

Робототехнічні системи та їх застосування для пошуку вибухонебезпечних предметів

Данило Шафоростов¹, Дмитро Янушкевич¹

1. Кафедра КПАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: danylo.shafarostov@nure.ua

Анотація: Застосування робототехнічних комплексів в системі гуманітарного розмінування обумовлено зусиллями всіх країн щодо збереження людських життів, як у бойових діях, так і в процесі гуманітарного розмінування територій, забруднених вибухонебезпечними об'єктами. Основними завданнями в задачі гуманітарного розмінування є пошук та ідентифікація ВЗ за їх демаскуючими ознаками.

Ключові слова: гуманітарне розмінування, вибухонебезпечний предмет, робототехнічні системи, маніпулятори.

I. ВСТУП

Робототехнічні рішення з відповідною модульною структурою та правильною адаптацією до місцевих умов та небезпечних неструктурованих зон, можуть значно підвищити безпеку персоналу, а також ефективність роботи, продуктивність і гнучкість. У цьому сенсі мобільні системи, оснащені маніпуляторами для виявлення та визначення місцезнаходження протипіхотних мін, вважаються найважливішими для автономного/напівавтономного визначення мін у професійній, надійній, безпечніший та ефективний спосіб.

II. ТЕХНОЛОГІЇ ВИЯВЛЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

Згідно даних організації з гуманітарного розмінування HALO Trust, на сході України виявлено 297 мінних полів загальною площею понад 26 мільйонів м², де знаходиться близько 3,3 мільйона мін та вибухонебезпечних предметів (ВНП). Роботи по створенню роботизованих систем та комплексів (РТС) військового (подвійного) призначення, включаючи роботизовані системи для проведення гуманітарного розмінування ведуться в Україні і за кордоном [1].

Гуманітарне розмінування – комплекс заходів, які проводяться з метою ліквідації небезпек, пов'язаних із вибухонебезпечними предметами (ВНП), включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, виявлення, знешкодження та знищення ВНП, їх маркування тощо [1].

Застосування РТС обумовлюється намаганням усіх країн світу до збереження життя людей, як в бойових умовах (в контексті якого використання РТС дозволяє досягти позитивні результати), а також в процесі гуманітарного розмінування територій, на яких знаходяться ВНП.

Система гуманітарного розмінування має виконувати задачі:

- пошук, ідентифікацію та знешкодження ВНП;
- картографування та маркування територій, забруднених ВНП;
- здійснення оцінювання якості гуманітарного розмінування.

Головними завданнями у проблемі гуманітарного розмінування є пошук та ідентифікація ВНП. Виявлення мін та ВНП означає їх пошук та ідентифікацію у відповідності з їх демаскуючими ознаками [2]:

- наявність вибухової речовини;
- наявність локально розташованої маси металу;
- характерна геометрична форма мін та ВНП;
- неоднорідність середовища, де розміщений ВНП (порушення поверхні ґрунту, дорожнього покриття, стіни будівлі, порушення кольору рослинності або снігового покриву тощо).

Традиційна система виявлення та ідентифікації мін та ВНП наведені у табл. 1. Систему можна розділити на 2 типи [3]:

- система типу А, призначена для виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних предметів у середовищах, що покривають, що використовують енергію систем пошуку;
- системи типу П, що використовують енергію об'єкта пошуку.

Таблиця 1. Методи виявлення ВНП

«А»	«П»
1. Механічний	1. Газоаналітичний
2. Оптичний	2. Ядерно-фізичний
3. Теплолокаційний	3. Біофізичний
4. Електромагнітний	4. Акустичний
5. Параметричний	

В даний час найбільше застосування знайшли такі методи: електромагнітні (індукційний, радіохвильовий, магнітометричний, нелінійний), ядерно-фізичні, теплофізичний і механічний (механічного зондування). Саме вони дозволяють створити технічні засоби пошуку ВНП, які можуть бути придатними для гуманітарного розмінування.

Проблеми, які виникають при застосування цих методів – це питання безпеки і зниження часових та матеріальних витрат на розмінування. Інші вимоги: кліматичні, ефективність роботи в темний час доби, стійкість до механічних впливів, електромагнітна сумісність тощо.

Класифікація робототехнічних комплексів військового призначення передбачає їх поділ на три категорії [3]:

1. «Людина в системі управління» – до цієї категорії віднесені безпілотні машини, які самостійно виявляють цілі та здійснюють їх поділ, проте рішення про їх знищення приймає тільки людина-оператор.

2. «Людина над системою управління» – до цієї категорії належать системи, які знаходяться під керуванням людини-оператора, здатним втрутитися

для коригування чи блокувати рішення при самостійному виборі або знищенні цілі системою.

3. «Людина поза системою управління» – до цієї категорії віднесені системи здатні виявляти, вибирати та знищувати цілі самостійно без людського втручання.

Найбільш поширені РКВП першого покоління та швидко удосконалюються системи другого покоління.

Зразки сучасних індукційних міношукачів, оснащених системами обробки сигналу на основі використання мікропроцесорів, дозволяють проводити селективний пошук предметів із кольорових металів на тлі предметів-перешкод із чорних металів чи навпаки.

Функціонування металошукачів засноване або на гармонійному методі, що дозволяє виявити металеві об'єкти за рахунок вимірювання параметрів наведеного в них сигналу (фаза і амплітуда), що збуджується гармонічним струмом, або на методі перехідних процесів, що дозволяє виявити металеве тіло по вторинному струму, що затухає в ньому.

Середній темп пошуку більшості сучасних міношукачів лежить у межах 120..400 м²/год і визначається в основному наявністю сторонніх металевих предметів (перешкод), яких особливо багато у місцях житлової забудови та господарської діяльності людини, а також у місцях ведення бойових дій.

Для виявлення ВОП та багатьох інших об'єктів, прихованих у однорідних середовищах (грунті, стінах тощо), можуть використовуватися радіохвильові детектори (радіохвильові міношукачі або локатори). Функціонування приладів засноване на випромінюванні електромагнітного надвисокочастотного сигналу (2,0 ГГц і більше) і подальшому аналізі відбитого сигналу від об'єктів, які мають контрастом діелектричної проникності по відношенню до середовища, в якому вони знаходяться. Внаслідок цього є можливість виявлення практично будь-яких об'єктів – не тільки металевих предметів, а й інших неоднорідностей, наприклад, пустот, пластмасових та дерев'яних предметів.

Нелінійні радіолокатори призначені для виявлення радіоелектронних пристроїв, що містять напівпровідникові прилади з нелінійними вольтамперними характеристиками. Такими пристроями є електронні та електромеханічні, радіозакладки та інші радіоелектронні пристрої. Функціонування нелінійних радіолокаторів засновано на опроміненні місцевості, що досліджується, приміщення тощо зондуємим сигналом надвисокочастотного діапазону і прийомом відбитого сигналу, що містить вищі гармоніки зондуемого сигналу. Як правило, прийомний пристрій нелінійного радіолокатора побудовано на другій гармоніці зондуемого сигналу [4].

Слід відзначити такий недолік усіх без винятку металошукачів, як можливість приведення до спрацьовування деяких типів підрильників інженерних мін з магнітними датчиками мети та саморобних електронних та електромеханічних підрильників.

III. ДИЗАЙН ТА ПРОТОТИП

Мобільний маніпулятор, складається з легкого шасі, маніпулятора з двома ступенями свободи з металодетектором і камерою, прикріпленими до другої ланки, комунікаційного модуля для обміну повідомленнями та зображеннями між роботом і спостерігачем і обробки зображень. модуль.

Шасі: воно виготовлено з алюмінію, щоб бути міцним у механічній обробці та малим за вагою для меншої швидкості двигуна. Він містить два шари з достатнім простором між ними, щоб закріпити батареї та електронні плати, а також захистити їх від зовнішнього середовища, яке в основному є пустотами. Дві пластини також вакуумовані, щоб зменшити вагу та полегшити кріплення різних частин. Чотири широкі колеса прикріплені до шасі з одним двигуном, що працює з кожного боку, і ланцюговий ремінь використовується для передачі руху між двома колесами. Окрема плата призначена для керування рухом шасі, включаючи H-Bridge для руху вперед і назад двох двигунів. Основним підходом у розробці проектів є уникнення складності, де це можливо, прагнення до меншої, а не високої щільності компонентів і використання багатофункціональних компонентів, які зменшують загальну вагу будь-якої конкретної збірки.

Рука: два ступені свободи закріплені у верхній частині шасі, де основа робота обертається навколо вертикальної осі для сканування навколишнього середовища на наявність ВВП, металошукач, та поляризована камера для виявлення надводних і заглиблені міни, кріпиться до висувної другої ланки, яка при необхідності рухається вгору і вниз. Металошукач замінює кінцевий ефект маніпулятора, а камера закріплена на невеликій відстані від металошукача, як представлено на рис. 1.



Рис.1. Зразок робота-маніпулятора для виявлення ВВП

Комунікаційний модуль: складається з двох основних об'єктів: портативного ноутбука, закріпленого на мобільному маніпуляторі під назвою «Робот», і іншого ноутбука під назвою «Спостерігач» перед особою, яка керує процесом виявлення мін, і бездротової системи зв'язку для передачі повідомлень і зображення між ними. Комп'ютер містить бази даних пошуку і маркування мін, бази даних миттєво оновлюються, коли маніпулятор виконує обов'язки для створення алгоритму машинного навчання.

Модуль обробки зображень: Техніка обробки зображень використовується для перевірки, чи є

виявлений об'єкт міною чи ні. Коли об'єкт виявлено, мікроконтролер надсилає повідомлення про зупинку маніпулятора, а камера робить знімок запропонованої цілі та надсилає його також на комп'ютер. Алгоритм аналізує отримане зображення та порівнює його з тим, що знаходиться всередині збережених баз даних, використовуючи інструментарій обробки зображень. Запропонований алгоритм має дві бази даних для правильного зображення і для фальшивих об'єктів, таких як банки, або інше. Виявлення будь-якого зображення базується на трьох основних функціях Colorhist, Edgehist і Edgedirection. Colorhist аналізує зображення відповідно до ймовірності кольору, знайденого на зображенні, і цієї функції. Edgehist аналізує зображення на основі його країв. Edgedirection описує кути між ребрами в різних напрямках, і всі дані зберігаються. Після того, як алгоритм визначає особливості захопленого зображення, він починає перевіряти, чи є відповідність між характеристиками зображення та зображеннями, збереженими в базах даних. Якщо відсоток похибки між захопленим зображенням і збереженим зображенням не перевищує 30%, алгоритм розцінює це як міну та надсилає спостерігачу повідомлення «Виявлена міна» разом із координатами можливої міни. Це також збереже зображення в базі даних для подальшого використання. Якщо відсоткова помилка перевищує 30%, комп'ютер надсилає повідомлення і зберігає його в базі даних для подальшого використання. За допомогою цієї техніки оновлення баз даних простий алгоритм машинного навчання розроблений, щоб навчити машину розпізнавати зображення та надсилати належне повідомлення контролеру робота, не чекаючи спостерігача, щоб надіслати повідомлення для продовження пошуку пізніше.

Однією з головних проблем проекту є створення системи бездротового зв'язку для обміну зображеннями та повідомленнями між мобільним маніпулятором і спостерігачем, щоб оператор міг перевіряти скановане поле, сидячи в безпечному місці. Існує багато методів встановлення зв'язку між пристроями, спільний дріт, технологія Bluetooth, спільний бездротовий зв'язок за допомогою точок доступу або спеціального з'єднання.

Бездротова мережа ідеально підходить для підключення пристроїв і передачі повідомлень і зображень у місцях, де було б важко або дорого прокласти кабелі Ethernet [5].

Спеціальна мережа — це тимчасова мережа, яка використовується для обміну файлами, підключенням до Інтернету між кількома комп'ютерами та пристроями. Робота в режимі ad-hoc дозволяє всім бездротовим пристроям у радіусі дії один одного виявляти та спілкуватися в одноранговому режимі без залучення центральних точок доступу. Єдиним недоліком є те, що мережа охоплює лише 10 метрів, що змушує нас відповідно проєктувати дослідницьке поле. Після встановлення з'єднання між роботом і спостерігачем за допомогою спеціального методу для обміну повідомленнями між ними застосовується нова техніка під назвою (WCF). Windows Communication Foundation — це структура для створення сервіс-орієнтованих програм. За допомогою WCF можна

надсилати дані як асинхронні повідомлення від однієї кінцевої точки служби до іншої. Це також середовище виконання та набір API для створення систем, які надсилають повідомлення між службами та клієнтами. Кінцева точка може бути клієнтом служби, який запитує дані від кінцевої точки служби. Повідомлення можуть бути простими, як один надісланий символ чи слово, або складними, як потік двійкових даних.

IV. ВИСНОВКИ

Пошук та ідентифікація ВВП для гуманітарного розмінування є комплексним завданням. Для проведення гуманітарного розмінування РКВП повинні мати відповідні маніпулятори та пристрою: металощукач, засоби для відеозв'язку, засобами прийняття рішень для застосувань на етапах розвідки, пошуку, маркування, ідентифікації, знешкодження та знищення ВВП.

Вертикальний рух другої ланки дозволяє камері отримати чітке зображення ВВП. Найважливішою частиною проєкту є порівняння нині відсканованого зображення з вбудованими зображеннями в базах даних роботехнічною системою та обмін повідомленнями та зображеннями зі спостерігачем. При умові що модуль обробки зображень працює належним чином і може легко порівнювати зображення та видавати правильне рішення. Це допоможе побудувати алгоритм машинного навчання, який дозволить роботу швидко й точно розпізнавати міни. З іншого боку, після встановлення зв'язку між роботом і спостерігачем відбувається безперервний обмін повідомленнями та зображеннями. Конструкція шасі у вигляді прямокутника, прикріпленого до півкола, дозволяє уникнути перешкод для сигналу металодетектора шасі [6].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] Янушкевич Д. А., Кирпота Ф. В. (2021). Роботизовані системи та їх застосування у гуманітарному розмінуванні. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві», Харків, ХНАДУ, С. 104-109.

[2] Nevludov I., Yanushkevych D., Ivanov L. (2021). Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian mining. *Technology Audit and Production Reserves*, 6/2 (62), 47-52.

[3] Толкунов І. О., Попов І. І., Янушкевич Д. А. Застосування сучасних роботизованих систем і комплексів у гуманітарному розмінуванні (2022). *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations»*. Харків: НУЦЗУ. С. 112-114.

[4] Петров С.І. До оцінки можливості виявлення вибухових речовин і пристроїв, що містять їх. *Спеціальна техніка*, № 4, 2001.

[5] Ata A. A. Alexandria University (2015). *Autonomous mobile robot for mine detection*, May 2015, pp. 607-608.