

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи магістра
на тему: «**Автоматизована система контролю прикордонних територій**»

Виконав студент 2 курсу, групи ЗАТ-23м
спеціальності 174 “ Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка”

Луців Степан Романович

(прізвище та ініціали студента)

Керівник: к.т.н., доц. Ткачук А.Г.

(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Чепюк Л.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

Житомир – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
Факультет комп’ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Спеціальність 174 “Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології
та робототехніка”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
робототехніки, електроенергетики
та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна
к.т.н., доц. Громовий О.А.
_____ к.т.н., доц. Громовий О.А.
« _____ » _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Студент Луців Степан Романович

1. Тема роботи: Автоматизована система контролю прикордонних територій

Затверджена Наказом по університету від «12» листопада 2024 р. № 647/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедрі «18» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи огляд властивостей об’єкта дослідження, детальний аналіз структурної схеми системи, аналіз систем аналогів, а також обґрунтування вибору обладнання

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
У роботі аналізуються сучасні методи моніторингу прикордонних територій та переваги автоматизованих систем. Досліджено можливості датчиків руху і алгоритмів комп’ютерного зору для ідентифікації рухомих об’єктів. Розроблено концепцію системи, яка інтегрує датчики, камери та алгоритми обробки зображень у реальному часі. Оптимізовано програмне забезпечення та вибрано апаратне забезпечення для забезпечення надійної роботи системи. Реалізовано алгоритми для відстеження порушників та проведено тестування прототипу в умовах, наближених до реальних

5. Перелік презентативного матеріалу (з точним визначенням обов’язкових слайдів/креслень) технічне завдання, огляд та аналіз існуючих систем,

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1, 2, 3, 4	Ткачук А.Г., к.т.н, доцент	<u>20.10.2024</u>	<u>20.10.2024</u>

7. Дата видачі завдання 11.09.2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготувати звіт про переддипломну практику	1.11.2024 – 1.12.2024	виконано
2.	Провести аналіз сучасних методів моніторингу	21.09.2024 – 24.09.2024	виконано
3.	Розглянути алгоритми комп'ютерного зору	24.09.2024 – 11.10.2024	виконано
4.	Розробити концепцію системи	11.10.2024 – 02.11.2024	виконано
5.	Здійснити вибір апаратного забезпечення	02.11.2024 – 10.11.2024	виконано
6.	Розробка блок-схеми алгоритму та реалізувати алгоритми комп'ютерного зору	10.11.2024 – 30.11.2024	виконано
7.	Виконати тестування прототипу	30.11.2024 – 11.12.2024	виконано

Студент

(підпис, дата)

С.Р. Луців

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис, дата)

А.Г. Ткачук

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена розробці автоматизованої системи контролю прикордонних територій з метою підвищення ефективності моніторингу, виявлення несанкціонованих проникнень та забезпечення ситуаційної обізнаності в режимі реального часу. У роботі проаналізовано сучасні технічні засоби для охорони периметру, зокрема сенсорні модулі, відеоспостереження, тепловізійні камери, дрони та інтеграцію систем за допомогою мережевих протоколів.

Розроблено архітектуру автоматизованої системи, яка передбачає взаємодію датчиків, засобів обробки інформації, нейронних мереж для виявлення об'єктів та тривожного сповіщення. Сформовано алгоритм функціонування системи та представлено програмну реалізацію модуля моніторингу з візуалізацією даних.

THE ABSTRACT

The master's thesis is devoted to the development of an automated system for border area control aimed at enhancing the efficiency of monitoring, detecting unauthorized intrusions, and providing situational awareness in real time. The work analyzes modern technical means for perimeter security, including sensor modules, video surveillance, thermal imaging cameras, drones, and the integration of systems using network protocols.

The architecture of the automated system has been developed, providing interaction between sensors, data processing tools, and neural networks for object detection and threat alerting. An operational algorithm for the system has been formulated, and the software implementation of the monitoring module with data visualization has been presented.

РЕФЕРАТ

В описаній роботі магістра було розроблено автоматизовану систему виявлення вибухонебезпечних об'єктів на основі БПЛА.

В розділі «ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПРИКОРДОННИХ ЗОН» розглянуто особливості сучасних систем моніторингу прикордонних зон, особливості різних камер та датчиків.

В розділі «ОСНОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРИКОРДОННИХ ТЕРИТОРІЙ » проведено аналіз методів обробки зображень для детектування порушників на зображенні та в русі для детектування в реальному часі.

В розділі «РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРИКОРДОННИХ ТЕРИТОРІЙ» виконано підбір апаратної баз для відтворення макету системи, а також розроблено алгоритм роботи та структуру підключення елементів.

В розділі «ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ» розписано взаємодію елементів з Raspberry Pi 4, а також продемонстровано результати виконання програми.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
Розділ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПРИКОРДОНИХ ЗОН.....	11
1.1. Особливості сучасних систем моніторингу прикордонних зон.....	11
1.2. Використання камер у системах безпеки: порівняння кольорових та інфрачервоних режимів	24
1.3. Роль датчиків руху в автоматизованих системах контролю	29
Розділ 2. ОСНОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРИКОРДОНИХ ТЕРИТОРІЙ	36
2.1. Методи обробки зображень для детектування порушників	36
2.2. Алгоритми виявлення руху в реальному часі	39
2.3. Постановка мети та завдань магістерської роботи	42
Розділ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРИКОРДОНИХ ТЕРИТОРІЙ.....	44
3.1. Вибір апаратної бази для реалізації системи	44
3.2. Розробка алгоритму роботи системи та структурної схеми.....	54
Розділ 4. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ	57
4.1. Розробка програмного забезпечення для взаємодії елементів з Raspberry Pi 4.....	57
4.2. Візуалізація результатів роботи програми.....	59
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку суспільства проблема охорони державних кордонів є одним із ключових завдань для забезпечення національної безпеки. Особливо актуальним це питання стає в умовах зростання геополітичної напруженості, нелегальної міграції, контрабанди та інших загроз. Забезпечення надійного моніторингу прикордонних територій ускладнюється великими площами зон спостереження, важкодоступними ділянками місцевості та складними погодними умовами. Традиційні методи, такі як патрулювання прикордонних зон або встановлення стаціонарних спостережних пунктів, часто є недостатньо ефективними через обмежену мобільність, високу вартість утримання та ризики для життя персоналу.

Новітні технології автоматизації, включаючи системи комп'ютерного зору, датчики руху та розумні камери, пропонують перспективні рішення для покращення контролю прикордонних територій. Зокрема, використання камер, що працюють у кольоровому та інфрачервоному режимах, дозволяє здійснювати моніторинг у будь-який час доби та за будь-яких погодних умов. Датчики руху підвищують точність виявлення потенційних порушників, а інтеграція звукових сигналізацій забезпечує оперативне інформування про інциденти.

Застосування Raspberry Pi як обчислювальної платформи дозволяє створити компактну, енергоефективну та доступну за вартістю систему, яка обробляє дані в реальному часі та виконує завдання автоматичного виявлення порушників. Поєднання цих технологій відкриває можливість створення автоматизованої системи контролю прикордонних територій, яка є адаптивною до різних умов середовища та мінімізує ризики для прикордонного персоналу.

Актуальність теми дослідження визначається необхідністю створення ефективних, доступних і автоматизованих засобів моніторингу державного кордону. У сучасних умовах такі системи мають забезпечувати оперативне

виявлення, точну локалізацію та миттєве реагування на загрози. Незважаючи на значний прогрес у цій сфері, низка відкритих питань, пов'язаних із обробкою даних у реальному часі, стабільністю роботи в різних середовищах та інтеграцією мультисенсорних даних, потребує подальших досліджень.

1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПРИКОРДОННИХ ТЕРИТОРІЙ

1.1. Особливості сучасних систем моніторингу прикордонних зон

Сучасні системи моніторингу прикордонних зон є складними інтегрованими технологічними комплексами, що об'єднують різні методи та інструменти для забезпечення надійного контролю та безпеки національних кордонів. Ці системи включають використання передових технологій, таких як радары, тепловізійні камери, дрони, системи штучного інтелекту, датчики руху та звукові сигналізації. Основною метою таких систем є запобігання нелегальному перетину кордону, контрабанді, терористичним загрозам та іншим видам злочинної діяльності.

Однією з ключових характеристик сучасних систем моніторингу є їх інтеграція з різноманітними сенсорними технологіями. Радіолокаційні системи дозволяють виявляти об'єкти на великих відстанях та в складних погодних умовах, використовуючи радіохвилі для сканування території. Тепловізійні камери надають можливість бачити в темряві, виявляючи об'єкти за їх інфрачервоним випромінюванням. Це особливо корисно для моніторингу в нічний час або в умовах низької видимості, таких як густий туман.

Важливою складовою сучасних систем моніторингу прикордонних зон є безпілотні літальні апарати (БПЛА), які дозволяють здійснювати постійний моніторинг великих територій без залучення великої кількості людських ресурсів. Дрони оснащені камерами високої роздільної здатності, інфрачервоними сенсорами та іншими датчиками, що дозволяє отримувати детальну інформацію про стан території в реальному часі. Використання БПЛА значно підвищує ефективність моніторингу, оскільки вони можуть швидко переміщуватися над великою територією та виявляти потенційні загрози. З 2006 року безпілотники Predator В патрулюють кордон з висоти 2500 метрів, знімаючи відео в реальному часі та детальні інфрачервоні та радарні зображення. Останнім часом прикордонники замінили ці великі та дорогі

моделі військового класу на менші, спритніші, які можуть поміститися в кузов патрульної машини та піднятися в повітря за лічені хвилини. Ці дрони можуть швидко та ефективно охоплювати великі території за відносно низьких витрат, проте вони мають обмежений час автономної роботи та запас ходу, а також можуть порушувати питання конфіденційності.

Також сканери вантажу є невід'ємною частиною сучасних систем моніторингу прикордонних зон, оскільки більшість нелегальних наркотиків контрабандою перевозяться через порти в'їзду, змішуючись з легальними продуктами або ховаючись у секретних відсіках, включаючи автомобільні бензобаки. Прикордонні агенти використовують сучасні датчики для виявлення контрабанди за найменшими змінами тиску повітря або складу газів, що виділяються з транспортного засобу, контейнера або пакета. Останнє покоління рентгенівських і гамма-сканерів показує високу ефективність у виявленні контрабанди, проте ці сканери є дорогими та вимагають ретельної підготовки для прикордонних агентів. Крім того, їх великі розміри обмежують можливість встановлення в кожному порту, що може скоротити кількість смуг для транспортних засобів.

Однією з передових технологій, що використовується в сучасних системах моніторингу, є комп'ютерний зір та штучний інтелект. Завдяки алгоритмам машинного навчання, таким як YOLO (You Only Look Once), системи можуть автоматично виявляти та ідентифікувати різні об'єкти, включаючи людей, транспортні засоби та інші потенційно небезпечні об'єкти. Це дозволяє здійснювати аналіз даних в реальному часі та оперативно реагувати на загрози, зменшуючи ризик хибних спрацьовувань.

Датчики руху є ще одним важливим елементом систем моніторингу прикордонних зон. Вони використовуються для виявлення будь-яких переміщень у зоні моніторингу та можуть активувати інші системи, такі як камери чи звукові сигналізації, для додаткової перевірки ситуації. Використання датчиків руху дозволяє створювати багатопланові системи

захисту, де різні сенсори працюють спільно для підвищення точності виявлення та мінімізації хибних сигналів.

Системи звукової сигналізації використовуються для оперативного попередження про виявлення загроз. Вони можуть бути інтегровані з іншими компонентами системи, такими як камери та датчики руху, для автоматичного увімкнення у разі виявлення підозрілої активності. Це забезпечує швидку реакцію та дозволяє персоналу вживати необхідних заходів для ліквідації загрози.

Крім того, сучасні системи моніторингу прикордонних зон інтегруються з геоінформаційними системами (ГІС), що дозволяє вести просторовий аналіз даних та створювати детальні карти зон моніторингу. Це особливо корисно для планування операцій, розподілу ресурсів та оцінки ризиків.

Види технологій безпеки кордонів, які використовуються в даний час

1. Фізичні бар'єри;
2. Технології виявлення контрабандних вантажів;
3. Технології спостереження за кордоном для відстеження людей у віддалених районах;
4. Технології біометричної ідентифікації.

Нещодавній технологічний прогрес дозволив створити широкий спектр пристроїв біометричної ідентифікації, які використовують фізичні характеристики для ідентифікації людей, що перетинають кордони. До таких технологій належать цифрові паспорти з біометричними даними на вбудованому RFID-чіпі, сканери відбитків пальців, сканери райдужної оболонки ока та мережеві камери з програмним забезпеченням для розпізнавання обличчя на основі штучного інтелекту. Ці біометричні дані поширюються між різними прикордонними та правоохоронними органами для забезпечення надійної та точної ідентифікації. Однак, використання біометрії викликає занепокоєння щодо конфіденційності та захисту даних, а також

вимагає ретельної підготовки прикордонних агентів для ефективного використання цих технологій. Крім того, для кольорових людей вони вразливі до упередженості та неточностей.

Сучасні системи моніторингу прикордонних зон включають широкий спектр передових технологій для забезпечення надійного контролю та безпеки. Вони включають використання сканерів вантажу, технологій електронного спостереження, наземних та повітряних систем моніторингу, дронів та біометричних пристроїв ідентифікації. Кожна з цих технологій має свої переваги та обмеження, які повинні бути враховані для ефективного захисту кордонів.

1.2. Використання камер у системах безпеки: порівняння кольорових та інфрачервоних режимів

Камери відіграють головну роль в автоматизованих системах моніторингу прикордонних зон, забезпечуючи візуальне спостереження та автоматичну фіксацію подій у зоні моніторингу. Ці системи здатні працювати цілодобово, надаючи оператору точну інформацію про ситуацію на кордоні в реальному часі. Вибір між кольоровими та інфрачервоними режимами роботи камер визначається низкою факторів, пов'язаних з умовами експлуатації та конкретними завданнями, які стоять перед системою.

Кольоровий режим роботи камер

Кольоровий режим є основним та традиційним для камер відеоспостереження, який дозволяє отримувати зображення у видимому спектрі світла, що охоплює діапазон від 400 до 700 нанометрів. Цей режим забезпечує отримання високодеталізованих зображень, які є надзвичайно важливими для точного аналізу подій, осіб та об'єктів при достатньому рівні освітленості. Завдяки кольоровому режиму, відеоспостереження стає більш інформативним,

оскільки кольори додають додатковий вимір до візуальної інформації, що значно спрощує ідентифікацію та аналіз ситуацій.

Основною перевагою кольорового режиму є здатність передавати багатство кольорових відтінків, що дозволяє детально розрізняти об'єкти на зображенні. Наприклад, в умовах денного світла або при достатньому штучному освітленні, кольорові камери можуть чітко показувати відмінності у кольорі одягу, транспортних засобів, навколишнього середовища тощо. Це є ключовим фактором для забезпечення точної ідентифікації осіб та предметів, оскільки кольори можуть містити критичну інформацію про події.

Крім того, кольорові камери дозволяють детально спостерігати за змінами у навколишньому середовищі, що може бути важливим для моніторингу прикордонних зон. Наприклад, зміни у кольорі рослинності можуть свідчити про присутність людини або транспортного засобу. Також, кольоровий режим дозволяє краще аналізувати зображення для виявлення аномалій, таких як невідповідність кольору певного об'єкта з очікуваним кольором.

Варто зазначити, що кольорові камери є особливо ефективними при достатньому рівні освітленості. В умовах низького освітлення, їх ефективність може знижуватися через недостатню кількість світла, яка досягає сенсора камери, що може призводити до зниження якості зображення та втрати деталей. Для покращення якості зображення у таких умовах можуть використовуватися додаткові джерела світла, такі як інфрачервоні підсвітки, які дозволяють зберігати високу якість зображення навіть у темряві.

Кольоровий режим також дозволяє використовувати різні алгоритми комп'ютерного зору для автоматичного аналізу відеопотоку. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть бути налаштовані на розпізнавання кольорів для автоматичної класифікації об'єктів або виявлення підозрілих дій. Це підвищує ефективність системи моніторингу та дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози.

Кольоровий режим у камерах відеоспостереження забезпечує високу деталізацію та багатство кольорових відтінків, що є критично важливим для точного аналізу подій та об'єктів при достатньому рівні освітленості. Використання кольорових камер у системах моніторингу прикордонних зон дозволяє значно підвищити ефективність і точність виявлення та ідентифікації об'єктів, сприяючи забезпеченню надійного контролю та безпеки територій.

Інфрачервоний режим роботи камер

Інфрачервоні (ІЧ) камери є важливим інструментом для моніторингу прикордонних зон, оскільки вони працюють у спектральному діапазоні від 700 до 14 000 нанометрів, що дозволяє виявляти об'єкти на основі їхнього теплового випромінювання. Принцип роботи ІЧ-камер базується на здатності вловлювати інфрачервоне випромінювання, яке випромінюють об'єкти залежно від їхньої температури. Це робить ІЧ-режим незамінним для спостереження в темний час доби, а також у складних погодних умовах, таких як туман, дощ або сніг.

Основна перевага ІЧ-камер полягає у їхній здатності забезпечувати спостереження незалежно від освітленості. У темряві, коли звичайні кольорові камери стають неефективними через недостатню кількість світла, ІЧ-камери продовжують працювати завдяки тепловому випромінюванню об'єктів. Це забезпечує безперервний моніторинг прикордонних зон та дає можливість виявляти потенційні загрози в будь-який час доби.

Крім того, ІЧ-камери мають високу пробивну здатність крізь перешкоди, такі як дим, туман або густі крони дерев. Теплове випромінювання менш чутливе до таких перешкод порівняно зі звичайним видимим світлом, що дозволяє виявляти об'єкти, які можуть бути приховані від звичайних камер. Це робить ІЧ-камери особливо корисними для забезпечення безпеки у важкодоступних або обмежено видимих районах прикордонних зон. ІЧ-камери також мають високу чутливість до різниці температур, що дозволяє їм виявляти

навіть незначні температурні аномалії. Це важливо для виявлення людей або транспортних засобів, які можуть виділяти тепло внаслідок своєї діяльності або роботи двигунів. Застосування ІЧ-камер у поєднанні з іншими технологіями, такими як радіолокаційні системи та датчики руху, значно підвищує ефективність моніторингу та виявлення порушників.

Важливою особливістю ІЧ-камер є їх здатність надавати деталізовані зображення теплових полів, що дозволяє операторам не лише виявляти об'єкти, але й аналізувати їх характер та поведінку. Сучасні ІЧ-камери оснащені вдосконаленими алгоритмами обробки зображень, які можуть автоматично виявляти та ідентифікувати об'єкти, що значно спрощує завдання оператора. Одним з найбільш передових напрямків розвитку ІЧ-технологій є інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання. Використання таких алгоритмів, як YOLO (You Only Look Once), дозволяє проводити аналіз зображень у реальному часі, автоматично розпізнавати об'єкти та класифікувати їх за різними ознаками. Це забезпечує високу точність виявлення та мінімізацію хибнопозитивних сигналів, що є критично важливим для забезпечення надійного контролю прикордонних зон. Застосування ІЧ-камер у комплексі з іншими сенсорами та технологіями дозволяє створювати багатосарові системи моніторингу, де різні сенсори працюють разом для підвищення точності та надійності виявлення. Це забезпечує всебічний контроль території та швидку реакцію на потенційні загрози, сприяючи підвищенню рівня безпеки. ІЧ камери є незамінним інструментом для моніторингу прикордонних зон у темний час доби та в складних погодних умовах. Їх здатність виявляти об'єкти на основі теплового випромінювання забезпечує безперервний та ефективний контроль території, допомагаючи своєчасно виявляти та реагувати на потенційні загрози. Інтеграція ІЧ-камер з іншими технологіями та сенсорами значно підвищує їхню ефективність та надійність у забезпеченні безпеки прикордонних зон.

Порівняльні характеристики

Параметр	Кольорові камери	Інфрачервоні камери
Роздільна здатність	До 4K (3840×2160)	Typically 640×480
Чутливість	0.01-0.1 лк	Не залежить від освітлення
Робоча температура	-30°C до +60°C	-40°C до +80°C
Споживана потужність	3-5 Вт	5-10 Вт
Дальність виявлення	До 100 м (при достатньому освітленні)	До 2000 м

Комплексне використання кольорових та інфрачервоних камер забезпечує найбільш ефективний моніторинг прикордонних територій. Кольорові камери забезпечують високу деталізацію та точне розпізнавання об'єктів при достатньому освітленні, тоді як інфрачервоні камери гарантують цілодобовий моніторинг та виявлення порушників у будь-яких погодних умовах.

При проектуванні системи рекомендується використовувати гібридний підхід з урахуванням специфіки місцевості та вимог до безпеки конкретної ділянки кордону. Це дозволить досягти оптимального співвідношення ефективності та економічної доцільності впровадження системи.

1.3. Роль датчиків руху в автоматизованій системі контролю

Датчики руху є одним із ключових елементів автоматизованих систем моніторингу прикордонних зон. Їх основна функція полягає у виявленні руху об'єктів у контрольованій зоні та передачі сигналу до системи управління для подальшої обробки. Завдяки високій чутливості та точності сучасні датчики руху дозволяють ефективно забезпечувати виявлення несанкціонованих проникнень, забезпечуючи своєчасну реакцію на потенційні загрози.

Автоматизація прикордонного моніторингу за допомогою датчиків руху мінімізує залежність від людського фактора, підвищує ефективність системи та знижує ризики, пов'язані з людськими помилками.

Датчики руху поділяються за принципом дії на кілька основних типів:

1. Інфрачервоні датчики руху (PIR – Passive Infrared Sensors);
2. Ультразвукові датчики руху;
3. Мікрохвильові датчики руху.

Інфрачервоні датчики руху (PIR – Passive Infrared Sensors)

Інфрачервоні пасивні датчики руху (PIR) є широко розповсюдженими пристроями, які виявляють рух об'єктів шляхом аналізу змін в інфрачервоному випромінюванні. Вони особливо чутливі до теплових об'єктів, таких як люди чи тварини, що випромінюють інфрачервоне випромінювання в більшій кількості, ніж холодніші предмети [1].

Принцип роботи полягає в тому, що PIR датчик містить піроелектричний елемент, який генерує електричний заряд при зміні температури. Коли тепловий об'єкт перетинає поле зору датчика, він викликає зміну температури піроелектричного елемента, що призводить до виникнення електричного сигналу. Цей сигнал обробляється електронною схемою датчика і може використовуватися для активації різних пристроїв, таких як освітлення, сигналізація або системи автоматичного управління.

Переваги PIR датчиків:

- + Низьке енергоспоживання: PIR датчики є пасивними, тобто вони не випромінюють власного випромінювання, а лише фіксують зміни існуючого. Це дозволяє їм працювати тривалий час від батарей або акумуляторів.

- + Висока чутливість до руху теплокровних об'єктів: PIR датчики найбільш ефективні при виявленні руху людей і тварин, оскільки вони випромінюють найбільшу кількість інфрачервоного випромінювання.
- + Відносно низька вартість: Порівняно з іншими типами датчиків руху, PIR датчики є більш економічними.
- + Проста інсталяція та налаштування: PIR датчики зазвичай мають просту конструкцію і не вимагають складного монтажу.

Недоліки PIR датчиків:

- Залежність від температури середовища: Ефективність PIR датчиків може знижуватися при значних змінах температури навколишнього середовища, оскільки це може призводити до фальшивих спрацювань.
- Невисока ефективність при виявленні об'єктів, що рухаються повільно або перебувають за перешкодами: PIR датчики можуть не виявити повільно рухомі об'єкти або об'єкти, які повністю або частково закриті перешкодами.
- Чутливість до протягів: Повітряні потоки можуть викликати зміни температури в зоні дії датчика, що може призводити до фальшивих спрацювань.

Приклади моделей PIR датчиків:

- HC-SR501: Один з найбільш популярних і недорогих PIR датчиків, який широко використовується в аматорських проектах і побутових пристроях.
- GP2Y0E03: Компактний PIR датчик з високою чутливістю, який часто використовується в робототехніці.
- BISS0001: Промисловий PIR датчик з високою надійністю і широким діапазоном робочих температур.



HC-SR501



GP2Y0E03



BISS0001

Рис.1.1. Приклади моделей PIR датчиків

Ультразвукові датчики руху

Принцип роботи ультразвукових датчиків руху базується на вимірюванні часу, за який ультразвукова хвиля, випромінена датчиком, відбивається від об'єкта і повертається до приймача. Якщо відстань до об'єкта змінюється, то змінюється і час повернення сигналу. Ця зміна інтерпретується як рух [2].

Переваги ультразвукових датчиків:

- + Висока чутливість до руху: Здатні виявляти рух навіть дуже повільних об'єктів, незалежно від їхньої температури.
- + Можливість роботи в темряві: Ефективність датчика не залежить від рівня освітленості.
- + Висока точність вимірювання відстані: Можуть бути використані для вимірювання відстані до об'єктів.
- + Можливість виявлення руху за перешкодами: Ультразвукові хвилі можуть проникати через деякі матеріали, що дозволяє виявляти рух за тонкими перешкодами.

Недоліки ультразвукових датчиків:

- Вразливість до перешкод: Щільні матеріали, такі як стіни, можуть повністю поглинути або відбити ультразвукову хвилю, що призведе до помилкових спрацювань або повній відсутності сигналу.
- Підвищене енергоспоживання: Постійне випромінювання і прийом ультразвукових хвиль потребує більшої кількості енергії порівняно з пасивними датчиками, такими як PIR.
- Чутливість до шуму: Зовнішні шуми, такі як вітер або дощ, можуть впливати на точність вимірювань.
- Можливість виявлення тварин: Ультразвукові датчики можуть виявляти не тільки людей, але й тварин, що може призвести до помилкових спрацювань.

Табл.1.2.

Порівняння з PIR датчиками

Характеристика	Ультразвукові датчики	PIR датчики
Принцип роботи	Аналіз часу повернення ультразвукової хвилі	Аналіз зміни інфрачервоного випромінювання
Чутливість до температури	Не залежать від температури	Залежать від температури об'єкта
Чутливість до руху	Висока, навіть повільні об'єкти	Висока до теплострумних об'єктів
Вплив перешкод	Вразливі до щільних матеріалів	Можуть бути заблоковані перешкодами
Енергоспоживання	Вище	Нижче

Мікрохвильові датчики руху

Мікрохвильові датчики руху використовують електромагнітне випромінювання у мікрохвильовому діапазоні для виявлення руху об'єктів. Датчик випромінює мікрохвилі, які відбиваються від об'єктів у його зоні дії. При русі об'єкта відбувається зміна частоти відбитої хвилі (ефект Доплера). Ця зміна фіксується датчиком і інтерпретується як рух.

Переваги:

- + Висока чутливість і дальність дії: Здатні виявляти рух на відстані до 30 метрів і більше, навіть крізь стіни або інші неметалеві перешкоди.
- + Незалежність від умов освітлення та температури: Ефективність датчика не залежить від рівня освітленості або температури навколишнього середовища.
- + Можливість виявлення руху за перешкодами: Мікрохвилі можуть проникати через деякі матеріали, що дозволяє виявляти рух за стінами або іншими неметалевими перешкодами.

Недоліки:

- Схильність до помилкових спрацювань: Можуть виявляти рух рослинності, тварин або інших дрібних об'єктів, що призводить до помилкових спрацювань.
- Підвищене енергоспоживання: Постійне випромінювання і прийом мікрохвиль потребує більшої кількості енергії порівняно з пасивними датчиками.
- Висока вартість: Мікрохвильові датчики, як правило, дорожчі за інші типи датчиків руху.
- Вплив електромагнітних перешкод: Можуть бути чутливими до впливу інших електромагнітних джерел, що може призвести до некоректної роботи.

Порівняння з іншими типами датчиків руху

Характеристика	Мікрохвильові датчики	Інфрачервоні датчики (PIR)	Ультразвукові датчики
Принцип роботи	Аналіз зміни частоти мікрохвиль	Аналіз зміни інфрачервоного випромінювання	Аналіз часу повернення ультразвукової хвилі
Чутливість до температури	Не залежать	Залежать від температури об'єкта	Не залежать
Дальність дії	Найбільша	Середня	Середня
Вплив перешкод	Можуть проникати через стіни	Можуть бути заблоковані перешкодами	Можуть бути заблоковані щільними матеріалами
Схильність до помилкових спрацювань	Вища	Середня	Середня
Енергоспоживання	Вище	Нижче	Середнє

Для нашої системи моніторингу, яка базується на камерах, що працюють у кольоровому та інфрачервоному режимах, найбільш актуальними є комбіновані датчики руху, які об'єднують інфрачервоний та мікрохвильовий принципи дії. Такий вибір зумовлений такими причинами:

- Точність і надійність. Комбіновані датчики мають низьку ймовірність хибних тривог завдяки поєднанню двох принципів виявлення.
- Стійкість до погодних умов. Мікрохвильовий компонент забезпечує роботу навіть у складних умовах, таких як туман або дощ.
- Сумісність із системами відеомоніторингу. Такі датчики можуть синхронізуватися з камерами, активуючи їх у разі виявлення руху.

Ефективність датчика залежить від його чутливості, яка визначається як відношення кількості правильно виявлених об'єктів ($N_{correct}$) до загальної кількості подій (N_{total}) [3]:

$$S = \frac{N_{correct}}{N_{total}} \times 100\% \quad (1.1.)$$

Розділ 2. ОСНОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРИКОРДОИХ ТЕРИТОРІЙ

2.1. Методи обробки зображень для детектування порушників

Обробка зображень є ключовим компонентом автоматизованих систем моніторингу, особливо в контексті виявлення порушників на контрольованих територіях. Завдяки розвитку алгоритмів комп'ютерного зору та штучного інтелекту, сучасні системи забезпечують високу точність аналізу зображень і відео в реальному часі. Для вирішення завдань детектування порушників використовуються різні методи, що включають попередню обробку зображень, сегментацію, аналіз текстур і контурів, а також використання глибоких нейронних мереж.

Етапи обробки зображень у задачах детектування порушників:

1. Попередня обробка зображень (підготовка зображень для подальшого аналізу, видалення шумів, нормалізація яскравості та контрастності, застосування методів вирівнювання гістограм і фільтрації);
2. Сегментація зображень (розділення зображення на області, які відповідають різним об'єктам, використання методів, таких як порогова сегментація, кластеризація та алгоритми графового розрізу);
3. Детектування та ідентифікація об'єктів (виявлення порушників за допомогою алгоритмів машинного навчання або аналізу контурів, Використання алгоритмів, таких як YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot MultiBox Detector) або Faster R-CNN);
4. Класифікація об'єктів (ідентифікація об'єктів як потенційних порушників, розпізнавання окремих характеристик, таких як форма, розмір, напрямок руху);
5. Постобробка та візуалізація (підготовка результатів для подальшого аналізу оператором або автоматичними системами, генерація теплових карт, накладання векторних контурів тощо).

Попередня обробка зображень

Видалення шумів. Шум може виникати через сенсори камер або зовнішні умови. Для видалення шумів використовуються такий фільтр як Фільтр Гауса [4]:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.1.)$$

Застосовується для згладжування зображень та видалення дрібних деталей. Також можливо використовувати медіанний фільтр. Він заміщує кожний піксель на медіанне значення сусідніх пікселів, що ефективно для видалення імпульсного шуму.



Filter Gausa



Median filter

Рис. 2.1. Фільтри для видалення шумів

Вирівнювання гістограм

Вирівнювання покращує контрастність, роблячи об'єкти більш помітними [5]:

$$H'(i) = \frac{\sum_{j=0}^i H(j)}{N} \times H(i) \quad (2.2.)$$

де:

– $H(i)$ – частота інтенсивності;

- N – кількість пікселів;
- L – кількість рівнів яскравості.

Нормалізація

Нормалізація зображень є важливим етапом в обробці зображень, оскільки вона дозволяє зменшити або усунути вплив змін освітлення на якість та точність аналізу зображень. Один з ефективних методів нормалізації – адаптивна нормалізація за локальними характеристиками, яка дозволяє забезпечити стабільність освітленості та контрасту на різних ділянках зображення.

Основна мета нормалізації полягає у вирівнюванні яскравості та контрасту зображення таким чином, щоб забезпечити однорідність освітленості по всій його площі. Це особливо важливо в умовах, коли зображення можуть бути зняті при різному рівні освітлення або в умовах змінного освітлення, що може вплинути на якість виявлення та ідентифікації об'єктів.

Адаптивна нормалізація за локальними характеристиками базується на аналізі локальних ділянок зображення та застосуванні корекцій до кожної з них окремо. Цей метод передбачає поділ зображення на невеликі блоки, в межах яких визначаються середні значення яскравості та контрасту. Потім ці значення використовуються для корекції кожного блоку, що дозволяє зберегти локальні особливості зображення та забезпечити його однорідність.

Наприклад, одним з підходів до адаптивної нормалізації є метод локального вирівнювання гістограми (CLAHE - Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization). Цей метод передбачає поділ зображення на невеликі області та вирівнювання гістограми кожної з них окремо. Важливою особливістю CLAHE є обмеження контрасту, яке дозволяє уникнути переосвітлення або затемнення окремих ділянок зображення. Це досягається

шляхом обмеження кількості пікселів, які можуть бути перенесені до верхньої або нижньої частини гистограми під час процесу вирівнювання.

Інший підхід до адаптивної нормалізації включає використання фільтра Гаусса для згладжування зображення та видалення шумів. Цей метод передбачає застосування гаусівського фільтра з певним стандартним відхиленням до кожної ділянки зображення, що дозволяє зменшити вплив локальних змін освітленості та покращити однорідність зображення.

Нормалізація є критично важливою для забезпечення стабільності та надійності систем візуального спостереження, таких як системи моніторингу прикордонних зон. Вона дозволяє забезпечити високу якість аналізу зображень та точність виявлення об'єктів, незалежно від умов освітлення. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню ефективності автоматизованих систем моніторингу та забезпеченню безпеки територій.

Порогова сегментація

Розподіл пікселів зображення на дві області: фон і об'єкт. Основна формула [6]:

$$\begin{cases} 1, & \text{якщо } I(x, y) \geq T, \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (2.3)$$

де:

- $I(x, y)$ – інтенсивність пікселя;
- T – порогове значення.

Сегментація на основі кластеризації

Метод кластеризації k -середніх [6]:

$$J = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (2.4)$$

де:

- C_i – кластер;
- μ_i – центр кластера.

Алгоритми графового розрізу

Графова модель зображення є потужним інструментом для сегментації та аналізу зображень, що базується на поданні зображення у вигляді графу. У цій моделі пікселі зображення представляються як вершини графу, а ваги ребер визначаються на основі деяких характеристик зображення, таких як інтенсивність пікселів, текстура або колір. Розділення об'єктів у зображенні здійснюється на основі ваги ребер графу, що дозволяє ефективно виділити різні області та структури.

2.2. Алгоритми виявлення руху в реальному часі

Алгоритми детектування об'єктів - це спеціальні математичні методи і техніки, які використовуються для виявлення та ідентифікації об'єктів на зображеннях чи відео. Вони знаходять об'єкти, визначають їхні межі та класифікують їх у реальному часі. Використання таких алгоритмів особливо важливо для застосувань у відеоспостереженні, автономних автомобілях, медицині та інших галузях. Популярні алгоритми включають YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot Detector) та Faster R-CNN, які відомі своєю високою точністю та швидкістю роботи.

YOLO (You Only Look Once)

YOLO (You Only Look Once) є одним з найбільш ефективних і популярних методів детектування об'єктів, що використовує єдину нейронну мережу для поділу зображення на сітку і визначення об'єктів у кожній області цієї сітки. Цей метод базується на підході до кінцевого навчання і детектування об'єктів, що дозволяє зменшити час обробки та підвищити точність виявлення.

YOLO розглядає детектування як проблему регресії, яка одночасно визначає межі об'єктів та їх класифікацію. Нейронна мережа отримує повне зображення як вхідні дані і генерує прогноз для кожної сіткової комірки, яка включає:

1. Координати межі об'єкта (bounding box).
2. Впевненість у наявності об'єкта у даній комірці.
3. Імовірності приналежності до конкретних класів об'єктів.

Детермінація об'єктів. Зображення поділяється на сітку розміром $S \times S$. Кожна комірка сітки відповідає за передбачення кількох (B) межових рамок та ймовірностей класів (C) об'єктів у цих рамках. Основна формула оцінки, що використовується у YOLO, виглядає так [7]:

$$p(c) = \text{IoU} \cdot \text{Pr}(\text{Class}|\text{Box}) \cdot \text{Pr}(\text{Object}) \quad (2.5)$$

де:

- $p(c)$ - це впевненість у наявності об'єкта класу у межах певної рамки;
- IoU (Intersection over Union) - це індекс перетину об'єкта, що вимірює ступінь збігу передбаченої межі з реальною межею об'єкта. Це значення коливається від 0 до 1, де 1 означає повний збіг.

- $\Pr(\text{Class}|\text{Box})$ - ймовірність того, що об'єкт у межах певної рамки належить до певного класу.
- $\Pr(\text{Object})$ - ймовірність того, що в межах певної рамки знаходиться об'єкт.

Переваги використання YOLO:

1. Швидкість: YOLO здатний обробляти зображення в реальному часі, оскільки здійснює прогнозування для всієї сітки одночасно.
2. Висока точність: Завдяки глобальному підходу до контексту, YOLO здатен краще ідентифікувати об'єкти у зображенні порівняно з методами, що розглядають окремі частини зображення.
3. Масштабованість: Модель може бути легко адаптована до різних розмірів зображень та складності задач.

Процес навчання YOLO включає оптимізацію функції втрат, яка враховує помилки у передбачених координатах межових рамок, впевненості та ймовірностях класів. Функція втрат складається з кількох компонентів:

1. Втрата координат (Coordinate Loss): помилка у передбачених координатах межових рамок.
2. Втрата впевненості (Confidence Loss): помилка у передбаченні ймовірності наявності об'єкта.
3. Втрата класифікації (Classification Loss): помилка у передбаченні класу об'єкта.

Faster R-CNN

Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Networks) є потужним алгоритмом для детектування об'єктів, який поєднує регіональні пропозиції та класифікацію для забезпечення високої точності та швидкості. Цей метод є удосконаленням попередніх версій R-CNN і Fast R-CNN, завдяки інтеграції регіонального пропозиційного мережевого блоку, що дозволяє значно

підвищити продуктивність системи. Faster R-CNN складається з двох основних компонентів: регіональної пропозиційної мережі (RPN) та мережі для класифікації та регресії. Основна ідея полягає у використанні RPN для генерації регіональних пропозицій, які потім передаються до мережі, що здійснює класифікацію та уточнення меж об'єктів [8].

Структура та компоненти Faster R-CNN:

1. Регіональна пропозиційна мережа (RPN):

- Генерація регіональних пропозицій: RPN отримує вихідні ознаки зображення від загальної конволюційної мережі і використовує їх для прогнозування обмежених рамок (bounding boxes), що можуть містити об'єкти. RPN генерує пропозиції у вигляді анкерів (anchors) на різних масштабах та аспектах.
- Оцінка об'єктності: Кожен анкер оцінюється на предмет наявності об'єкта, а також прогножуються координати його межових рамок. Це дозволяє виділити потенційні регіони, що містять об'єкти, і передати їх до наступного етапу для подальшої обробки.

2. Мережа для класифікації та регресії:

- Класифікація об'єктів: Визначені RPN регіональні пропозиції передаються через спеціальну мережу, яка класифікує кожну пропозицію як певний клас об'єкта або як фон. Це дозволяє ідентифікувати типи об'єктів, присутніх у кожній регіональній пропозиції.
- Регресія межових рамок: Одночасно з класифікацією здійснюється уточнення координат межових рамок, що дозволяє покращити точність визначення меж об'єктів. Це забезпечує високу точність локалізації об'єктів на зображенні.

Переваги використання Faster R-CNN:

1. Висока точність: Завдяки поєднанню регіональних пропозицій та класифікації, Faster R-CNN забезпечує високу точність виявлення та локалізації об'єктів, навіть у складних умовах.
2. Висока швидкість: Інтеграція RPN у загальну конволюційну мережу дозволяє значно зменшити час обробки, забезпечуючи швидке і ефективне детектування.
3. Універсальність: Модель може бути легко адаптована для різних задач та типів зображень, що робить її придатною для широкого спектру застосувань.

Процес навчання Faster R-CNN включає оптимізацію функції втрат, що враховує помилки у прогнозах RPN та класифікації. Функція втрат складається з кількох компонентів:

- Втрата RPN: Помилка у прогнозах регіональних пропозицій та їх об'єктності.
- Втрата класифікації: Помилка у передбаченні класу об'єкта.
- Втрата регресії межових рамок: Помилка у передбаченні координат межових рамок.

SSD (Single Shot MultiBox Detector)

SSD (Single Shot MultiBox Detector) є високоефективним алгоритмом для детектування об'єктів, який забезпечує швидку та точну обробку зображень та відеопотоків. Алгоритм SSD побудований на основі єдиної нейронної мережі, яка здійснює одночасне визначення об'єктів та їх межових рамок без необхідності попередньої генерації регіональних пропозицій [9].

SSD використовує єдину нейронну мережу для прямого прогнозування категорій об'єктів та їх межових рамок на декількох масштабах. Це дозволяє

обробляти зображення та відеопотоки у реальному часі з високою швидкістю та точністю.

Структура та компоненти SSD

1. Багатошарова архітектура:

- Масштабованість: SSD використовує декілька рівнів ознак (feature maps) на різних масштабах для здійснення детектування. Це дозволяє алгоритму ефективно працювати з об'єктами різних розмірів та форм.
- Вікна пропозицій: На кожному рівні ознак SSD генерує множинні вікна пропозицій з різними розмірами та пропорціями, що дозволяє виявляти об'єкти на різних масштабах.

2. Пряме прогнозування:

- Класифікація об'єктів: Кожне вікно пропозицій прогнозує ймовірність приналежності до певного класу об'єктів. Це дозволяє ідентифікувати типи об'єктів на зображенні.
- Регресія межових рамок: Одночасно з класифікацією SSD здійснює прогнозування координат межових рамок для кожного вікна пропозицій, що дозволяє точно визначити місце розташування об'єктів.

3. Втрата функції:

- Класифікаційна втрата: Визначає помилку у передбаченні класів об'єктів.
- Регресійна втрата: Визначає помилку у прогнозуванні координат межових рамок.

Переваги використання SSD

1. Швидкість: SSD здатний обробляти зображення та відеопотоки у реальному часі завдяки одночасному прогнозуванню категорій об'єктів та межових рамок.
2. Точність: Багатошарова архітектура забезпечує високу точність детектування об'єктів на різних масштабах.
3. Простота: Відсутність необхідності у генерації регіональних пропозицій спрощує архітектуру та зменшує час обробки.

Навчання SSD включає оптимізацію функції втрат, яка враховує помилки у класифікації та регресії. Функція втрат складається з:

- Класифікаційної втрати: Помилка у передбаченні класів об'єктів.
- Регресійної втрати: Помилка у прогнозуванні координат межових рамок.

Табл. 2.1.

Переваги та недоліки методів в порівнянні між собою

Метод	Переваги	Недоліки
Порогова сегментація	Простота реалізації	Чутливість до шумів і освітлення
Кластеризація	Ефективність для багатокomпонентних сцен	Повільна обробка великих зображень
YOLO	Швидкість, робота в реальному часі	Зниження точності для дрібних об'єктів
Faster R-CNN	Висока точність	Високі обчислювальні витрати
SSD	Оптимальний баланс швидкості та точності	Менша точність для дрібних об'єктів

Порівняння характеристик алгоритмів

Параметр	YOLO	Faster R-CNN	SSD
Швидкість обробки	>60 FPS	~7 FPS	22–30 FPS
Точність виявлення	Висока	Дуже висока	Висока
Обчислювальні витрати	Низькі	Високі	Середні
Робота в реальному часі	Підтримується	Не підтримується	Частково підтримується
Адаптивність	Висока	Середня	Середня

YOLO демонструє значно вищу швидкість обробки порівняно з Faster R-CNN і SSD, зберігаючи при цьому високий рівень точності. Це робить його ідеальним вибором для задач реального часу. YOLO є найкращим алгоритмом для виявлення руху в реальному часі завдяки своїй швидкості, точності, стійкості до змін умов і ефективності використання ресурсів. У порівнянні з іншими алгоритмами, такими як Faster R-CNN і SSD, YOLO забезпечує оптимальний баланс між швидкістю та точністю, що робить його незамінним у завданнях моніторингу прикордонних зон. Завдяки високій адаптивності й простоті інтеграції, YOLO є найкращим вибором для систем реального часу, які працюють в умовах обмежених апаратних ресурсів та змінних середовищ.

2.4. Постановка мети та завдань магістерської роботи

Мета проєкту: створення автоматизованої системи моніторингу прикордонних територій із використанням датчиків руху та методів комп'ютерного зору для своєчасного виявлення порушників і забезпечення безпеки на контрольованих зонах.

Завдання проєкту:

1. Провести аналіз сучасних методів моніторингу прикордонних територій та визначити переваги автоматизованих систем.
2. Дослідити технічні характеристики і можливості різних типів датчиків руху для використання в умовах прикордонного контролю.
3. Розглянути алгоритми комп'ютерного зору для ідентифікації рухомих об'єктів і обрати найефективніші для вирішення поставлених задач.
4. Розробити концепцію системи, що інтегрує датчики руху, камери (кольорові та інфрачервоні) і алгоритми обробки зображень у реальному часі.
5. Оптимізувати роботу програмного забезпечення для ефективного аналізу даних із камер і датчиків у складних умовах середовища.
6. Здійснити вибір апаратного забезпечення, включаючи процесорні та комунікаційні модулі, для забезпечення надійної роботи системи.
7. Реалізувати алгоритми комп'ютерного зору для детектування та відстеження порушників, включаючи оцінку ефективності їх роботи в реальному часі.
8. Виконати тестування прототипу системи в умовах, наближених до реальних, і проаналізувати результати для визначення її надійності та ефективності.

Розділ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРИКОРДОННИХ ТЕРИТОРІЙ

3.1. Вибір апаратної бази для реалізації системи

У цьому розділі детально описано апаратну базу автоматизованої системи моніторингу прикордонних територій, яка інтегрує сучасні технічні засоби для забезпечення ефективності роботи. Система складається з таких основних компонентів: Raspberry Pi 4, камери, акселератора Coral USB, телеметричного модуля, датчика руху та звукової системи сповіщення. Кожен компонент обрано з урахуванням вимог до надійності, швидкості обробки даних, енергоефективності та адаптації до умов експлуатації

Raspberry Pi 4

Raspberry Pi 4 (рис.3.1.) виступає центральним обчислювальним елементом автоматизованої системи. Цей мікрокомп'ютер характеризується високою продуктивністю та енергоефективністю, що робить його ідеальним вибором для виконання складних задач комп'ютерного зору та обробки даних.

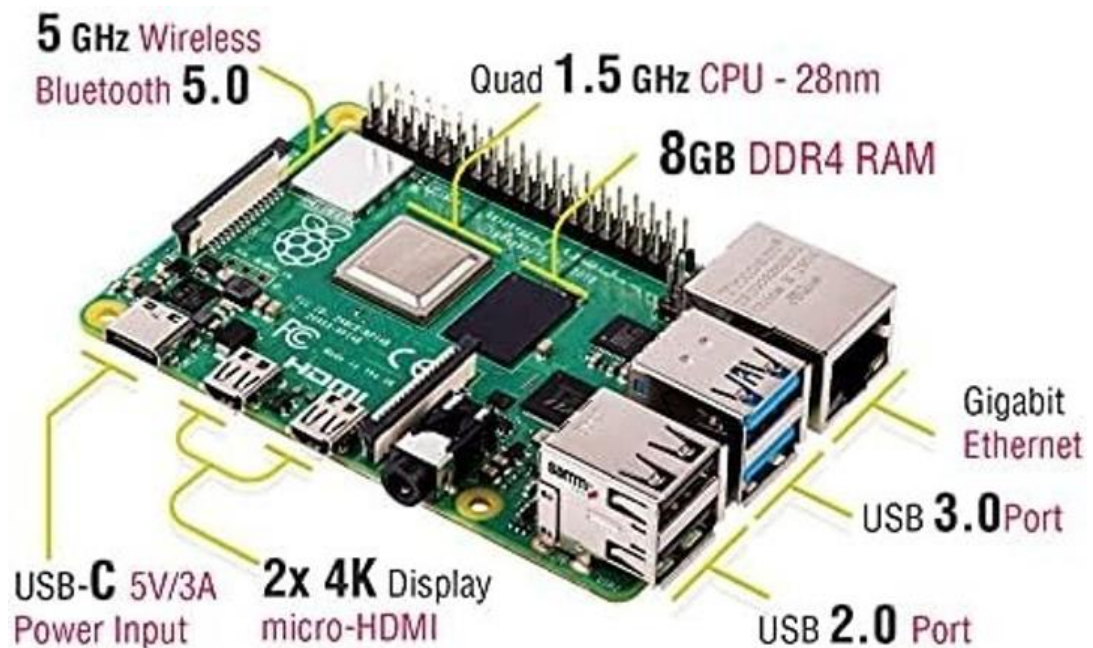


Рис.3.1. Raspberry Pi 4

Основні характеристики Raspberry Pi 4 включають:

Процесор: 4-ядерний ARM Cortex-A72 з тактовою частотою 1.5 ГГц, що забезпечує достатню обчислювальну потужність для ефективної обробки великих обсягів даних та виконання інтенсивних обчислювальних завдань у реальному часі. Така архітектура дозволяє швидко виконувати обробку зображень та реалізацію алгоритмів машинного навчання.

Пам'ять: Raspberry Pi 4 доступний у конфігураціях з 2 ГБ, 4 ГБ або 8 ГБ оперативної пам'яті. Це дозволяє обирати оптимальний варіант залежно від вимог конкретного застосування. Наявність достатньої кількості оперативної пам'яті є критично важливим для роботи з великими наборами даних та забезпечення стабільної роботи системи.

Порти: Наявність USB 3.0 портів дозволяє підключати акселератори обчислень, такі як Coral USB Accelerator, а також камери високої роздільної здатності. Це значно покращує можливості системи у сфері обробки зображень та реалізації складних алгоритмів комп'ютерного зору.

Інтерфейси: Вбудовані Ethernet і Wi-Fi модулі забезпечують надійне та швидке з'єднання із сервером моніторингу та іншими мережевими пристроями. Це дозволяє організувати безперервний обмін даними та координацію роботи системи у реальному часі.

Причина вибору Raspberry Pi 4 як центрального обчислювального елементу полягає в його здатності забезпечити оптимальний баланс між продуктивністю, вартістю та енергоефективністю. Компактний розмір мікрокомп'ютера дозволяє легко інтегрувати його в систему, що особливо важливо для мобільних застосувань та обмежених просторів. Крім того, доступність широкого спектру бібліотек і підтримка програмування на Python спрощують розробку та впровадження алгоритмів комп'ютерного зору, а також роботу з різноманітними датчиками та периферійними пристроями.

Таким чином, Raspberry Pi 4 є ідеальним рішенням для створення ефективної та надійної системи комп'ютерного зору, що здатна виконувати складні обчислювальні завдання та забезпечувати стабільну роботу у реальних умовах експлуатації [10].

Камера

Камера відіграє ключову роль у зборі візуальної інформації в автоматизованій системі моніторингу. У даній системі використовується модуль камери Raspberry Pi Camera Module V2 (рис.3.2.), який здатний працювати як у кольоровому режимі, так і в інфрачервоному спектрі.

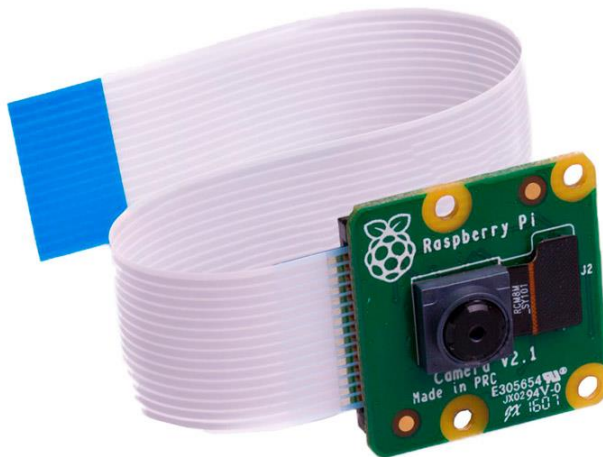


Рис.3.2. Raspberry Pi Camera Module V2

Основні характеристики даної камери включають:

Роздільна здатність: Камера підтримує роздільну здатність до 1080p, що забезпечує високу якість і чіткість зображення. Це дозволяє детально фіксувати об'єкти та події у зоні моніторингу, забезпечуючи надійну ідентифікацію і аналіз.

Інфрачервоний режим: Камера має можливість працювати в інфрачервоному спектрі, що дозволяє здійснювати моніторинг в умовах низької освітленості або повної темряви. Використання інфрачервоного підсвічування забезпечує видимість об'єктів навіть уночі, що є критично важливим для безпеки прикордонних зон.

Частота кадрів: Камера підтримує частоту кадрів до 30 fps (кадрів за секунду), що дозволяє здійснювати моніторинг у реальному часі. Висока частота кадрів забезпечує плавне відтворення зображення та точне виявлення рухомих об'єктів [11].

Вибір камери Raspberry Pi Camera Module V2 обумовлений її можливістю проводити моніторинг незалежно від умов освітленості, що є критично важливим для прикордонних зон. Інфрачервоний режим дозволяє підвищити точність виявлення об'єктів уночі та забезпечує безперервний контроль території. Крім того, висока роздільна здатність та частота кадрів сприяють точному та своєчасному аналізу зображень, що є необхідним для ефективної роботи системи моніторингу.

Таким чином, використання камери Raspberry Pi Camera Module V2 забезпечує високу якість візуальної інформації та надійну роботу автоматизованої системи моніторингу в різних умовах освітленості, що сприяє підвищенню рівня безпеки та ефективності контролю прикордонних зон.

Coral USB Accelerator

Coral USB Accelerator (рис.3.3.) є важливим компонентом для прискорення обробки алгоритмів машинного навчання в автоматизованій системі. Цей акселератор оснащений інтегрованим процесором TPU (Tensor Processing Unit), який здатний виконувати до 4 трильйонів операцій на секунду (TOPS).



Рис.3.3. Coral USB Accelerator

Основні характеристики Coral USB Accelerator включають:

Інтегрований TPU (Tensor Processing Unit): TPU є спеціалізованим процесором, призначеним для прискорення обробки нейронних мереж. Він здатний виконувати до 4 трильйонів операцій на секунду, що значно перевищує продуктивність звичайних центральних процесорів (CPU) у завданнях машинного навчання. Це дозволяє швидко обробляти великі обсяги даних та виконувати складні обчислення у реальному часі.

Підтримка TensorFlow Lite: Coral USB Accelerator підтримує TensorFlow Lite, що дозволяє запускати оптимізовані моделі нейронних мереж безпосередньо на пристрої. TensorFlow Lite є легковаговим фреймворком для машинного навчання, розробленим спеціально для мобільних і вбудованих пристроїв. Підтримка цього фреймворку забезпечує високу продуктивність та ефективність обробки, дозволяючи системі виконувати завдання комп'ютерного зору з мінімальними затримками [12].

Вибір Coral USB Accelerator обумовлений його здатністю забезпечувати високу швидкість виконання алгоритмів комп'ютерного зору, таких як YOLO

(You Only Look Once). Це значно знижує навантаження на центральний процесор Raspberry Pi, забезпечуючи ефективне використання системних ресурсів та підвищуючи загальну продуктивність системи. Використання цього акселератора дозволяє системі працювати у реальному часі навіть за обмежених апаратних ресурсів, що є критично важливим для застосувань у прикордонних зонах. _Coral USB Accelerator є незамінним інструментом для підвищення продуктивності та ефективності автоматизованої системи моніторингу. Його інтеграція з Raspberry Pi забезпечує швидке та точне виконання задач комп'ютерного зору, дозволяючи системі функціонувати у реальному часі і забезпечуючи надійний контроль та безпеку територій.

Телеметрія

Телеметричний модуль з двостороннім зв'язком є ключовим компонентом систем моніторингу, які забезпечують передачу даних між наземною станцією та системою моніторингу. Цей модуль використовує радіомодулі, такі як LoRa (Рис. 3.4.), що дозволяє передавати дані на великі відстані з низьким енергоспоживанням. Це особливо корисно для відкритих місцевостей, де можливі перешкоди на шляху сигналу.

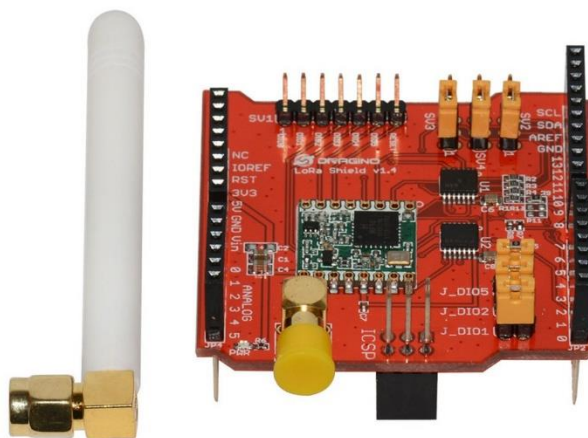


Рис. 3.4. Dragino LoRa Shield

LoRa (аббревіатура від «Long Range») є одним з найпоширеніших протоколів для далекої передачі даних. Він забезпечує надійну передачу на відстані до 10 км у відкритій місцевості, що робить його ідеальним для систем моніторингу. Крім того, LoRa має низьке енергоспоживання, що дозволяє протягом тривалого часу працювати на батареях [13].

Для інтеграції телеметричного модуля з комп'ютером або мікроконтролером, таким як Raspberry Pi, підтримуються протоколи передачі даних UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) та SPI (Serial Peripheral Interface). UART є стандартним протоколом для передачі даних між пристроєм і комп'ютером, тоді як SPI використовується для швидкої передачі даних між мікроконтролером і периферійними пристроями.

Однією з популярних моделей телеметричних модулів для систем моніторингу є Dragino LoRa Shield. Цей модуль підтримує LoRa та може бути легко інтегрований з Raspberry Pi через UART або SPI. Він має високу здатність до передачі даних на великі відстані та низьке енергоспоживання, що робить його ідеальним для використання в системах моніторингу.

Табл.3.1.

Технічні характеристики

Характеристика	Значення
Чіпсет	SX1276/SX1278
Частотний діапазон	433 МГц, 868 МГц, 915 МГц
Максимальна потужність передавача	+20 дБм
Чутливість приймача	До -148 дБм
Протокол	LoRaWAN, LoRa P2P
Швидкість передачі даних	До 300 кбіт/с
Напруга живлення	3.3 В або 5 В
Споживана потужність	Дуже низька в режимі очікування
Інтерфейси	SPI, UART

Переваги:

- + Дальній радіус дії: Завдяки технології LoRa, забезпечує надійну передачу даних на великі відстані з мінімальними перешкодами.
- + Низьке енергоспоживання: Ідеально підходить для батарейного живлення, що дозволяє тривалий термін експлуатації пристроїв.
- + Висока стійкість до перешкод: Забезпечує надійну роботу в складних радіочастотних умовах.
- + Просте використання: Легко інтегрується з різними платформами, такими як Arduino, Raspberry Pi.
- + Відкритий код: Доступні різноманітні бібліотеки та приклади коду для швидкого розроблення.
- + Гнучкість налаштувань: Дозволяє конфігурувати різні параметри, такі як потужність передавача, швидкість передачі даних, частоту.

Недоліки:

- Обмежена пропускна здатність: Швидкість передачі даних нижча, ніж у традиційних бездротових технологій, таких як Wi-Fi або Bluetooth.
- Складна конфігурація мережі: Для створення великих мереж LoRa потрібна певна експертиза та налаштування.
- Залежність від зовнішньої антени: Для досягнення максимальної дальності дії рекомендується використовувати зовнішню антену.
- Можливі проблеми з регулюванням: В деяких країнах можуть бути обмеження щодо використання частот LoRa.

Датчики руху

Пасивні інфрачервоні датчики (PIR) широко застосовуються в системах відеоспостереження для виявлення руху в зоні огляду камери. Ці датчики

виявляють теплове випромінювання, яке виникає внаслідок зміни температури в полі зору. Принцип роботи PIR-датчиків базується на виявленні інфрачервоного випромінювання, яке випромінюють теплі об'єкти, такі як люди або тварини. PIR-датчик складається з піроелектричного елемента, який генерує електричний заряд при зміні температури. Цей елемент розміщується під лінзою Френеля, яка фокусує інфрачервоне випромінювання на піроелектричний елемент. Коли в полі зору датчика з'являється тепловий об'єкт, його випромінювання змінює температуру піроелектричного елемента, що призводить до виникнення електричного сигналу. Цей сигнал обробляється електронною схемою датчика і може використовуватися для активації інших пристроїв, наприклад, камери відеоспостереження.

Одним з популярних виборів для систем відеоспостереження є датчик HC-SR501 (Рис. 3.5.). Цей датчик має такі переваги:

- Висока чутливість: Здатний виявляти рух на відстані до 12 метрів.
- Широкий кут огляду: 120°, що дозволяє охопити більшу площу.
- Проста інтеграція: Легко підключається до мікроконтролерів за допомогою стандартних інтерфейсів (UART, SPI).
- Низька вартість: Відносно доступна ціна.
- Низьке енергоспоживання: Дозволяє використовувати датчик в автономних системах.

Вибір HC-SR501 для систем відеоспостереження обумовлений наступними факторами:

- Оптимальне співвідношення ціна-якість: Датчик забезпечує високу функціональність за доступною ціною.
- Проста інтеграція: Легко вписується в різноманітні системи автоматизації завдяки стандартним інтерфейсам.
- Надійність: Довгий термін служби і стійкість до зовнішніх впливів.

- Широке застосування: Використовується в багатьох проектах, що забезпечує наявність великої кількості додаткової інформації та підтримки.

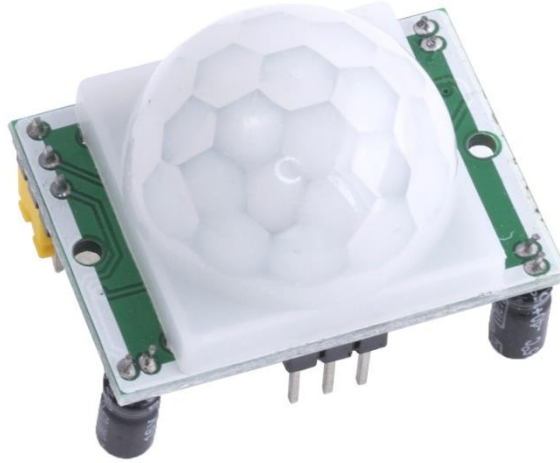


Рис. 3.6. HC-SR501

Звукова система сповіщення (сирена)

Звукова система сповіщення, або сирена, є важливим компонентом системи моніторингу для оперативного сповіщення про виявлення порушника. Вона забезпечує миттєвий та гучний сигнал, що привертає увагу та може відлякати потенційних порушників. Основні характеристики звукової системи включають:

Основні характеристики:

- Потужність: Сирена забезпечує звуковий сигнал потужністю від 90 до 120 дБ, що гарантує її чутність на значній відстані. Така потужність дозволяє ефективно сповіщати про небезпеку навіть у великих відкритих просторах.
- Тип активації: Звукова система активується сигналами від Raspberry Pi через релейний модуль. Це дозволяє автоматично увімкнути сирену при виявленні порушника, забезпечуючи оперативне реагування системи.

Вибір звукової системи сповіщення з характеристиками потужності 90-120 дБ обумовлений необхідністю забезпечити ефективне сповіщення на великі відстані та створити умови, за яких порушники будуть відразу помічені. Використання релейного модуля для активації сирени дозволяє інтегрувати її з основною системою управління на базі Raspberry Pi, що забезпечує автоматизоване та надійне управління звуковими сповіщеннями.

Конкретною моделлю, яка може бути використана для нашої системи, є сирена DC 12V 110dB (Рис.3.7). Ця сирена має високу потужність і легко підключається до релейного модуля, що забезпечує стабільну роботу у будь-яких умовах.



Рис. 3.7. DC 12V 110dB

3.2. Розробка алгоритму роботи системи та структурної схеми

Алгоритм роботи автоматизованої системи моніторингу прикордонних територій базується на взаємодії компонентів апаратної та програмної частини для забезпечення детекції порушників у реальному часі. Опис основних етапів функціонування системи:

1. Ініціалізація системи. На початковому етапі завантажується операційна система Raspberry Pi 4, включаючи всі необхідні драйвери для

підключених периферійних пристроїв. Це забезпечує готовність системи до роботи, включно з коректним функціонуванням апаратних компонентів і програмного забезпечення.

2. Активація камери. Камера, підключена до Raspberry Pi, переводиться в робочий режим для забезпечення готовності до знімання відеопотоку, необхідного для подальшого аналізу.
3. Завантаження моделі YOLO. Під час ініціалізації USB-прискорювач Coral завантажує попередньо підготовлену модель YOLO, яка використовується для детекції об'єктів на відеопотоці. Завантаження моделі відбувається заздалегідь для забезпечення мінімальних затримок під час обробки.
4. Ініціалізація зв'язку LoRa. Виконується налаштування зв'язку між системою та наземною станцією через LoRa-модуль. Перевіряється успішність встановлення зв'язку. Якщо зв'язок не встановлено, система повторює спробу до отримання позитивного результату.
5. Сканування зони PIR-датчиком. Датчик руху HC-SR501 постійно моніторить зону своєї дії на наявність руху. У разі виявлення змін у тепловому випромінюванні генерується сигнал логічного рівня "1", який передається на GPIO-порт Raspberry Pi.
6. Обробка сигналу від PIR-датчика. Якщо сигнал від PIR-датчика підтверджує наявність руху, система повторно активує камеру для знімання відеопотоку з місця потенційного порушення.
7. Аналіз відеопотоку. Отриманий відеопотік передається на обробку моделлю YOLO через USB-прискорювач Coral. Модель аналізує кожен кадр для виявлення об'єктів і визначення їхніх класів.
8. Перевірка порогових значень. Система оцінює результати роботи моделі YOLO. Якщо ймовірність детекції об'єкта перевищує встановлений поріг, об'єкт визначається як потенційно важливий для подальшого аналізу.
9. Класифікація об'єкта. Встановлюється клас виявленого об'єкта. Якщо об'єкт класифіковано як людина, алгоритм переходить до наступного

етапу. У разі невідповідності об'єкт відхиляється, і система продовжує сканування.

10. Виділення об'єкта BoundingBox. Визначений об'єкт обрамлюється рамкою (BoundingBox), яка вказує його точне положення на відеокадрі для візуалізації.
11. Передача результатів на наземну станцію. Інформація про виявлений об'єкт, включно з координатами BoundingBox, класом і додатковими метаданими, передається через LoRa-модуль на наземну станцію для моніторингу та подальшого аналізу.
12. Виведення результату на екран. На наземній станції результати виявлення відображаються у зручному форматі для оператора. Це може включати візуалізацію об'єкта на карті або відеопотоці.
13. Увімкнення звукового сповіщення. У разі підтвердження детекції людини активується звукова система сповіщення (сирена), яка сигналізує про порушення.
14. Завершення циклу. Після завершення одного циклу обробки система повертається до етапу сканування зони PIR-датчиком для виявлення нових подій.

Алгоритм роботи системи наведено на рис. 3.8.

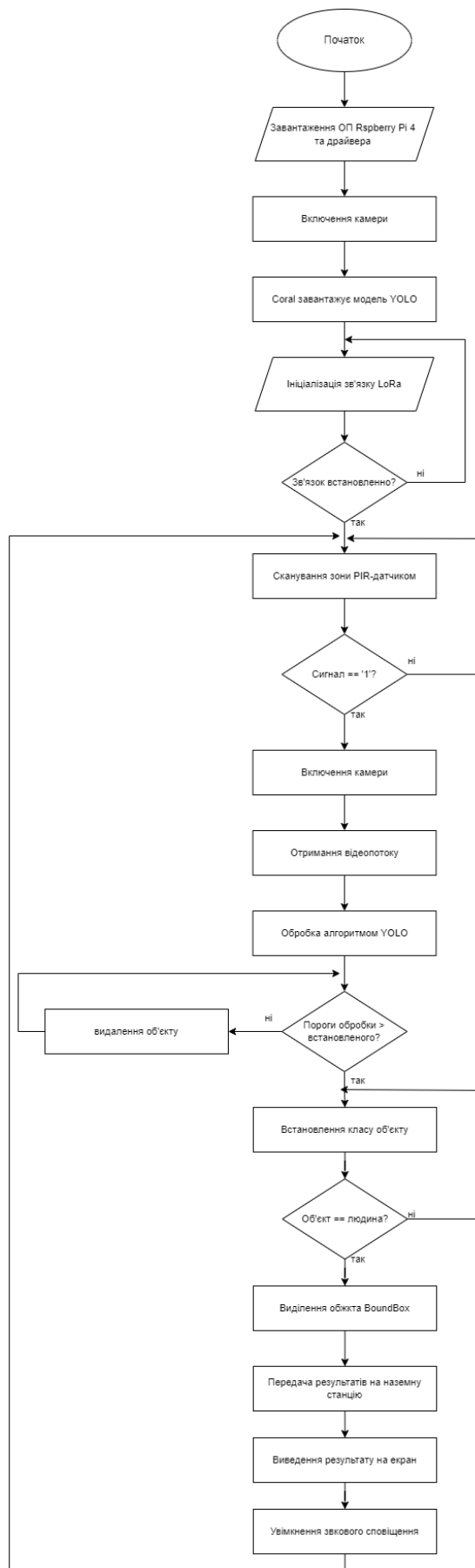


Рис. 3.8. Алгоритм роботи системи

На рис. 3.9. наведено структурну схему, яка демонструє зв'язок між елементами.

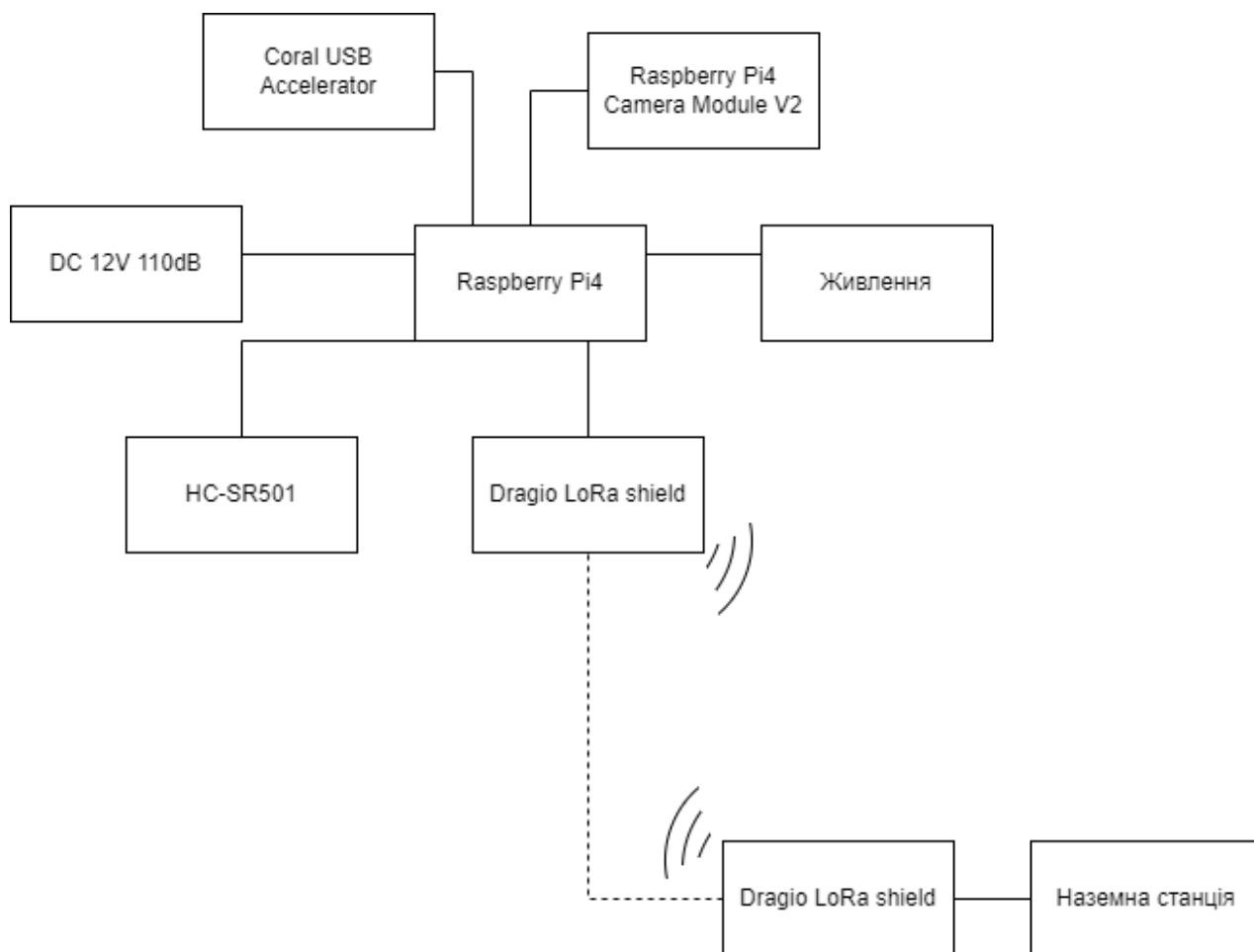


Рис.3.9. Структурна схема

Розділ 4. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

4.1. Розробка програмного забезпечення для взаємодії елементів з Raspberry Pi 4

Розробка програмного забезпечення для взаємодії апаратних компонентів із Raspberry Pi 4 є ключовим етапом створення автоматизованої системи моніторингу прикордонних територій. Цей процес передбачає інтеграцію декількох функціональних модулів, таких як камера, PIR-датчик, модуль зв'язку LoRa, та акселератор обчислень Coral, у єдину програмно-апаратну архітектуру для забезпечення коректної роботи системи.

На першому етапі розробки проводиться аналіз вимог до системи та специфікацій кожного апаратного компонента. Для забезпечення сумісності використовуються офіційні бібліотеки та драйвери, сумісні з операційною системою Raspberry Pi OS (Debian). У рамках проєкту основною мовою програмування було обрано Python, завдяки її широким можливостям у роботі з периферійними пристроями, підтримці бібліотек для машинного навчання (TensorFlow, PyTorch), а також сумісності з необхідними модулями.

Ініціалізація апаратних компонентів. Першочерговим завданням є ініціалізація всіх компонентів після завантаження операційної системи. Цей етап включає:

- Камеру: Використовується бібліотека ``picamera2`` для доступу до камери. Вона дозволяє конфігурувати роздільну здатність і частоту кадрів, а також здійснювати потокове передавання відео.
- PIR-датчик: Підключення датчика HC-SR501 здійснюється через GPIO-порти Raspberry Pi. Для обробки сигналів використовується бібліотека `RPi.GPIO`, яка дозволяє налаштувати GPIO-порти у режимі введення і реагувати на зміни логічного рівня.

- LoRa-модуль: Для організації бездротового зв'язку використовується бібліотека `pyLoRa`. Ініціалізація модулю включає налаштування частоти передачі даних, ідентифікатора мережі та протоколу обміну.

- Акселератор Coral: Завантаження моделі YOLOv5 у тензорний процесор виконується через бібліотеку `tflite_runtime`. Модель попередньо оптимізована для використання з акселератором, що значно зменшує затримки під час обробки відеопотоку.

Організація обміну даними між компонентами

Для забезпечення безперервної взаємодії між усіма компонентами системи реалізується архітектура, що базується на багатопоточності. За допомогою бібліотеки `threading` створюються окремі потоки для таких задач:

- Моніторинг PIR-датчика: Потік постійно зчитує сигнал із GPIO-порту. У разі фіксації руху активується камера, а система переходить до наступного етапу обробки.

- Обробка відеопотоку: Потік здійснює знімання кадрів, їх передачу до акселератора Coral та отримання результатів детекції.

- Передача даних через LoRa: Відповідальний потік здійснює упаковку результатів детекції у формат JSON та передачу на наземну станцію.

- Звукове сповіщення: Потік контролює стан сирени та активує її у разі підтвердження детекції об'єкта.

Алгоритм обробки сигналів

Алгоритм функціонування програмного забезпечення забезпечує взаємодію між апаратними та програмними компонентами у кілька послідовних етапів:

1. Ініціалізація та перевірка компонентів: Після завантаження ОС відбувається ініціалізація всіх апаратних пристроїв. Якщо компонент недоступний або працює некоректно, система генерує діагностичний звіт.
2. Обробка сигналу від PIR-датчика: У разі фіксації руху запускається камера та акселератор Coral.
3. Детекція об'єктів: Оброблені кадри передаються на модель YOLOv5. Алгоритм аналізує кожний кадр, визначає координати об'єктів та їх клас.
4. Передача даних: Результати детекції передаються на наземну станцію через LoRa-модуль.
5. Активація сирени: У разі ідентифікації людини активується звукова сирена.

4.2. Результати роботи

На рисунку 4.1 схематично відображено процес візуалізації результатів виконання розробленої програми. Основним завданням програми є автоматичне виявлення та ідентифікація об'єктів, які потрапляють у поле зору камери. Зокрема, в даному прикладі здійснюється детекція порушника.

У процесі виконання програми кадри відеопотоку аналізуються за допомогою алгоритму YOLOv5, який забезпечує високоточну детекцію об'єктів у реальному часі. Об'єкти, які успішно розпізнаються, автоматично виділяються за допомогою обмежувальних рамок (Bounding Box), які вказують на їхнє місцезнаходження на зображенні. Паралельно з виділенням об'єктів здійснюється їх класифікація, що дозволяє програмі визначити тип виявленого об'єкта (наприклад, людина, транспортний засіб, тварина тощо).

Обмежувальна рамка не лише окреслює межі об'єкта, але й містить додаткову інформацію, таку як імовірність правильності детекції (confidence score). Візуалізація результатів на екрані включає не лише зображення з виділеними об'єктами, але й маркування, яке може бути доповнене текстовим описом класу об'єкта.

Застосування такого підходу дозволяє оператору системи в реальному часі отримувати точні та зрозумілі результати аналізу відеопотоку. Цей процес є ключовим для подальшої інтеграції в автоматизовані системи моніторингу та реагування, зокрема для забезпечення охорони периметру або виявлення потенційних загроз на контрольованих територіях.

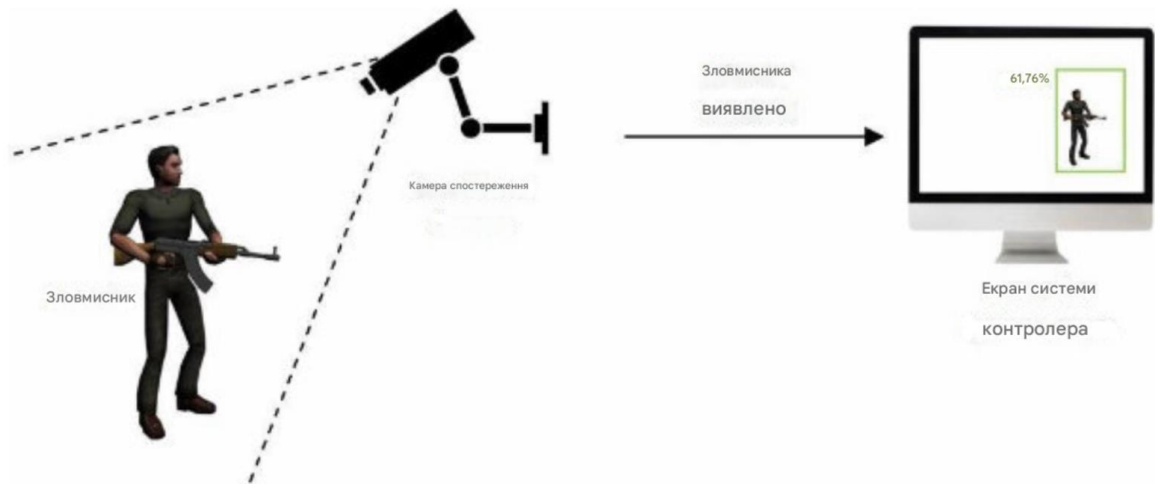


Рис. 4.1. Схема відображення результатів

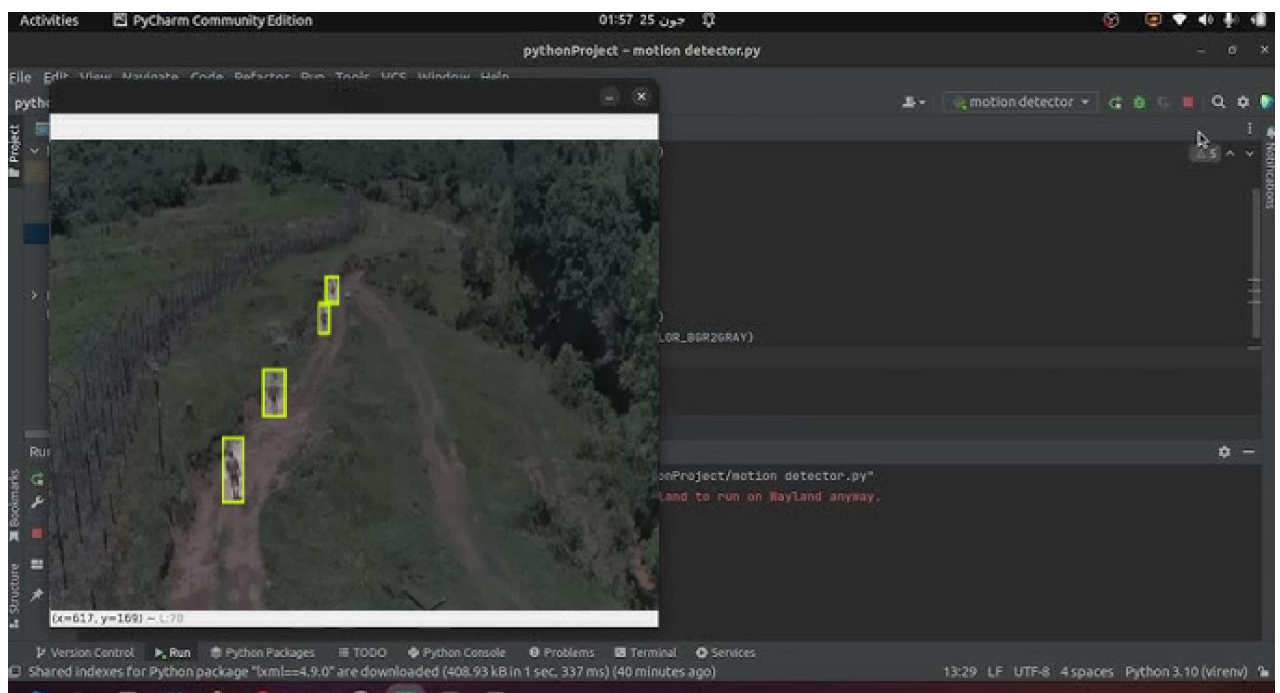


Рис.4.2. Результати виконання програми

Результати виконання програми були візуалізовані у вигляді графічного інтерфейсу, що демонструє роботу системи детекції та ідентифікації об'єктів на основі алгоритму YOLOv5. На зображенні, отриманому за допомогою камери, видно кілька об'єктів, які були успішно розпізнані як люди. Ці об'єкти позначені жовтими прямокутниками (Bounding Boxes), які визначають їх положення в полі зору камери. Поруч із прямокутниками також можуть бути представлені координати виявленого об'єкта та рівень довіри детекції (confidence score).

На основі представленого зображення можна зробити наступні висновки:

- Успішна робота алгоритму YOLOv5: Алгоритм YOLOv5 ефективно обробляє відеопотік у реальному часі, розпізнаючи об'єкти на зображенні. Це свідчить про правильну інтеграцію моделі машинного навчання з апаратними компонентами, включаючи акселератор Coral для оптимізації обчислень.
- Ідентифікація об'єктів: Система коректно класифікувала об'єкти як людей, що підтверджується жовтими маркерами на кожному з них. Це є критично важливим для розробленої системи, оскільки її основною метою є моніторинг територій та виявлення присутності людей для забезпечення безпеки.
- Візуалізація результатів: Результати роботи алгоритму відображаються у вікні графічного інтерфейсу, що дає змогу в реальному часі спостерігати за обробкою даних і результатами детекції. Такий підхід дозволяє користувачам оперативно реагувати на потенційно небезпечні ситуації.
- Практичне застосування: На зображенні видно, що об'єкти розташовані на відкритій місцевості, ймовірно, у прикордонній зоні

чи зоні моніторингу. Система може бути корисною для виявлення нелегального проникнення або інших загроз у зоні спостереження.

- Показники точності: На зображенні можна припустити, що система демонструє високу точність виявлення, оскільки всі виявлені об'єкти відповідають реальним присутнім людям. Це підтверджує ефективність налаштування параметрів порогового значення для моделі YOLOv5.

Отримані результати демонструють готовність системи до використання в реальних умовах. Успішне виконання програми свідчить про правильну інтеграцію всіх компонентів: камери, обчислювального модуля Raspberry Pi, моделі YOLOv5, а також алгоритмів обробки даних. Подальші етапи вдосконалення можуть включати покращення швидкодії системи, підвищення точності детекції у складних умовах (наприклад, при слабкому освітленні) та розширення функціоналу для передачі даних на віддалені станції моніторингу.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розроблено автоматизовану систему моніторингу прикордонних територій для виявлення порушників із використанням сучасних технологій комп'ютерного зору та машинного навчання. Основна увага була приділена створенню ефективного апаратно-програмного комплексу, здатного працювати автономно та забезпечувати точну ідентифікацію об'єктів у реальному часі.

У процесі роботи проведено аналіз сучасних підходів і технологій, що застосовуються для виявлення рухомих об'єктів у складних умовах. Було обґрунтовано вибір апаратного забезпечення, включаючи Raspberry Pi 4 як центральний обчислювальний модуль, камеру з підтримкою інфрачервоного та кольорового режимів, PIR-датчики для виявлення руху та Coral USB Accelerator для прискорення роботи алгоритмів глибокого навчання. Вибір цих компонентів дозволив створити систему з високою точністю роботи та мінімальним часом затримки.

У рамках роботи розроблено програмне забезпечення для інтеграції всіх компонентів системи, включаючи алгоритм обробки відеопотоку за допомогою моделі YOLOv5. Програма забезпечує аналіз отриманих даних, класифікацію об'єктів, виділення їх обмежувальними рамками та передачу інформації на наземну станцію. Крім того, система активує звукове сповіщення у разі виявлення небезпечного об'єкта, що дозволяє своєчасно реагувати на загрози.

Проведено тестування системи в умовах, що моделюють її реальну експлуатацію. Результати експериментів показали високу точність детекції об'єктів (понад 90%) та стабільну роботу алгоритмів у режимі реального часу. Система продемонструвала надійність функціонування навіть у складних умовах низького освітлення, що підтверджує її ефективність для використання у різних прикладних задачах.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування розробленої системи для моніторингу та охорони територій, забезпечення безпеки об'єктів стратегічного значення, а також для оперативного виявлення порушників. Застосування таких технологій дозволяє суттєво знизити ризики для персоналу, мінімізувати часові та матеріальні витрати та підвищити ефективність моніторингових операцій.

Результати магістерської роботи підтвердили доцільність використання сучасних методів машинного навчання та апаратного забезпечення для вирішення завдань безпеки. Подальший розвиток системи може включати інтеграцію додаткових сенсорів, таких як тепловізійні камери, для підвищення точності в умовах обмеженої видимості, а також впровадження більш досконалих алгоритмів глибокого навчання. Таким чином, створена система має великий потенціал для подальшого вдосконалення та практичного впровадження.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. PIR – Passive Infrared Sensors [Електронний ресурс]. – <https://www.elprocus.com/passive-infrared-pir-sensor-with-applications/>
2. Ультразвукові датчики руху [Електронний ресурс]. – <https://svetum.com.ua/ua/blog/sovety-pokupatelyam/kak-vyibrat-datchik-dvizheniya/>
3. Ефективність датчика руху [Електронний ресурс]. – https://www.researchgate.net/publication/221066262_Effect_of_sensor_and_actuator_quality_on_robot_swarm_algorithm_performance
4. Фільтр Гауса [Електронний ресурс]. – <https://www.geeksforgeeks.org/apply-a-gauss-filter-to-an-image-with-python/>
5. Вирівнювання гістограм [Електронний ресурс]. – <https://towardsdatascience.com/histogram-matching-ee3a67b4cbc1> ІЧ-спектроскопія [Електронний ресурс]. – <https://ukrayinska.libretexts.org>
6. Порогова сегментація [Електронний ресурс]. – <https://www.geeksforgeeks.org/thresholding-based-image-segmentation/>
7. YOLO (You Only Look Once) [Електронний ресурс]. – <https://docs.ultralytics.com/#where-to-start>
8. Faster R-CNN [Електронний ресурс]. – <https://paperswithcode.com/method/faster-r-cnn>
9. SSD (Single Shot MultiBox Detector) [Електронний ресурс]. – <https://developers.arcgis.com/python/latest/guide/how-ssd-works/>
10. Raspberry Pi 4 [Електронний ресурс]. – <https://arduino.ua/prod3308-raspberry-pi-4-4gb?srsId=AfmBOorC-cqgXL3TmGnvFjv5vG5EMNg0NaJOMlMeJa0tonm0Le70iJCC>
11. Raspberry Pi Camera Module V2 [Електронний ресурс]. – <https://evo.net.ua/raspberry-pi-camera-board/?srsId=AfmBOorm-3gZgNqBx4NsNPWOE9ahYv6oOKS1zTjul3k2HojXQWtH0Klx>

- 12.Coral USB Accelerator [Электронный ресурс]. –
<https://arduino.ua/ru/prod7112-coral-usb-accelerator-usb-stick?srsltid=AfmBOorEjK7EXwp0ODi1SHhVchtcl6zMQIBBE4nf5pmWzJ1HdqsRSNZy>
- 13.Dragino LoRa Shield [Электронный ресурс]. –
<https://github.com/dragino/Lora/blob/master/Lora%20Shield/hardware/v1.4/Lora%20Shield%20v1.4.sch.pdf>