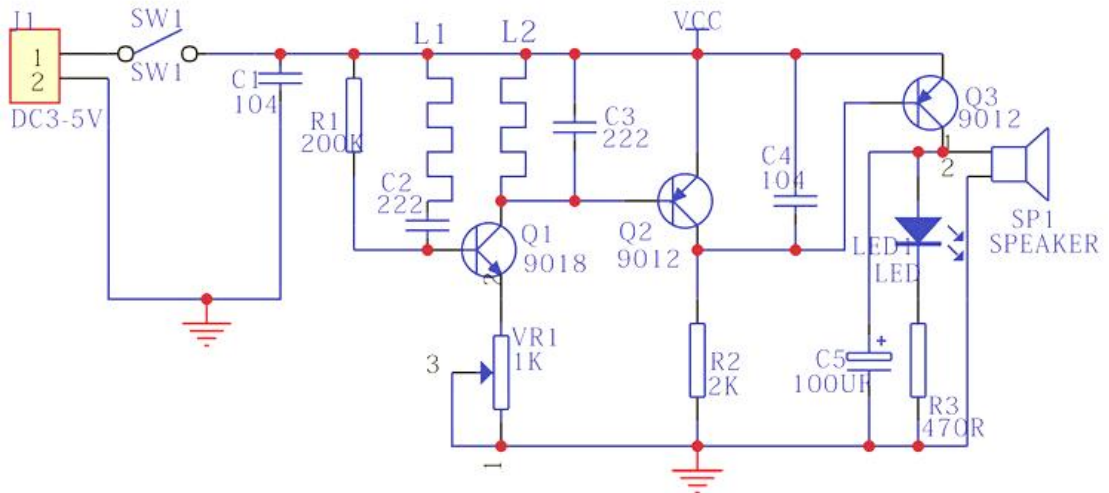


Рисунок 4.2 – Схема електрична принципова детектору металу

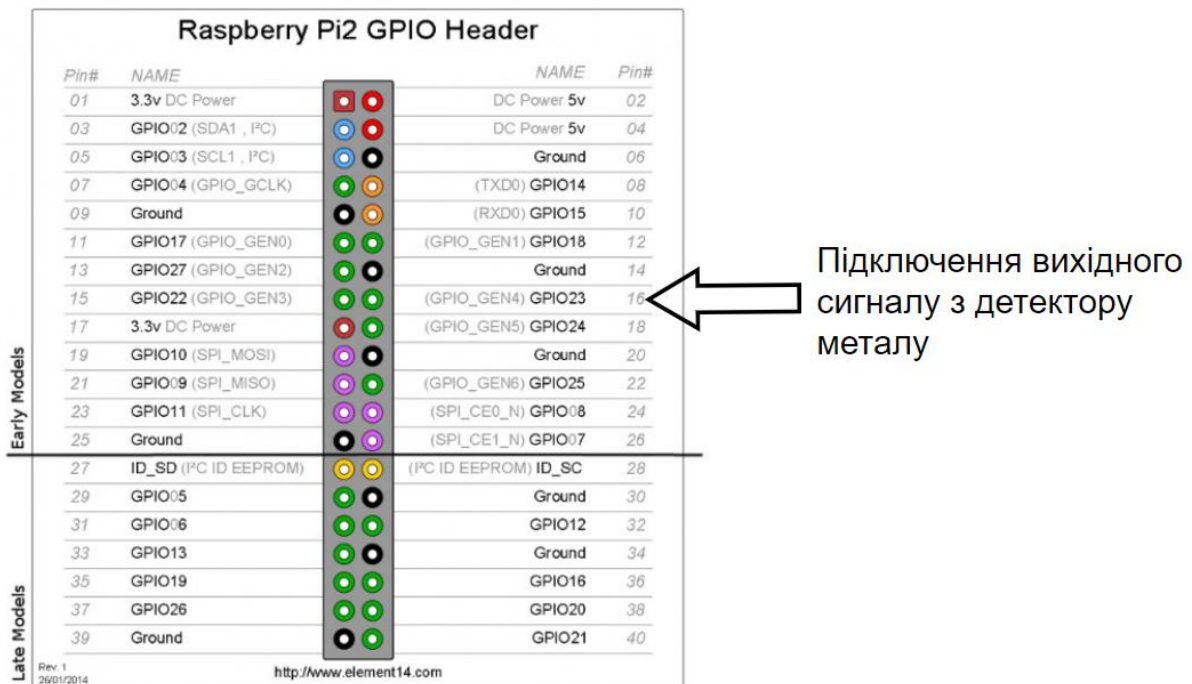


Рисунок 4.3 – Підключення вихідного сигналу з детектору металів до Raspberry Pi

WEB камера використовується для візуального розпізнавання наявності вибухонебезпечного предмету.

Відповідно до розробленого алгоритму роботи системи виявлення вибухонебезпечних предметів, міні-ПК отримує два сигнали:

- сигнал наявності металу в полі зору детектора;
- зображення від WEB камери для підтвердження наявності саме вибухонебезпечного предмету.

Виходячи зі схеми наявного детектору металів міні-ПК отримує тільки дискретний сигнал (0 або 1). Таким чином, в даному експерименті приймається припущення, що детектор завжди видає корисний сигнал при ймовірності детектування більше 70%.

Прийняття рішення про наявність ВВП робиться на підставі роботи програми розпізнавання зображення, що запускається на Raspberry Pi. Відсоток прийняття позитивного рішення в даному експерименті дорівнює 50% і вище.

4.2 Опис програми розпізнавання вибухонебезпечних предметів

Для визначення наявності вибухонебезпечного предмету на зображенні, що біло отримано з WEB камери, будемо використовувати YOLO v3.

YOLO – це передова мережа розпізнавання об'єктів (object detection), розроблена Джозефом Редмоном (Joseph Redmon). Головне, що відрізняє її від інших популярних архітектур – це швидкість. Моделі сімейства YOLO дуже швидкі, набагато швидше за R-CNN та інших. Це означає, що можна розпізнавати об'єкти у реальному часі.

YOLOv3 – це вдосконалена версія архітектури YOLO. Вона складається зі 106-ти згорткових шарів і краще детектує невеликі об'єкти в порівнянні з її попередницею YOLOv2. Основна особливість YOLOv3 полягає в тому, що на виході є три шари, кожен з яких розрахований на виявлення об'єктів різного розміру.

На рисунку 4.4 наведено архітектуру YOLO-мережі.

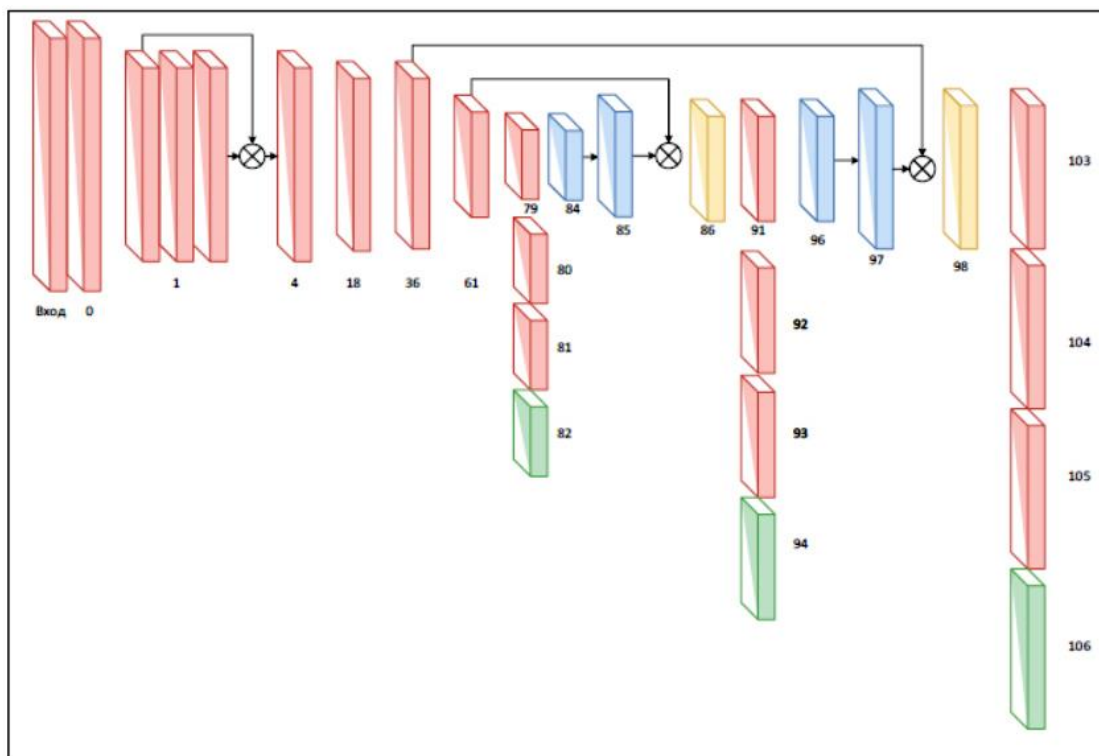


Рисунок 4.4 – Архітектура YOLO-мережі

Удосконалена версія YOLOv3 включає варіації 320, 416 і 608, що відповідає розміру зображення, до якого воно буде приведено перед відправкою на вхід нейромережі, по висоті і ширині. YOLOv3 складається з 106 згорткових шарів, графічно представлених на рисунку 4.3. Зображення на вході пропускається через модифіковану архітектуру GoogLeNet, і після кожного згорткового шару відбувається процес батч-нормалізації. На виході було прибрано два повнозв'язкові шари, що дозволило відмовитися від використання методу вибування, призначеного для запобігання перенавчанню в процесі навчання мережі, але є три шари для визначення зображення різних розмірів і перед останнім шаром підвибори карти ознак поєднуються з картами ознак вихідного шару.

Основною відмінністю від інших згорткових нейронних мереж (СНР) є застосування мережі до всього зображення відразу, а не кілька разів до різних регіонів. Архітектура YOLO формує сітку зображення і передбачає положення bounding boxes (bbox), а також можливість комірки містити потрібне зображення. Досягається це з допомогою визначення меж методом середнього К, який, своєю чергою, використовує базові значення bbox кожному за класу, і множенням ймовірності осередку на ймовірність кожного класу, що у результаті показує ймовірність змісту області об'єкта. Крім цього, при будь-якому значенні кордонів bbox центральною точкою буде центр об'єкта, що класифікується.

YOLOV3-tiny є спрощеною архітектурою, призначеною для роботи на малопотужних пристроях і невеликих датасетах. У ній кількість згорткових шарів зменшено зі 106 до 16 і відсутнє поєднання пар ознак. При цьому суттєво підвищується продуктивність, але сильно втрачається точність.

Точність визначення за методикою mAP становить 51,5 для датасета COCO (Common Objects in Context) при потужності 38,97 ГФлопс для архітектури YOLOv3-320 і 33,1 при потужності 5,56 ГФлопс для архітектури tiny, що є кращим результатом у співвідношенні точність-продуктивність, роблячи варіант архітектури 320 найкращим з доступних варіацій архітектури YOLOv3. Частота кадрів при такому співвідношенні для YOLOV3 становить 35, а для tiny – 220. Дані значення показують сильний розрив у значеннях у архітектур v3 на відміну від другої версії, де відмінності в точності та швидкості були значно меншими.

YOLOV3 є ресурсомісткою архітектурою. Один із ключових моментів, який на це сильно впливає – наявність батч-оптимізації. Так як дана операція виконується перед кожним шаром згортки і сама по собі є досить ресурсомісткою і енерговитратною, загальне споживання ресурсів системою комп'ютерного зору сильно зростає. Враховуючи обмеженість доступних потужностей, відмова від використання оптимізації суттєвих образів збільшить швидкість визначення.

4.3 Перевірка запропонованого методу

Для розпізнавання зображення будемо використовувати мову програмування Python. Щоб використовувати YOLOv3 в Python, потрібно виконати ряд налаштувань.

На першому етапі встановлюємо необхідні залежності. OpenCV використовується для роботи з зображеннями та відео в Python. Ця бібліотека встановлюється за допомогою наступної команди:

```
pip install opencv-python.
```

На наступному етапі завантажується файл з навченими параметрами нейронної мережі YOLO. Цей файл можна взяти з відповідних репозиторіїв. Ваги визначають параметри і зв'язки між нейронами у різних шарах мережі.

YOLO використовує наступні файли для роботи:

- yolov3_testing.cfg – файл конфігурації, який визначає архітектуру мережі;
- yolov3_training_2000.weights – файл ваг, який містить навчені параметри мережі;
- coco.names – файл, який містить назви класів, які можуть бути розпізнані моделлю (наприклад, "міна", "зброя" і т. д.).

В нашому експерименті буде застосована модель, що описує різні види озброєння. В цю модель входять: зброя, міни та інші вибухонебезпечні предмети.

OpenCV використовує завантажені моделі та застосовує їх для виявлення об'єктів на зображеннях чи відео. Після знаходження відповідності зображення певному класу об'єктів, можна отримати координати цього об'єкта на зображенні.

На рисунку 4.5 показано приклад коду для підключення відповідних файлів до програми виявлення ВНП.

Цей код використовує бібліотеку OpenCV для завантаження та використання YOLOv3 моделі для виявлення об'єктів на зображеннях.

На шостому рядку відбувається завантаження YOLOv3 моделі, та зчитування файлів ваг (weights) та конфігурації (cfg) моделі за допомогою cv2.dnn.readNet.

```
1 import cv2
2 import numpy as np
3
4
5 # Load Yolo
6 net = cv2.dnn.readNet("yolov3_training_2000.weights", "yolov3_testing.cfg")
7 classes = ["Weapon"]
8 with open("coco.names", "r") as f:
9     classes = [line.strip() for line in f.readlines()]
10
11 layer_names = net.getLayerNames()
12 output_layers = [layer_names[i[0] - 1] for i in net.getUnconnectedOutLayers()]
13 output_layer_names = net.getUnconnectedOutLayersNames()
14 colors = np.random.uniform(0, 255, size=(len(classes), 3))
```

Рисунок 4.5 – Приклад коду для підключення відповідних файлів до програми виявлення ВНП

Далі відбувається зчитування файлу coco.names, який містить назви класів, які модель може розпізнавати. У вашому випадку є лише один клас – "Weapon".

Наступним кроком отримуємо імена всіх шарів та імена нев'язаних (unconnected) вихідних шарів моделі (рядки 11 – 13).

На останньому кроці відбувається генерація випадкових кольорів для позначення різних класів.

Наступна функція використовується для визначення методу обробки вхідного зображення (рис. 4.6).

```
# Enter file name for example "ak47.mp4" or press "Enter" to start webcam
def value():
    val = input("Enter file name or press enter to start webcam : \n")
    if val == "":
        val = 0
    return val
```

Рисунок 4.6 – Визначення методу обробки вхідного зображення

Після відповіді користувача на поставлене питання програма буде оброблювати або єдине зображення, шлях до якого буде заданий, або буде працювати в реальному часі із відеорядом, що отримуватиметься з WEB камери.

На рисунку 4.7 показано фрагмент коду, що використовується для неперервного зчитування кадрів з відеопотоку та застосування YOLOv3 для виявлення об'єктів на кожному кадрі. Виявлені об'єкти та відповідна інформація виводяться на екран або можуть бути оброблені подальше в коді для виконання конкретних завдань.

```
while True:
    _, img = cap.read()
    if not _:
        print("Error: Failed to read a frame from the video source.")
        break
    height, width, channels = img.shape

    # Detecting objects
    blob = cv2.dnn.blobFromImage(img, 0.00392, (416, 416), (0, 0, 0), True, crop=False)

    net.setInput(blob)
    outs = net.forward(output_layer_names)

    # Showing information on the screen
    class_ids = []
    confidences = []
    boxes = []
```

Рисунок 4.7 – Зчитування кадрів з відеопотоку та обробка зображення

Оператор `cap.read()` зчитує новий кадр з відеопотоку. Результат (кортеж) містить булеве значення (`_`), яке вказує на успіх читання кадру, і сам кадр (`img`). Якщо читання невдале (наприклад, відеопотік закінчився), програма виводить повідомлення про помилку та припиняє роботу.

Об'єкт `blob(binary large object)` створюється для подальшого виявлення об'єктів. Цей крок забезпечує нормалізацію та передачу зображення до YOLOv3 моделі.

Зображення передається введенню моделі YOLOv3 (`net.setInput(blob)`), а потім викликається функція `forward`, щоб отримати вихідні дані з мережі.

На рисунку 4.8 показано фрагмент коду, який виявляє об'єкти на зображенні.

```
for out in outs:
    for detection in out:
        scores = detection[5:]
        class_id = np.argmax(scores)
        confidence = scores[class_id]
        if confidence > 0.5:
            # Object detected
            center_x = int(detection[0] * width)
            center_y = int(detection[1] * height)
            w = int(detection[2] * width)
            h = int(detection[3] * height)

            # Rectangle coordinates
            x = int(center_x - w / 2)
            y = int(center_y - h / 2)

            boxes.append([x, y, w, h])
            confidences.append(float(confidence))
            class_ids.append(class_id)
```

Рисунок 4.8 – Фрагмент коду для виявлення об'єктів на зображенні

Цей блок коду працює з кожним об'єктом, який був виявлений моделлю YOLOv3 на кадрі. Для кожного об'єкта визначаються його координати та інші параметри, і якщо впевненість в присутності об'єкта

більше 0,5, то ця інформація (координати, впевненість та ідентифікатор класу) додається до відповідних списків (`boxes`, `confidences`, `class_ids`). Таким чином, формується інформація про всі об'єкти, які були виявлені з відповідного кадру.

Фрагмент коду, що показано на рисунку 4.9 завершує розпізнавання об'єктів на зображенні та формує кольорові рамки для візуального виділення знайдених ВПП.

```

indexes = cv2.dnn.NMSBoxes(boxes, confidences, 0.5, 0.4)
print(indexes)
if indexes == 0: print("weapon detected in frame")
font = cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN
for i in range(len(boxes)):
    if i in indexes:
        x, y, w, h = boxes[i]
        label = str(classes[class_ids[i]])
        color = colors[class_ids[i]]
        cv2.rectangle(img, (x, y), (x + w, y + h), color, 2)
        cv2.putText(img, label, (x, y + 30), font, 3, color, 3)

# frame = cv2.resize(img, (width, height), interpolation=cv2.INTER_AREA)
cv2.imshow("Image", img)
key = cv2.waitKey(1)
if key == 27:
    break
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

Рисунок 4.9 – Визначення та позначення об'єктів на зображенні

Використовується алгоритм Non-Maximum Suppression для видалення "хибних результатів" та визначення індексів об'єктів, які залишаються після NMS. Параметри функції визначають поріг впевненості (0,5), який об'єкти повинні перевищувати, і поріг перекриття (0,4), який визначає, наскільки області об'єктів можуть перекриватися.

Для кожного індексу, який залишився після NMS, виконується обводження виявленого об'єкту на зображенні прямокутником та виведення назви класу.

На рисунку 4.10 показано тестовий макет для тестування програми виявлення вибухонебезпечних предметів в зібраному стані. Інформація про виявлений об'єкт передається на ноутбук за допомогою адаптерів USB-UART, що поєднує його з міні-ПК Raspberry Pi.

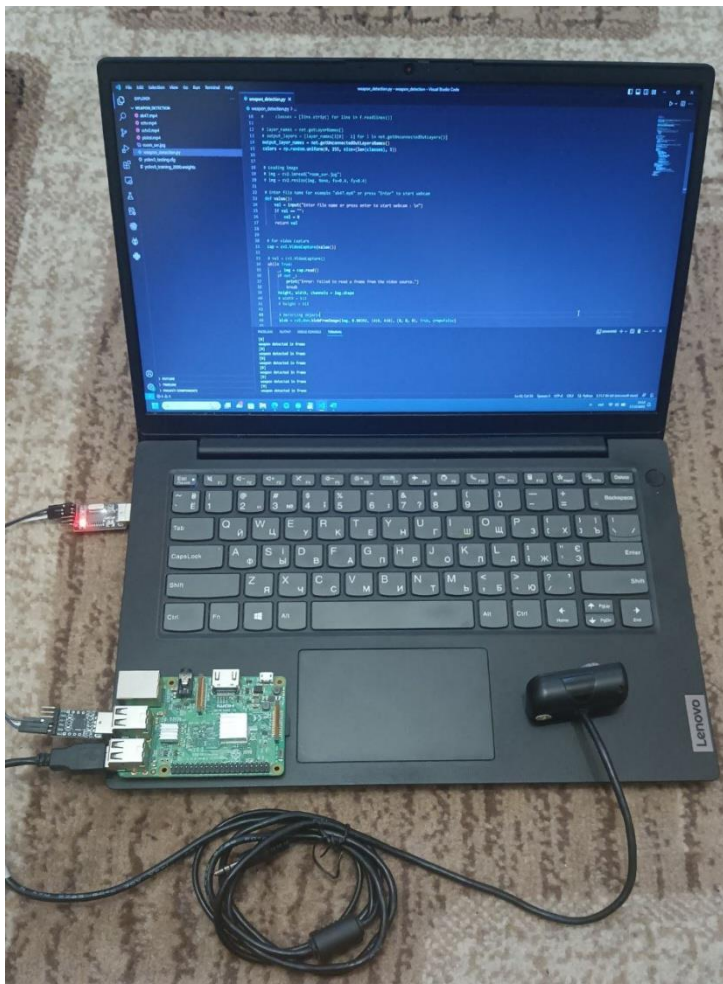


Рисунок 4.10 – Тестовий макет для тестування програми виявлення вибухонебезпечних предметів в зібраному стані

На рисунку 4.11 показано результат розпізнавання зображення протитанкової міни ТМ-62М.

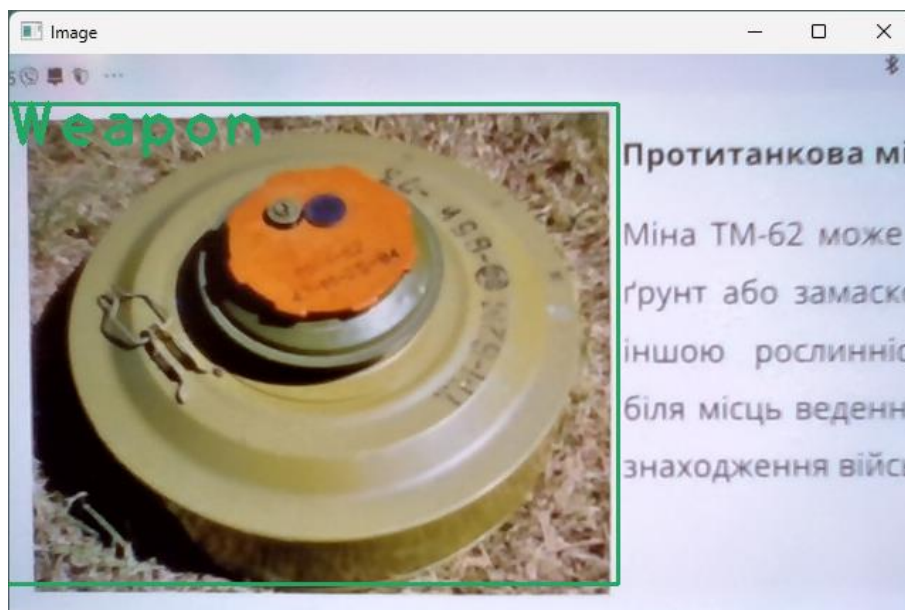


Рисунок 4.11 – Результат розпізнавання зображення протитанкової міни TM-62M

З наведеного рисунку можна бачити, що програма визначила вибухонебезпечний предмет на зображенні з WEB-камери та показала його розміщення за допомогою кольорової рамки.

На рисунку 4.12 – показано службовий вивід інформації про результат виявлення ВНП в терміналі програми.

```
PROBLEMS  OUTPUT  DEBUG CONSOLE  TERMINAL

[0]
weapon detected in frame
[0]
weapon detected in frame
[0]
weapon detected in frame
[0]
weapon detected in frame
[0]
weapon detected in frame
[0]
weapon detected in frame
```

Рисунок 4.12 – Службовий вивід інформації про результат виявлення ВНП в терміналі програми

Проведені експериментальні дослідження показали працездатність запропонованого комбінованого методу виявлення вибухонебезпечних предметів за допомогою двох видів детекторів: детектору металів та WEB камери.

4.4 Охорона праці

Для електрозабезпечення обладнання прокладена трифазна чотирьох провідна мережа з глухозаземленою нейтраллю напругою 220/380 В, струм змінний частотою 50 Гц.

Для створення безпечних умов праці необхідно провести ряд організаційних і технічних заходів. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 для запобігання ураження людини електричним струмом в приміщенні застосовується система занулення.

Згідно НПАОП 40.1-1.21-98 конструкторський відділ можна віднести до категорії без підвищеної небезпеки, так як в приміщенні відсутні чинники, які викликають підвищену або особливу небезпеку. Інші ознаки, за якими приміщення можна віднести до категорії з підвищеною небезпекою або особливо небезпечним, відсутні.

Згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.12-05 необхідно провести вступний, первинний на робочому місці, повторний, цільовий та позаплановий інструктаж. Зміст інструктажу відповідає вимогам

НПАОП 0.00-4.12-05. Інструктаж відзначається в відповідних журналах з підписами інструктованих і інструктора.

Робота проводиться сидячи і не вимагає фізичної напруги. Тому вона відноситься до категорії Ia (легкі фізичні роботи, енерговитрати до 120 ккал / год). З метою забезпечити комфортні умови для працівників та відповідно до

ДСН 3.3.6.042-99 у відвідуванні встановлені наступні метеорологічні параметри:

а) для холодного періоду:

- 1) температура повітря від 22 °С до 24 °С;
- 2) вологість повітря від 40 % до 60%;
- 3) швидкість руху повітря оптимальна до 0,1 м / с;

б) для теплого періоду року:

- 1) температура повітря від 23 °С до 25 °С;
- 2) вологість повітря від 40% до 60%;
- 3) швидкість руху повітря оптимальна до 0,1 м/с.

Для освітлення робочих місць і приміщення в цілому застосовується як природне бічне освітлення, так і штучне освітлення.

Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%.

Згідно ДСН 3.3.6.037-99 рівень шуму в конструкторському відділі не перевищує 50 ДБ.

Загальний рівень штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, яка розраховується за формулою

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (4.1)$$

де W – питома потужність, Вт/м²;

S – площа приміщення, м²;

W_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки Вт, яка розраховується за формулою:

$$W_{\Sigma} = W_{cs} \cdot n_{cs}, \quad (4.2)$$

де W_{cs} – потужність одного світильника, Вт;

n_{cs} – кількість світильників в приміщенні, шт.

Дане приміщення має площу 216 м², в якому розташовано 10 світильників потужністю 100 Вт.

$$W_{\Sigma} = 10 \cdot 100 = 1000 \text{ Вт},$$

$$W = \frac{1000}{216} = 4,6 \text{ Вт / м}^2.$$

Табличне значення для отриманого результату освітленості становить менше 200 лк, по ДБН В.2.5-28-2006. У конструкторському відділі освітленість повинна бути 300 лк. Для отримання освітленості в 300 лк необхідна питома потужність 6,8 Вт / м². Для цього потрібно збільшити кількість світильників до 16, з потужністю 100 Вт.

4.5 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі було проведено експериментальні дослідження для перевірки роботи запропонованого методу. Описано експериментальний макет. Для експериментальних досліджень використовується: детектор металу «MDS-60»; WEB камера; міні-ПК Raspberry PI; два перехідника USB-UART. Відповідно до розробленого алгоритму роботи системи виявлення вибухонебезпечних предметів, міні-ПК отримує два сигнали: сигнал наявності металу в полі зору детектора та зображення від WEB камери для підтвердження наявності саме вибухонебезпечного предмету.

Описано програми розпізнавання вибухонебезпечних предметів та проведена перевірка запропонованого методу.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання аналізу літератури за темою кваліфікаційної роботи розглянуті загальні принципи виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів. Виконана класифікація роботизованих засобів для пошуку та знешкодження вибухонебезпечних предметів.

Проведено аналіз конструкцій та принципу роботи роботизованих засобів для виявлення вибухонебезпечних предметів. Розглянуті різні роботи різних виробників, наведені кінематичні схеми та структурні схеми системи керування. Виконано порівняння роботів для розмінування та наведено звітна таблиця з їх основними характеристиками.

Виконано аналіз сенсорної системи роботів для розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів та наведено таблицю з порівнянням можливостей сенсорних систем.

Розглянуто метод підвищення ефективності визначення мін з використанням контролеру нечіткої логіки. Розглянутий метод використовує декілька датчиків для підвищення ефективності виявлення вибухонебезпечних предметів.

Одночасно застосовуються металодетектор для виявлення металевих предметів та веб-камера для ідентифікації знайдених предметів. Таким чином вдається виявляти не тільки металеві вибухонебезпечні предмети, а й пластикові міни.

Розроблена структурна схема автоматизованої системи автоматичного виявлення ВВП включає два контури визначення наявності потенціально небезпечних предметів в полі зору сенсорів.

В якості сенсорів виступають:

- чутлива матриця відеокамери;
- індуктивна котушка металопшукача.

Два контури працюють незалежно та доповнюють один одного. Але прийняття рішення відбувається на основі сигналів від обох контурів в певний момент часу.

Проведено розробка алгоритму роботи програми. При розпізнаванні небезпечних предметів застосовується база даних характерних ознак ВНП.

Описано експериментальний макет. Для експериментальних досліджень використовується: детектор металу «MDS-60»; WEB камера; міні-ПК Raspberry PI; два перехідника USB-UART. Відповідно до розробленого алгоритму роботи системи виявлення вибухонебезпечних предметів, міні-ПК отримує два сигнали: сигнал наявності металу в полі зору детектора та зображення від WEB камери для підтвердження наявності саме вибухонебезпечного предмету.

Описано програми розпізнавання вибухонебезпечних предметів та проведена перевірка запропонованого методу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Савін В.А. Аналіз сучасних методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів / Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. Харків : ХНУРЕ, 2023. Вип. 1. С 110-114.

2. Савін В.А. Класифікація роботизованих систем для пошуку вибухонебезпечних предметів / Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. Харків : ХНУРЕ, 2023. Вип. 2. С 319-329.

3. ДСТУ 3008–2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Документація. Введ. 2015-06-22. К.: Держстандарт України, 2015. 31 с.

4. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипченко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2021. 55 с.

5. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. No 50. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademi-chnu-dobrochesnist.pdf.

6. Положення про кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 06 травня 2021 р. № 143. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/143-vid-06.05.2021-pro-vvedennja-v-dijurishennja-vchenoi-radi-universitetu.pdf

7. Закон України “Про вищу освіту” від 01.07.2014 № 1556-VII. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text>.

8. Положення про організацію освітнього процесу у ХНУРЕ [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 27.11.2020 р. № 400. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-organizaciju-osvitnogo-procesu-v-hnure.pdf.

9. Положення про організацію проведення практики здобувачів вищої освіти Харківського національного університету радіоелектроніки [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 03.05. 2019 р. № 222. Режим доступу: <https://nure.ua/wp-content/uploads/222-vid-03.05.2019-pro-vvedennja-v-dijurishennja-vchenoi-radi-universitetu.pdf>.

10. Вибухові боєприпаси посібник для України [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/vibuxovi-bojepripasi-posibnik-dlya-ukraini>

11. Глосарій термінів, визначень та скорочень з питань протимінної діяльності [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://www.mil.gov.ua/content/standarts/IMAS%2004.10.pdf>

12. Струтинський В.Б., Гуржій А.М. Наземні роботизовані комплекси: Монографія. Житомир: ПП «Рута»,2023. 524 с.

13. Vanguard MK2 EOD Robot [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://www.rf-links.com/newsite/pdf/robot1.pdf>

14. MK-5 EOD Robot [Електронний ресурс] : Режим доступу:<https://edition.cnn.com/2016/07/12/us/dallas-police-robot-c4-explosives/index.html>

15. Wheelbarrow Super-M [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/324142611.pdf>

16. ROBHAZ_DT2 [Електронний ресурс] : Режим доступу: https://www.academia.edu/110075747/Multi_modal_user_interface_for_teleoperation_of_ROBHAZ_DT2_field_robot_system

17. Слюсар В.І. Мінімальні вимоги до спроможностей як складова концепції розвитку наземних роботизованих комплексів /В.І. Слюсар // Науково-практична конференція «Актуальні проблеми застосування Збройних Сил України, управління ними, їх оперативного та матеріально технічного забезпечення». – 17-18 вересня 2019 р., ЦНДІ ЗСУ. https://slyusar.kiev.ua/CNDI_2019_1.pdf

18 Control of the Mobile Robots with ROS in Robotics Courses [Електронний ресурс] : Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/331845662_Model_of_Fuzzy_Regulator_of_Mobile_Robot_Motion_Control_System

19 Виявлення та класифікація наземних мін за допомогою надширококутного радару та штучних нейронних мереж [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://periodicals.karazin.ua/radiophysics/article/view/17444>

20 Waqar Farooq, Nehal Butt, Sameed Shukat, Nouman Ali Baig, Sheikh Muhammad Ahmed, “Wirelessly Controlled Mine Detection Robot” 2016 International Conference on Intelligent Systems Engineering (ICISE)

21. L. Robledo, M. Carrasco and D. Mery, “A survey of land mine detection technology” International Journal of Remote Sensing Vol. 30, No. 9, 10 May 2009, 2399-2410.

22. Rasaq Bello, “Literature Review on Landmines and Detection Methods” Frontiers in Science.

23. Основи наукових досліджень: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. 396 с.

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

25. Новоселов С.П. Багатопотокове програмне керування рухом промислового маніпулятора /Новоселов С.П., Сичова О.В., Теслюк С.І. Міжнародна науково-практична конференція,"Інтелектуальні інформаційні системи в управлінні проєктами та економіці в умовах воєнного,стану", 13–16 вересня 2022 року у місті Коблево. С. 92-95.

26. Невлюдов І.Ш. Визначення координат мобільного робота у промисловому приміщенні з використанням технології BLE на основі даних RSSI, отриманих від базових станцій / І.Ш. Невлюдов, С.П. Новоселов, О.В. Сичова, С.І. Теслюк // Радіотехніка. 2022. вип. 209, с.185-191. DOI:10.30837/rt.2022.2.209.18

27. Новоселов С.П. Автоматизація прокладення шляху в просторі на основі даних з сенсорів мобільних роботів / С.П. Новоселов, С.І. Теслюк // Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології AERT-2022. Харків, ХНУРЕ, 2022.

28. Yevsieiev V. Development of the Environmental Visualization System Based on ESP32-CAM / V. Yevsieiev, O. Luchaninova // Theory and Practice of Modern Science: The III International Scientific and Theoretical Conference, 1 April 2022. Kraków, Republic of Poland, 2022. Vol. 1. P. 79-81.

29. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці мереж [Електронний ресурс]: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12#Text>