

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані
системи та технології в приладобудуванні»
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»
на тему: «Тепловізійна камера для БПЛА»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПМ-21мп
Вітковський Віталій Олександрович _____

Науковий керівник: к.т.н.,
доцент

Нечай Сергій Олексійович _____
Консультант з «Розробка стартап-проекту»:

Завідувач кафедри економічної кібернетики, д. е. н., проф.
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент:

доцент к.т.н.
Козир Олег Васильович _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент Вітковський В. О.

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет

Автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію

студенту Вітковському Віталію Олександровичу

1. Тема дисертації «Тепловізійна камера для БПЛА», науковий керівник дисертації Нечай Сергій Олексійович доцент к.т.н., затверджені наказом по університету від «08» листопада 2023 р. № 5188-с.
2. Термін подання студентом дисертації «09» січня 2024 р.
3. Об'єкт дослідження: програмний процес машинного навчання при класифікації зображень.
4. Вихідні дані: база даних зі знімками зроблених за допомогою тепловізійної камери.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: виконати літературний огляд за темою дослідження, провести аналіз існуючих систем і способів розробки програмного забезпечення даного типу, а також розробити програму для класифікації знімків з тепловізійної камери.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: результати порівняльного аналізу сучасних методів машинного навчання, обґрунтування обраної технології штучного інтелекту, структурна схема автоматизованої системи, результати аналізу ефективності роботи системи.

Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Бояринова К.О., д.е.н., професор		

7. Дата видачі завдання 1 вересня 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел, аналіз існуючих систем.	4 тижні	
2	Розгляд принципу роботи тепловізора	1 тиждень	
3	Розгляд і класифікація БПЛА	1 тиждень	
4	Створення програми на основі ШІ	3 тижні	
5	Оптимізація роботи програми	2 тижні	
6	Виконання розділу «Розробка стартап проекту»	2 тижні	
7	Оформлення пояснювальної записки, презентації та плакатів	1 тиждень	

Студент

Віталій ВІТКОВСЬКИЙ

Науковий керівник

Сергій НЕЧАЙ

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить: 93 сторінки, 19 рисунків, 29 таблиць та 35 джерел.

Мета дослідження:

Метою даної магістерської роботи є аналіз принципу роботи безпілота з тепловізійною камерою та розробка програми для аналізу отриманих знімків із застосуванням нейромереж.

Методи дослідження:

Для досягнення мети дослідження будуть використані наступні методи:

Аналіз літературних джерел: Буде проведено аналіз літературних джерел з метою вивчення існуючих тепловізійних камер та БПЛА.

Розробка технічного завдання: Буде розроблено технічне завдання на програму для аналізу зображень тепловізійної камери.

Реалізація технічного завдання: Буде проведено проектування камери з урахуванням вимог технічного завдання.

Тестування : Програма буде протестована в на спеціальному наборі даних.

Об'єкт дослідження: використання машинного навчання при розпізнаванні зображень.

Предмет дослідження: методи автоматизованого розпізнавання людей та вогню на знімках з тепловізора.

Результати роботи та їх новизна:

1. Розглянуто загальну структуру і принцип функціонування БПЛА та тепловізорів з наведеним приладовим складом.

2. Розроблено нейромережу для аналізу та класифікації знімків зроблених на тепловізійну камеру.

3. Протестована робота спроможність нейромережі в двох режимах роботи:

1. Аналіз окремих зображень.

2. Аналіз набору даних.

Ключові слова: БЕЗПІЛОТНИК, ТЕПЛОВІЗОР, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, НЕЙРОМЕРЕЖА, КЛАСИФІКАЦІЯ, PYTHON.

ABSTRACT

The Master's thesis comprises 93 pages, 19 figures, 29 tables, and 35 references.

Research Objective: The objective of this Master's thesis is to analyze the operation principle of a drone with a thermal camera and develop a program for analyzing captured images using neural networks.

Research Methods:

To achieve the research objective, the following methods will be employed:

Literature Review: An analysis of literature will be conducted to study existing thermal cameras and unmanned aerial vehicles (UAVs).

Technical Specification Development: A technical specification will be developed for the program analyzing thermal camera images.

Implementation of Technical Specification: The design of the camera will be carried out, considering the requirements of the technical specification.

Testing: The program will be tested on a specialized dataset.

Research Object: The utilization of machine learning in image recognition.

Research Subject: Methods of automated recognition of people and fire in images from a thermal camera.

Results and Novelty of the Work:

1. The general structure and functioning principle of UAVs and thermal cameras, along with their device composition, have been examined.

2. A neural network has been developed for the analysis and classification of images captured by a thermal camera.

3. The operational capability of the neural network has been tested in two modes:

1. Analysis of individual images.

2. Analysis of a dataset.

Keywords: UAV, THERMAL CAMERA, MACHINE LEARNING, NEURAL NETWORK, CLASSIFICATION, PYTHON.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ, БУДОВА ТА ПРИНЦИПИ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.....	10
1.1 Класифікація безпілотних літальних апаратів.....	10
1.2 Використання БПЛА у різних сферах життя	12
1.3.Будова БПЛА.....	17
1.4 Поняття автономності БПЛА.....	21
Висновок до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ТЕПЛОВІЗОРА.....	25
2.1 Характеристика, будова, переваги та принципи роботи тепловізорів	25
2.2 Принципи дії та переваги блок-схем тепловізійного приладу	27
2.3 Матеріали, типи і характеристики приймачів ІЧ випромінювання.....	30
2.4 Принцип роботи різних типів приймачів	32
2.5 Приклади застосування тепловізорів	37
Висновок до розділу 2	42
РОЗДІЛ 3 НЕЙРОМЕРЕЖА ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗНІМКІВ З ТЕПЛОВІЗІЙНИХ КАМЕР.....	44
3.1 Етап підготовки	44
3.2 Створення та навчання нейронної мережі.....	47
3.3 Результат роботи навченої нейронної мережі.....	51
Висновки до розділу 3	54
РОЗДІЛ 4 ІНТЕГРАЦІЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ	55
Висновки до розділу 4	61

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ЗНІМКІВ З ТЕПЛОВІЗОРА».....	62
5.1. Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проекту	62
5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	66
5.3. Розробка ринкової стратегії проекту	75
5.4. Розроблення маркетингової програми та плану реалізації стартап-проекту	78
5.5. Висновки до розділу 5	84
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БПЛА – Безпілотний літальний апарат

БпАК – безпілотний авіаційний комплекс

ШІ – штучний інтелект

ІЧ – Інфрачервоне

QWIP-Quantum Well Infrared Photodetectors

МН – машинне навчання

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати у сучасному світі набули широкої популярності у використанні в різних сферах та для широкого спектру задач. Відповідно в залежності від потреб було розроблено багато різноманітних безпілотних літальних апаратів, які мають різне цільове призначення, функціональність, розміри, систему керування, систему польоту, систему орієнтації та навігації тощо. Тому для початку нам слід розділити їх на категорії та зрозуміти принципи їх можливого використання.

Хоч і різних безпілотників величезне різноманіття в даному розділі ми розглянемо також принцип побудови який буде справедливим для всіх БПЛА а також систему керування та питання автономності.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають все більш доступними та поширеними. Вони використовуються в різних сферах, таких як:

Аерофотозйомка: БПЛА можуть використовуватися для створення карт, моніторингу сільськогосподарських угідь, контролю будівництва та інших цілей.

Спостереження: БПЛА можуть використовуватися для спостереження за об'єктами та людьми, наприклад, для охорони периметра, пошуку та рятування людей, моніторингу кордонів.

Тепловізійні камери - це пристрої, які дозволяють бачити тепло, що випромінюється об'єктами. Вони можуть бути корисними для БПЛА в таких випадках:

Нічні польоти: Тепловізійні камери дозволяють БПЛА літати вночі, коли видимість обмежена.

Пошук людей: Тепловізійні камери можуть використовуватися для пошуку людей, які загубилися або опинилися в небезпечній ситуації.

Кількість знімків зроблених під час польоту дуже велика тому процес обробки їх людиною займає багато часу. Саме для того щоб вирішити дану програму ми розробимо "помічника" штучний інтелект який зможе допомогти з роботою по класифікації знімків з тепловізійних камер.

РОЗДІЛ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ, БУДОВА ТА ПРИНЦИПИ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

1.1 Класифікація безпілотних літальних апаратів

Промисловий сектор безпілотних літальних апаратів (БПЛА) вражає своєю величезною різноманітністю. У цьому розділі ми провели класифікацію БПЛА за різними характеристиками, які використовуються для їхнього порівняння. БПЛА були розподілені за такими параметрами, як вага, висота та дальність польоту, конфігурація крил і приводів, а також за їхнім призначенням. Важливо зауважити, що в галузі відсутній єдиний стандарт класифікації, і різні критерії використовуються для категоризації цих авіаційних систем.

Класифікацію складено на основі інформації з нормативного документу про затвердження правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України. [1]

За класом дрони діляться на:

1) Клас I «Легкий» (зі злітною масою до 150 кг), до якого входять:

- мікро (тактичний) БпАК БпАК зі злітною масою менше 2 кг і дальністю польоту до 5 км;

- міні-дрони (бойові тактичні) зі злітною вагою від 2 до 15 кг і дальністю понад 5 км;

- малі (тактичні) безпілотники зі злітною масою понад 15 кг і дальністю понад 25 км. Безпілотники високого класу запускаються вручну, за допомогою катапульт, мобільних пускових установок або системи ППО;

2) клас II «Середній» (зі злітною масою від 150 до 600 кг), до якого входять тактичні БпАК (оперативно-тактичні) з дальністю понад 50 км. Безпілотники класу II запускаються за допомогою катапульт, мобільних пускових установок або пускових установок;

3) Клас III «Важкий» (зі злітною масою понад 600 кг), який включає:

Оперативні безпілотники ВрАК (середньовисотні далекобійні – MALE), які використовуються на висоті до 13 700 м (45 000 футів) і мають радіус дії понад 200 км;

4) Стратегічні безпілотники ВрАК (high height long endury - HALE), які використовуються на висоті до 19 800 м (65 000 футів) і мають радіус дії понад 200 км. Для безпілотників III класу потрібен зенітно-ракетний комплекс зі штучним покриттям.

На основі крил і роторів:

З фіксованим крилом: БПЛА, які нагадують конструкцію літака з нерухомими крилами(Рисунок 1.1).

- Один гвинт: БПЛА, які нагадують конструкцію вертольоту з одним головним гвинтом і іншим невеликим у хвостовій частині. [2]

- Багатороторні: БПЛА, які мають більше одного гвинтів. Найчастіше зустрічаються трикоптери, квадрокоптери, гексакоптери та октакоптери.

- Гібридний VTOL з фіксованим крилом: гібридні БПЛА з більшим.



Рисунок 1.1 зображений БПЛА літакового типу

За методом керування можна виділити наступні різновиди БПЛА:

Дистанційно-пілотований спосіб. керування польотом здійснюється в двох режимах:

- ручне керування, здійснюється за рахунок керування оператора безпілотного літального апарату в режимі реального часу;

- автоматизоване керування здійснюється автономно, з можливістю його коригування. Попередньо вводять координати точок маршруту, визначаючи поточний стан літального апарату за допомогою навігації.

- Автоматичний спосіб, керування відбувається автопілотом по заздалегідь заданій траєкторії на заданій висоті із заданою швидкістю і зі стабілізацією кутів орієнтації.

Залежно від призначення дрони поділяються на:

1) Бойові безпілотники БпАК – призначені для виконання бойових завдань, у тому числі:

- БПЛА-розвідники БпАК;

- Розвідка та цілевказівка безпілотних літальних апаратів (БПЛА);

- БПЛА БпАК засоби радіоелектронної боротьби;

- ударні дрони; Безпілотники - перехоплювачі. Бойові дрони БпАК можуть мати комбіноване призначення:

2) Безпілотний літальний апарат спеціального призначення БпАК - призначений для виконання спеціальних завдань у якості ретрансляторів і цілей, а також для спостереження та спостереження за об'єктами, територіями тощо.

1.2 Використання БПЛА у різних сферах життя

Поява безпілотних літальних апаратів спочатку була направлена на виконання таких військових завдань, як розвідка та визначення цілей. Пізніше були впроваджені ті що можуть нести бойові заряди.

Для силових відомств необхідні надійні та невибагливі БПЛА, при цьому оснащені складним багатофункціональним обладнанням. Апарати, що застосовуються силовиками, повинні бути добре захищені як від зовнішніх впливів, так від перехоплення управління та зібраної інформації. Сучасні функціональні методи класифікації ґрунтуються на первинній різниці між бойовими безпілотними літальними апаратами і БЛА забезпечення (рис. 1.2).

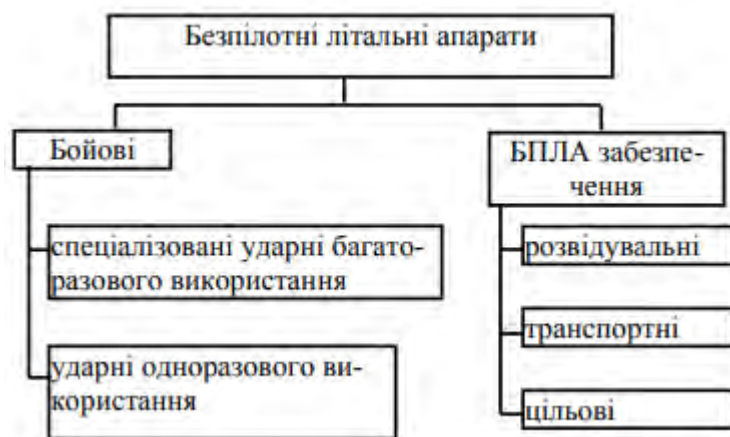


Рисунок 1.2- Функціональна класифікація БПЛА.

Використання БПЛА дозволило військовим зберегти величезну кількість життів. Дана технологія дозволила виконувати завдання які раніше здавались неможливими або з високою вірогідністю привели б до загибелі пілота. На рисунку 1.3 нижче зображено один із найновітніших безпілотників США MQ-9 Reaper. [3]



Рисунок 1.3- Приклад БПЛА, що використовують у військових цілях.

За останні роки зростає кількість ініціатив, спрямованих на просування БПЛА та полегшення їх інтеграції у цивільний повітряний простір. Ці ініціативи представляють національні та міжнародні інтереси.

Нижче ми розглянемо способи використання безпілотних технологій в широкому колі галузей.

Застосування БПЛА для гуманітарної допомоги та ліквідація наслідків стихійних лих. Землетруси, пожежі, аварії на виробництвах, урагани, цунамі, тощо.

Надзвичайні ситуації та стихійні лиха завжди несли велику небезпеку для життя та здоров'я людей і це твердження справедливе не лише для потерпілих під час катастроф а і до рятувальників. В таких випадках важливий час бо чим швидше зможуть нагадати допомогу постраждалим тим більші будуть шанси на виживання.

І для того, щоб дослідити територію, яка знаходиться під впливом перелічених вище явищ спеціалісти зараз можуть використовувати БПЛА. Завдяки даному виду техніки зменшується ризик для дослідників отримати травму або опинитись у безвихідному положенні.

На кінець серпня 2017 року інформаційне агентство CNBC поділилось інформацією про використання дронів у протипожежній діяльності. Протипожежні служби у деяких містах США використовують безпілотники як розвідники, надсилаючи їх на місце загоряння. Спеціалізовані безпілотні літальні апарати, оснащені газоаналізаторами і тепловізорами, дозволяють не лише оцінити розміри пожежі, але й рятувати життя. Важливим плюсом використання дронів є їхня швидкість реагування. [4]

Раніше для пошуково-рятувальних операцій під час пожеж використовували сотні людей, а тепер безпілотник, обладнаний тепловізором, може допомагати швидко локалізувати людину в повітрі.

Безпілотники також виявлять свою корисність у запобіганні природним катастрофам. Наприклад, для моніторингу та протидії лісовим пожежам використовують безпілотники із тепловізійними камерами для виявлення аномальних температурних змін у лісі. Це дозволяє командам визначити області, які найбільше вразливі до лісових пожеж, або виявляти пожежі за кілька хвилин після їх початку.

Застосування БПЛА в сільському господарстві

Основною метою точного землеробства є використання оптимального обсягу ресурсів у потрібний час та в потрібному місці для виробництва більш якісних продуктів. Найбільш затребуваним напрямом роботи у сільському господарстві є оцінка стану рослинності. Вона актуальна на всіх стадіях розвитку рослин, що дозволяє оцінити поточну врожайність та планувати комплекс робіт для підвищення врожайності в майбутньому.

Другим сценарієм використання безпілотників у господарстві це обприскування рослин та плодових дерев.

Придбання дрона для мікро або малого господарства набагато дешевше, ніж придбання самохідної машини. Залежно від виду посівів та загального технічного стану господарства, вкладені кошти окупляться протягом одного сезону.

У випадку з сервісними компаніями (надають послуги в агросекторі) інвестиції окупляться протягом 2 років. Витрати на хімікати зменшуються на 20-30%. Завдяки недефективному споживанню зменшується споживання води. Крім того, фермер збереже 2-4,5% урожаю, який зазвичай псують колеса трактора чи іншої важкої техніки. [5]



Рисунок 1.4- Приклад використання безпілотника типу квадрокоптер у сільському господарстві.

Застосування БПЛА для перевезення пасажирів.

Мабуть кожен з нас хоча б раз хотів замість того щоб стояти з заторах мати можливість злетіти і швидко та без перепон дістатись до місця призначення.

Використання дронів може допомогти втілити нашу мрію в реальність.

13 жовтня 2023 року Управління цивільної авіації Китаю (СААС) видало сертифікат, важливий документ для авіаційної галузі, на перше в світі електричне таксі EH216-S з вертикальним зльотом і посадкою. Крім того, дозвіл дає право здійснювати польоти без пілота на борту.

Модель EH216-S виробляється компанією EHang у провінції Гуандун. Це дрон із 16 маленькими роторами.

СААС дав дозвіл після того, як EHang провів понад 40 000 тестових польотів, включаючи польоти з волонтерами в 18 містах Китаю. Компанія піддала EH216-S структурному аналізу та краш-тесту, перевіряючи його здатність продовжувати політ у разі відмови ротора. [6]

Регулятори також перевірили бездротову мережу, яку використовує EHang для підключення своїх літаючих таксі до наземного центру управління. Це дозволяє екстреним пілотам здійснювати дистанційну посадку в разі виникнення проблеми.

EH216-S має запас ходу приблизно 30 км і швидкість до 130 км/год.

EHang вже запустила фабрику з виробництва таких таксі і сподівається почати перевірочні рейси в провінції Гуандун до кінця року.



Рисунок 1.5- Безпілотне таксі EH216-S

1.3.Будова БПЛА

Коротка характеристика основних систем безпілотного літального апарату До основних систем БПЛА входять:

1) Система силової установки (Двигун).

За типом системи силової установки БПЛА поділяються на ті, що мають електричні двигуни, та ті, що обладнані двигунами внутрішнього згорання, у тому числі ракетними двигунами. Кожен із зазначених типів двигунів має свої недоліки, переваги та особливості.

Двигуни, які використовують рідке паливо, таке як бензин чи водень (поршневі, роторні, газотурбінні та реактивні), відзначаються високим часом роботи дрону без необхідності дозаправки, що може сягати 8-10 годин. У порівнянні з цим дрони, які працюють на електродвигунах, можуть функціонувати протягом 3-4 годин в залежності від погодних умов та температури.

Електричні дрони відзначаються вищою надійністю та безпечністю в експлуатації. Їхня менша вага поліпшує управління та маневрування, а також сприяє кращим амортизаційним характеристикам під час посадки, що впливає на загальні експлуатаційні якості.

На електричних дронах в основному використовуються літій-полімерні батареї (Li-Po). Енергія, яка акумулюється Li-Po набагато менша ніж у двигунах внутрішнього згорання, проте електродвигуни дешевші у виробництві та легші і тихіші під час експлуатації. [8]

На даний момент проводяться наукові дослідження з розробки безпілотних літальних апаратів, обладнаних іонними двигунами. Іонний двигун є одним з видів електричних ракетних двигунів, широко використовуваним в аерокосмічній сфері.

Принцип роботи іонного двигуна ґрунтується на створенні тяги за рахунок іонізованого газу, який розганяється до великих швидкостей в електричному полі. Основною перевагою цих двигунів є їх ефективність і тривалий термін безперервної роботи, який, в деяких випадках, може перевищувати три роки. Проте недоліками іонних двигунів, порівняно з двигунами внутрішнього згорання, є низька тяга.

2) Електронна (комп'ютерна) система управління.

Система управління БПЛА керується за допомогою бортового комп'ютера. Розвиток обчислювальних можливостей бортових комп'ютерних систем відбувався поступово і прямо залежав від досягнень обчислювальних технологій.

На сьогоднішній день використовуються або відкриті операційні системи типу Linux, або сучасні спеціалізовані оперативні системами реального часу, такі як QNX, VME, VxWorks, XOberon тощо.

Програмне забезпечення безпілота призначене для збору даних від встановлених на дроні датчиків, які відповідають за управління системою силової установки та комунікацію з оператором.

Основними датчиками, обладнаними на дроні, є прилади для зчитування як зовнішньої, так і внутрішньої інформації, а також їх взаємодія між собою. Застосування широко розповсюджених схемотехнічних рішень передбачає використання єдиної плати для бортового комп'ютера та основних систем дрону, яка розташована в єдиному корпусі. Процесор бортового комп'ютера використовує скорочений набір команд, що відповідає архітектурі RISC/ARM, аналогічно мобільним телефонам, смартфонам та іншим пристроям.

3) Система зв'язку «телеметрії».

Для зв'язку з БПЛА та високошвидкісної передачі даних на наземний пункт управління використовується командна радіолінія. Як правило вона організовується на ультракороткій хвилі від 200 до 400 МГц, L (1-2 ГГц), S (2-4 ГГц), C (3,4-8 ГГц) та X (7-10,7 МГц) у межах діапазону прямої видимості. Для зв'язку на далекій відстані можуть використовуватися БПЛА-ретранслятори, а також засоби супутникового зв'язку.

У простих надлегких, легких та малих БПЛА також можуть використовуватися мережі мобільних операторів (2G покоління, що працюють на частотах 780-960, 925-960 МГц, або 1,7-2,2, 2,5-2,7 ГГц), мережі WiFi (2,4-2,5, 5,15-5,35, 5,65-6,425 ГГц), WiMAXMobile (2,3-13,5 ГГц) та LTE (0,79- 0,87, 1,7-1,8, 2,5-2,7 ГГц). [8]

У випадках, якщо команди з пульта управління не надходять, то БПЛА переходить у режим автопілотування. У цьому режимі БПЛА можуть

використовувати як прості програми, на кшталт «повернення», «прямолінійний політ», «баражування», так й складні програми автоматичного польоту, які використовують заздалегідь закладені електронні карти місцевості та дані навігаційної системи.

4) Навігаційна система.

Навігаційними системами, що використовуються на переважній кількості БПЛА є супутникові радіонавігаційні системи. До найпоширеніших із них належать GPS/NAVSTAR (США), Beidou (BDS)/GNSS (Китай), Galileo (ЄС), DORIS (Франція), ГЛОНАСС (росія), QZSS (Японія), IRNSS (Індія). Сигнали супутникових радіонавігаційних систем формуються на частотах в діапазоні від 1,1 до 1,6 ГГц.

Зазвичай, легкі та малі безпілотні літальні апарати (БПЛА) використовують прості навігаційні системи, які працюють в інтегрованому режимі обробки сигналів від кількох супутникових радіонавігаційних систем. Це забезпечує точність навігації в межах 1-2,5 метра у горизонтальній площині та висоті. [9]

У більш складних БПЛА встановлюються компоненти автоматичної навігаційної системи, такі як акселерометри, гіроскопи, барометри, лазерні висотоміри і т.д. Для авіаційних інерційних навігаційних систем "середня точність" визначається як точність з похибкою в 1,4 км за 1 годину польоту.

Авіаційні інтегровані навігаційні системи, які використовують лазерні або волокно оптичні гіроскопи, досягають такої точності. Проте, важливою проблемою є їхня значна маса, яка складає від 8 кг, що робить їхнє використання на малих БПЛА неможливим та ускладнює їх впровадження на середні БПЛА. Внаслідок цього на легких та малих безпілотах встановлюються менш складні інтегровані системи навігації, що використовують мікромеханічні датчики руху, такі як акселерометр і гіроскоп.

Однак така система навігації не здатна автоматично коригувати пройдений шлях при великих швидкостях гіроскопічного дрейфу без впливу коригувальних сигналів супутникових радіонавігаційних систем. Таким чином, відсутність корекції

призводить до помилок у мікромеханічних інтегрованих системах, які за 1 хвилину можуть досягати 3 метрів у горизонтальному напрямку і 2 метрів у вертикальному.

Ці навігаційні системи можуть забезпечувати задовільну точність протягом перших 10 хвилин без сигналів супутникових радіонавігаційних систем, при умові, що політ відбувається без прискорень і маневрів. Такий рівень точності підтримується, наприклад, мікромеханічною інтегрованою навігаційною системою, такою як Geo-iNAV, яка має приблизну масу 3 кг.

Для підвищення автономності та точності навігаційних систем БПЛА використовуються такі засоби, як барометр та лазерний висотомір. Це обладнання сприяє підвищенню точності визначення координат за рахунок використання додаткових каналів об'єднання навігаційних даних. Також встановлені електронні карти місцевості, що містять барометричні дані або висотні профілі, для формування профілю автоматичного польоту БПЛА.

В залежності від переліку поставлених завдань на борту БПЛА можуть додатково встановлюватися такі системи та пристрої, як:

- система розвідки (оптико-електронної, тепловізорної, радіолокаційної, радіо- та радіотехнічної-, радіаційної-, хімічної-, бактеріологічної- та інших видів розвідки);
- засоби для радіоелектронної боротьби або пристрої радіоелектронних перешкод;
- пристрої наведення та корекції керованої зброї;
- засоби поразки цілей різних типів;
- засоби управління та зв'язку з наземним пунктом управління;
- апаратура автоматичного пілотування та посадки;
- транспортувальні касети, відсіки, кріплення тощо. [8]

1.4 Поняття автономності БПЛА

На даний момент одним із найважливіших питань у вдосконаленні та розробці багатоцільових БПЛА є питання автономності.

Автономність передбачає здатність системи виконувати певний перелік дій, які визначені її можливостями та доступом до функціоналу, на основі власних прийнятих рішень. Прийняття рішення в системі відбувається зазвичай на основі заданих параметрів, показань вимірювання з датчиків в реальному часі, та їх порівняння та аналізу.

Окрім звичайних алгоритмів які впроваджуються в автоматизовані системи керування існують ще ті, які базуються на елементах машинного навчання та технологіях штучного інтелекту.

Такі системи мають вже набагато більше вимог до потужності ядра та точності вимірювання, так як прийняття рішення відбувається на основі раніше наданих навчальних даних.

Також такі системи потребують певного часу на навчання, так як без досягнення високої точності їх використання буде недоречним та навіть небезпечним для системи. [10]

Щоб зробити БПЛА повністю автономним, все ще потрібно багато технологічних та алгоритмічних розробок. Наприклад, для систем БПЛА потрібно покращення зондування перешкод та подальше їх уникнення. Це стає особливо важливим, оскільки автономні БПЛА починають працювати в цивільному повітряному просторі, який використовується іншими літаками.

Управління безпілотними літальними апаратами корисно, але це може бути складно під час взаємодії транспортного засобу з навколишнім середовищем.

Ця взаємодія може бути, наприклад, у формі посадки на землю або на посадочний майданчик, стикування зі станцією, наближення до місцевості для огляду або наближення до іншого літака. Такі завдання часто можна вирішити при дистанційному пілотуванні транспортного засобу, особливо коли пілот має зображення навколишнього оточення від першої особи.

Однак ручний контроль людиною не завжди може бути застосований, наприклад, через відсутність відповідного каналу передачі даних, або через точність та/або швидкість, яка потрібна для маневру, яка може бути поза можливостями людини.

Таким чином, важливо знайти ефективні та гнучкі стратегії, що дозволяють таким засобам виконувати цей перелік завдань в автономному режимі.

Розглядаючи принцип автономності БПЛА варто виділити основні складові, які забезпечують її роботу:

1) наявність датчиків та інших вимірювальних пристроїв - для забезпечення автономної роботи будь-якої системи вона повинна бути оснащеною усіма необхідними датчиками. У випадку автономної роботи літального апарату до датчиків виставляється ряд вимог, які передбачають що вимірювання будуть виконуватися з певною точністю, робота датчика не буде залежати від різних факторів, наприклад вібрацій чи тиску, які можуть впливати на точність і загалом на працездатність системи;

2) система керування рухом - до її складу включаються як програмні так і апаратні складові, які у сукупності здатні виконувати безпосереднє керування. Цей процес відбувається у сукупності з різними датчиками, системою орієнтації та навігації, виконавчими механізмами та алгоритмами;

3) обробка вимірюваних даних - системи, які базуються на принципах автономності повинні вміти виконувати самостійний аналіз даних, без чого не може відбуватися будь-який процес;

4) наявність системи запам'ятовування - система повинна вміти зберігати інформацію про певну кількість минулих вимірювань та дані про прийняття рішення. Цей елемент є важливим, так як забезпечує можливість вдосконалення автоматизованих систем і надає можливість виявляти помилки і їх можливі причини;

Даний перелік описує тільки основні та узагальнені аспекти, які важливо дотримуватися при проектуванні та роботі з автоматизованими системами, зокрема системами керування БПЛА.

Висновок до розділу 1

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), також відомі як дрони, стали революційною технологією в багатьох сферах. Їх класифікують за різними критеріями, такими як:

Тип двигуна: електричні, бензинові, дизельні, гібридні.

Тип крила: літаки, мультикоптери, конвертоплани, автожири.

Вага: мікро, міні, легкі, середні, важкі.

Призначення: військові, комерційні, цивільні.

Будова БПЛА зазвичай включає:

Корпус: захищає внутрішні компоненти.

Крила: генерують підйомну силу.

Двигуни: забезпечують тягу.

Пропелери: перетворюють обертання двигуна в тягу.

Авіоніка: електронні системи управління, навігації та зв'язку.

Корисне навантаження: камери, радары, датчики, інше обладнання.

Принципи роботи БПЛА ґрунтуються на аеродинамічних принципах, що й у звичайних літаків. БПЛА керуються за допомогою бортового комп'ютера, який отримує сигнали з пульта дистанційного керування або GPS-навігатора.

БПЛА мають ряд переваг:

Економічність: дешевші в експлуатації, ніж пілотовані літаки.

Безпека: знижують ризики для людей.

Доступність: можуть літати в небезпечних або важкодоступних місцях.

Гнучкість: можуть використовуватися для різних завдань.

БПЛА мають й деякі недоліки:

Обмежена дальність польоту: залежить від ємності батареї.

Вразливість до погодних умов: можуть не літати при сильному вітрі або дощі.

Проблеми з безпекою: ризик зіткнень з іншими літальними апаратами.

БПЛА - це динамічно розвиваюча технологія, яка має великий потенціал для використання в різних сферах. Їх переваги, такі як економічність, безпека, доступність і гнучкість, роблять їх цінним інструментом для багатьох завдань.

Очікується, що в майбутньому БПЛА будуть ще більш поширеними, і їх можливості будуть розширюватися.

РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ТЕПЛОВІЗОРА

2.1 Характеристика, будова, переваги та принципи роботи тепловізорів

Кожне тіло, яке має температуру відмінну від абсолютного нуля, випромінює теплове випромінювання з безперервним розподілом по спектру довжин хвиль. Наприклад, розпечений шматок заліза випромінює світло. В фізиці для опису теплового випромінювання використовується модель абсолютно чорного тіла, закон Стефана-Больцмана, який описує потужність випромінювання, і виведений експериментально.

У сучасній термінології теплової інфраструктури використовується тепловізія для спостереження теплового випромінювання об'єктів. Тепловізори сприймають електромагнітне випромінювання, і чим вища температура об'єкта, тим яскравіше він відображається на екрані. Такий підхід дозволяє спостерігати об'єкти в повній темряві.

Однією з ключових особливостей теплової інфраструктури є те, що чим вища температура об'єкта, тим інтенсивніше його теплове випромінювання, і тепловізор може використовуватися для визначення температурних різниць. Оптимальний діапазон для спостереження теплового випромінювання від -30 до $+100$ °C знаходиться в діапазоні 6-16 мкм. Це робить тепловізори ефективними для спостереження людей, тварин, рослин, будівель, автомобілів та інших об'єктів.

Тепловізор – це пристрій, який перетворює інфрачервоне випромінювання, що випромінюється об'єктом, у видиме зображення. Тепловізори використовуються в різних сферах, таких як:

Спостереження: Тепловізори можуть використовуватися для спостереження за об'єктами та людьми в умовах низької видимості, наприклад, вночі або в задимленому приміщенні.

Пошук і порятунок: Тепловізори можуть використовуватися для пошуку людей, які загубилися або опинилися в небезпечній ситуації.

Обстеження будівель: Тепловізори можуть використовуватися для виявлення проблем з теплоізоляцією будівель.

Промисловість: Тепловізори можуть використовуватися для виявлення проблем з обладнанням, наприклад, перегріву електродвигунів.

Основними компонентами тепловізора є:

Об'єktiv: Фокусує інфрачервоне випромінювання на детектор.

Детектор: Перетворює інфрачервоне випромінювання в електричний сигнал.

Обробник зображення: Перетворює електричний сигнал у видиме зображення.

Дисплей: Відображає видиме зображення.

Переваги тепловізорів:

Бачення в умовах низької видимості: Тепловізори дозволяють бачити об'єкти в умовах низької видимості, наприклад, вночі або в задимленому приміщенні.

Точність: Тепловізори можуть виявляти невеликі відмінності в температурі, що робить їх корисними для таких завдань, як обстеження будівель і виявлення проблем з обладнанням.

Безконтактність: Тепловізори не потребують контакту з об'єктом, що робить їх безпечними для використання в небезпечних ситуаціях.

Принципи роботи тепловізора:

Тепловізори працюють, виявляючи інфрачервоне випромінювання, що випромінюється об'єктом. Все, що має температуру вище абсолютного нуля, випромінює інфрачервоне випромінювання. Чим вища температура об'єкта, тим більше інфрачервоного випромінювання він випромінює.

Об'єktiv тепловізора фокусує інфрачервоне випромінювання на детекторі. Детектор перетворює інфрачервоне випромінювання в електричний сигнал. Обробник зображення перетворює електричний сигнал у видиме зображення. Дисплей відображає видиме зображення.

На видиме зображення впливає температура об'єкта. Більш теплі об'єкти відображаються на зображенні світлішими, а холодніші об'єкти – темнішими. [12]

Тепловізори – це потужні інструменти, які можна використовувати в різних сферах. Вони дозволяють бачити в умовах низької видимості, виявляти невеликі відмінності в температурі та працювати безконтактно.

2.2 Принципи дії та переваги блок-схем тепловізійного приладу

Принцип роботи тепловізійних пристроїв ґрунтується на конвертації теплового випромінювання об'єктів в видиме зображення, яке виводиться на монітор. Теплове випромінювання, реєстроване тепловізором, належить до інфрачервоного діапазону довжин хвиль.

Оскільки будь-яке тіло з температурою вище $0\text{ }^{\circ}\text{K}$ випромінює електромагнітні хвилі в ІЧ-діапазоні, для тепловізора будь-який об'єкт, що досліджується, є джерелом випромінювання. Це відрізняє тепловізор від приладів видимого діапазону, які сприймають випромінювання об'єктів у видимому діапазоні або відображають зовнішнє видиме випромінювання.

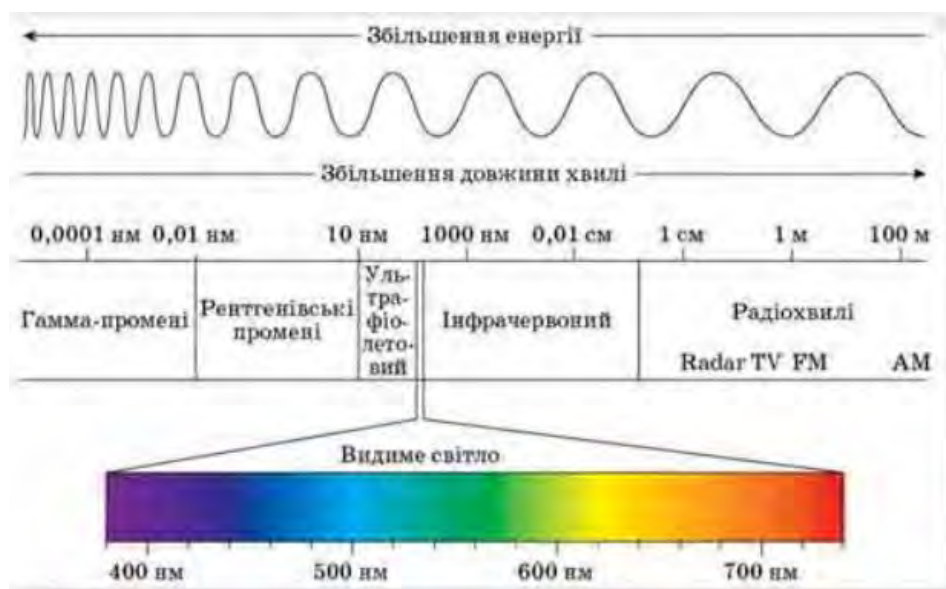


Рисунок 2.1 Спектр випромінювання електромагнітних хвиль

Формування інфрачервоного зображення вимагає наявності температурного контрасту між об'єктом та фоном, а також контрасту коефіцієнта випромінювання в межах контуру об'єкта між його окремими елементами. Сучасні тепловізійні пристрої демонструють високу чутливість і можуть реєструвати температурні контрасти навіть

на рівні 0,01 °С. Більшість з цих пристроїв операційно працюють у діапазонах 3-5 мкм і 8-14 мкм, що відповідає прозорості середовища в інфрачервоній області. Особливості різних поколінь тепловізорних приладів наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Покоління тепловізійних приладів.

Покоління тепловізійних приладів	Система розгортки зображення	Приймач випромінювання
Нульове	Двовірна оптико- механічна	Одиночний приймач випромінювання
Перше	Одновимірна оптикомеханічна	Одновимірна лінійка фотоприймачів
Друге	Одновимірна оптикомеханічна	матриці фотоприймачів у вигляді 2-6 лінійок
Третє	Без використання оптико-механічних систем розгортки зображення	Фокально - площинні матриці фотоелементів (FPA - Focal Plane Array)

Основні переваги тепловізорів третього покоління:

- відсутність оптико-механічної розгортки зображення і відповідно мала маса ;
- габарити і енергоспоживання ;
- тиха робота ;
- високе відношення сигнал / шум і якість зображення ;
- широкий динамічний діапазон ;
- можливість зв'язку з сучасними комп'ютерами ;
- цифрова обробка зображення в реальному масштабі часу. [13]

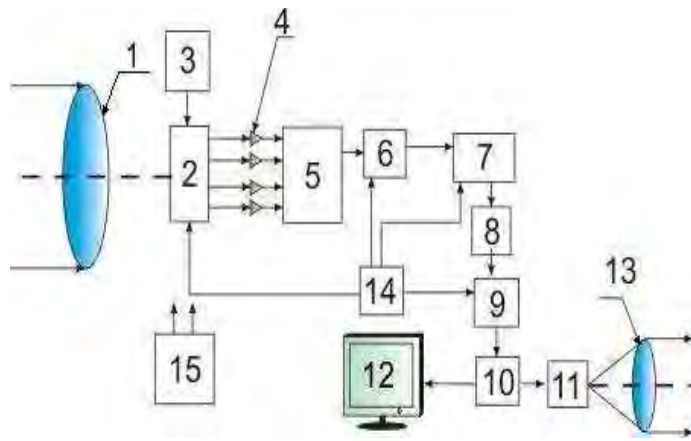


Рис. 2.2 – Блок-схема тепловізійного приладу третього покоління.

1 - ІЧ-об'єктив, 2 - матриця ІЧ-фотоприймачів, 3 - блок охолодження або термо-стабілізації матриці, 4 - перед підсилювачі, 5 - мультиплексор, 6 - аналоговий коректор неоднорідності сигналів, 7 - аналого-цифровий перетворювач, 8 - цифровий коректор неоднорідності сигналів, 9 - коректор непрацюючих елементарних фотоприймачів матриці, 10 - блок формування зображення з мікропроцесорною обробкою відеосигналу, 11 - цифровий вихід для підключення до персонального комп'ютера, 12 - ТВ-монітор, 13 - окулярна система, 14 - тактовий генератор, 15 - первинне джерело живлення (акумуляторна батарея). [20]

Блок-схема тепловізійного пристрою третього покоління подана на рис. 2.2. Присутність елементів 3 і 13 є необов'язковою і залежить від конкретного типу пристрою. Наявність нерівномірностей в сигналах елементарних фотоприймачів матриці попередньо піддається корекції в аналоговій формі, перетворюється у цифрову і коригується на основі даних, отриманих під час калібрування. [14]

Далі сигнали піддаються корекції (з можливим виключенням несправних елементів матриці та їх заповненням) і направляються в блок формування зображення 10. На його виході інформація виводиться або у вигляді відеосигналу для подальшого відтворення на ТВ-моніторі, або у цифровій формі для передачі до особистого комп'ютера.

2.3 Матеріали, типи і характеристики приймачів ІЧ випромінювання

Матриці фокально-площинних ІЧ фотоприймачів можуть бути виготовлені із різних матеріалів, визначаючи ключові характеристики тепловізорів, такі як спектральний діапазон, температурна чутливість, необхідність охолодження та ефективність системи.

Розрізняють два основних типи ІЧ приймачів: фотонні приймачі і теплові приймачі. До теплових приймачів відносяться мікроболометричні та піроелектричні приймачі. У таблиці 2.2 представлені матеріали, які використовуються для створення різних типів ІЧ-приймачів.

Таблиця 2.2 - Матеріали матриць ІЧ - приймачів різних типів.

Типи приймачів інфрачервоного випромінювання	Матеріал матриці фотоприймачів, робоча область спектра
Фотонні	1. Халькогенід свинцю (PbS, PbSe), 1.5-6 мкм. 2. Соединення кадмій-ртуть-теллур- HgCdTe ₂ (КРТ), 1-20 мкм 3. Антимонід індію (InSb), 3-5 мкм 4. Силіцид платини, структури на бар'єрі Шотткі (PtSi), 1-5 мкм 5. домішкових кремній (Si: x) і германій (Ge: x). 6. Багатошарові структури з квантовими ямами на базі GaAs / AlGaAs (QWIP детектори), 8-12 мкм.

Продовження таблиці 2.2

Теплові Мікроболометричні	Модифікації оксидів ванадію $VxOx$, 8-14 мкм Полікристалічний і аморфний кремній, 8-14 мкм.
Теплові Піроелектричні	Цирконат свинцю 8–12 мкм Ніобат і титанат барій-стронцію 8–12 мкм Тригліцинсульфата 8–12 мкм Сополімери вініленфторида 8–12 мкм

За типом конструкції матриць, фотонні та теплові мікроболометричні приймачі можуть бути розроблені на основі комплементарних металооксидних напівпровідникових (КМОП) матриць. Фотонні приймачі також можуть бути вироблені на основі пристроїв з зарядовим зв'язком – матриці п'єзоелектричних кристалів. [15]

Зовнішній вигляд типової ІЧ - матриці показані на рис. 2.3.

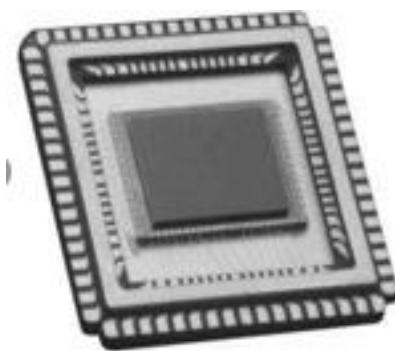


Рис. 2.3 - зовнішній вигляд ІЧ матриці

2.4 Принцип роботи різних типів приймачів

Принцип роботи фотонних приймачів ґрунтується на феноменах фотопровідності та фотоелектричного ефекту (фотовольтовий детектор). Фотопровідність виникає внаслідок збільшення провідності кристала при поглибленні електронами енергії падаючого випромінювання. Фотон випромінювання з енергією $E_f = h\nu$ може бути поглинений електроном кристала з енергією E_e , якщо існує дозволений енергетичний рівень $E = E_e + E_f$. Зміну електричної провідності виявляють через пропускання струму від зовнішнього джерела.

Фотоелектричний ефект полягає в виникненні струму в зовнішньому ланцюзі при поглибленні фотонів падаючого випромінювання напівпровідниковою структурою з р-п переходом. Поглиблення фотона, наприклад, в п-області призводить до утворення електронно-діркової пари. Дірки з п-області під впливом електричного поля р-п переходу захоплюються в р-області, створюючи фотострум. При застосуванні зворотного напруги до р-п переходу отримуємо режим фотодіода. Фотоелектричний ефект використовується в приймачах на основі матеріалів, таких як арсенід індію InAs, антимонід індію InSb, і сплав телуриду кадмію – телуриду ртуті HgCdTe.

Тепловізійні прилади, що використовують QWIP-матриці, з'явилися в 90-х роках ХХ століття і відзначаються високою технологічністю, відтворюваністю та однорідністю параметрів. QWIP-детектори складаються з альтернативно розташованих шарів широкозонного та вузькозонного напівпровідникових матеріалів, які утворюють квантові ями.

Використовуючи вакуумні технології, зокрема молекулярно-променеву епітаксію, шари чергуються з використанням високовакуумних процесів, що створює ефективні квантові ями за допомогою високоточного контролю. Ці квантові ями утворюють зв'язані стани для електронів або дірок, що дозволяє досягти високої ефективності та керованості детектора.

Зони провідності QWIP-структур створені через бар'єри з широкозонного $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ і ями з вузькозонного GaAs. Енергію зв'язку електрона в ямі можна регулювати зміною ширини ями, тоді як висота бар'єру регулюється складом x сполук $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Під дією зовнішньої напруги зміщення, фотонами збуджені електрони з GaAs-ям передаються та детектуються як фотострум. Цей підхід застосовується в тепловізійних системах для отримання високочутливих теплових зображень.

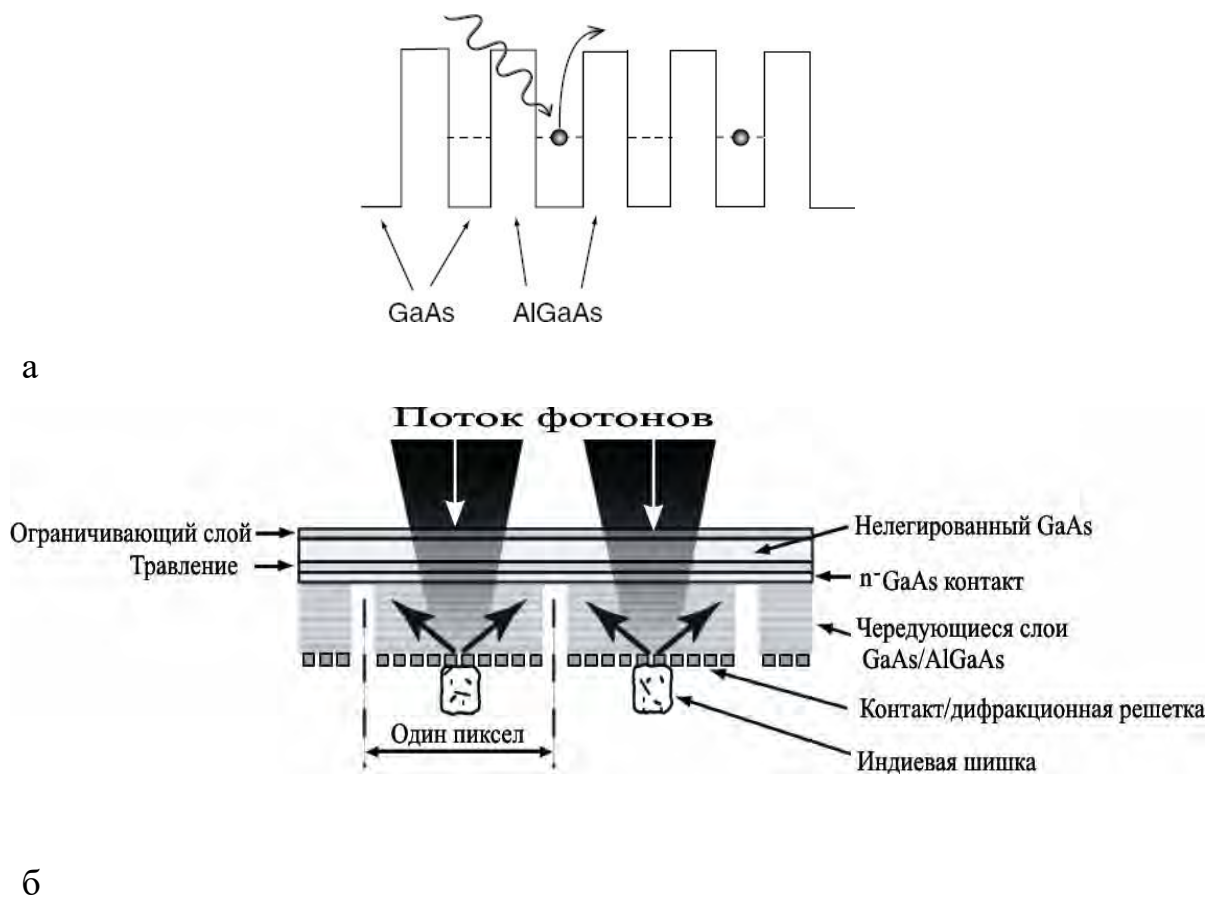


Рис. 2.4 – Структура з квантовими ямами, утворена вузькозонним GaAs і широкозонним $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ - а, QWIP структура – б. [16]

На рисунку 2.4 б зображена структура QWIP детектора, в якій чергуються шари GaAs і AlGaAs розташовуються горизонтально.

Для ефективного фотозбудження електронів в QWIP-детекторі необхідно, щоб електричний вектор був орієнтований перпендикулярно квантовій ямі, як це представлено на рисунку 2.4а. Проте, при дослідженні структури QWIP-детектора (рисунок 2.4 б), видно, що напрямок падаючого потоку фотонів поперек, тоді як електричний вектор орієнтований вздовж квантових ям. З цією метою для

початкового ініціювання процесу фотонного поглиблення використовується металева двовірна дифракційна решітка, яка розсіює потік фотонів під кутом 45° .

Шляхом отримання горизонтальної компоненти відбитого потоку фотонів від дифракційної решітки створюють носії заряду. Застосування негативної напруги зміщення до контакту n-GaAs в результаті зміщення електронного потоку спрямує його до індію, який взаємодіє з системою зчитування сигналу.

Отже, початковий потік фотонів перетворюється в електричний сигнал. Під час формування QWIP-структури, нелегований шар GaAs зазнає полірування з тильного боку і використовується для зворотнього відображення та відбиття не поглинутих фотонів, що виходять зі структури.

QWIP-детектори вирізняються високою технологічністю, але вони мають відносно низький квантовий вихід (близько 10%), що призводить до необхідності більш тривалого накопичення сигналу порівняно з пристроями на основі InSb і HgCdTe, де квантовий вихід становить близько 90%. Однак спектральні характеристики QWIP-детекторів можуть бути гнучко налаштовані шляхом зміни параметрів квантових ям, утворених шарами GaAs і AlGaAs. [16]

Для досягнення високої температурної чутливості робочого ІЧ-детектора його спектральний діапазон налаштовують так, щоб він оптимально відображав максимальну випромінювальну здатність спостережуваних об'єктів. Основними характеристиками ІЧ-приймачів є температурна чутливість NETD (різниця температур, еквівалентна шуму), кількість пікселів у матриці, швидкість отримання зображення та необхідність охолодження матриці.

Найкращі QWIP-прилади мають NETD менше 10 мк, типові - близько 20 мк, а середні - до 35 мк. Розміри матриць QWIP-детекторів варіюють від 256 x 256 до 640 x 512. Для приладів із КРТ-приймачами, NETD для найкращих моделей становить 10 мк, для типових - 15 мк, для середніх - 20 мк. Для роботи в довгохвильовому ІЧ-діапазоні необхідне охолодження до 80 К, а для середньохвильового ІЧ-діапазону - до 120 К.

Частота оновлення інформації на матрицях з HgCdTe або InSb зазвичай коливається у межах від 100 до 400 Гц, тоді як у пристроїв на основі діодів Шотткі (PtSi / Si) ця частота рухається в діапазоні 25 - 100 Гц. Для забезпечення роботи пристроїв на фотонних приймачах потрібне глибоке криогенне охолодження.

Всі об'єкти в інфрачервоній області спектра є «само освітлювальними», якщо їх температура вища за абсолютний нуль. Таким чином, самі приймачі ІЧ випромінювання можуть «світитися» в діапазоні їх чутливості (3-5 і 8-14 мкм). Проте виявлення слабкого випромінювання, яке надходить ззовні, є вкрай складним завданням.

Для підвищення знаходжуваної здатності необхідно погасити власне випромінювання чутливого елемента та прилеглих діафрагм та інших елементів пристрою. Цього можна досягти охолодженням приймача до температур, при яких шум власного випромінювання можна ігнорувати.

Охолодження приймача запобігає надмірному нагріву чутливих елементів з малою теплоємністю і забезпечує стабільність функціональних властивостей напівпровідникових елементів.

Для глибокого (криогенного) охолодження матриці ($T = 75 - 80 \text{ K}$) використовується рідкий азот або газова холодильна машина за замкнутим циклом Спліт-Стірлінга.

Для не глибокого охолодження ($T = 150 - 250 \text{ K}$) або термостабілізації роботи неохолоджуваної матриці використовується система термоелектричного охолодження на елементах Пельтьє.

Мікроболометричних приймачі.

Мікроболометричні приймачі є класом інфрачервоних (ІЧ) детекторів, які використовують зміну опору матеріалу при зміні його температури для реєстрації інфрачервоного випромінювання. У них застосовуються різні матеріали, включаючи як метали, так і напівпровідники, такі як термістори.

Основним параметром для порівняння чутливості різних мікроболометрів є температурна чутливість, вимірювана за Noise Equivalent Temperature Difference (NETD). Значення NETD для приладів на основі мікроболометрів зазвичай знаходиться в діапазоні від 400 мк до 20 мк. Їх матриці можуть мати різні формати, такі як 320 x 240 або 640 x 480 пікселів, з кроком 28 мкм.

Важливо відзначити, що мікроболометричні приймачі мають теплову інерційність, оскільки вимірювання потоку ІЧ випромінювання відбувається після накопичення теплового сигналу. Для послідовної реєстрації декількох кадрів потрібна модуляція зовнішнього потоку випромінювання. Частота оновлення інформації на екрані при мікроболометричних приймачах, зазвичай, не перевищує 50 Гц.

Піроелектричні приймачі.

Піроелектричні приймачі використовують кристалічні пластини на своїх поверхнях як чутливий елемент, який генерує заряди під впливом інфрачервоного (ІЧ) випромінювання. Зміна температури (dT) кристала, спричинена поглибленням випромінювання протягом часу (dt), супроводжується зміною поляризації зарядів (dq). Таким чином, піроелектричний приймач генерує сигнал, що пропорційний величині dq/dT . Важливо відзначити, що він не може використовуватися для реєстрації постійного, немодульованого потоку випромінювання.

З метою модуляції вхідного потоку випромінювання використовують механічні модулятори, такі як шторки. Піроелектричні приймачі не вимагають додаткового охолодження. Температурна чутливість, вимірювана як Noise Equivalent Temperature Difference (NETD), для найкращих зразків зазвичай становить 100-150 мк. Матриці піроелектричних приймачів мають різні формати, такі як 320 x 240 або 640 x 512 пікселів.

Сучасні методи тепловізії, паралельно з удосконаленням детекторів і електроніки, відрізняються значними можливостями у програмній обробці зображень.

1. Постійний прогрес: Розвиток тепловізійної техніки і електроніки взагалі не зупиняється. Тепловізійні детектори постійно удосконалюються, що призводить до поліпшення їх технічних характеристик при зменшенні вартості. Дорогі германієві об'єктиви поступово замінюються доступнішими полімерними.

2. Розширення застосувань: Це призводить до розширення сфер використання тепловізорів. Якщо раніше вони були доступні переважно науковим установам і військовим, то зараз практично будь-хто може придбати пристрій для аналізу теплових втрат в будівлях, охоронну тепловізійну камеру чи засіб спостереження.

3. Масове застосування: Протягом наступного десятиліття тепловізійні детектори масово впроваджуватимуться в телевізійні системи спостереження вантажних автомобілів та автобусів, аналогічно супутниковій навігації. І мати тепловізійний детектор стане звичайною опцією для планшетів чи мобільних телефонів.

2.5 Приклади застосування тепловізорів

В сучасному світі тепловізори виявляють все більше застосувань в цивільному житті, принесячи із собою інновації, що поліпшують безпеку, ефективність та комфорт різних сфер. Така технологія, яка спочатку знаходила своє застосування лише у військовій сфері, тепер здатна впроваджуватися в різноманітних областях цивільного життя, де вона демонструє свою високу ефективність та універсальність.

Безпека та моніторинг: тепловізори вже стали невід'ємною частиною систем безпеки в різних об'єктах інфраструктури, таких як аеропорти, залізничні вокзали та промислові підприємства. Завдяки їхній високій чутливості, вони можуть вчасно виявляти незаконне проникнення, забезпечуючи підвищений рівень безпеки. Тепловізори також застосовуються для моніторингу промислових процесів, що сприяє попередженню аварій та збоїв.

Енергоефективність та теплотехнічний аудит: у будівництві тепловізори використовуються для проведення теплотехнічного аудиту. Вони надають

можливість виявити місця тепловитрат та неефективність теплоізоляції, що сприяє раціональному енергозбереженню. Особливо актуально це в умовах зростаючих вартостей енергії та стратегій сталого розвитку.

Медичні діагностика та допомога: В галузі медицини тепловізори використовуються для невербальної діагностики. Вони допомагають виявляти різноманітні захворювання, такі як застуди чи проблеми з кровообігом, та сприяють точнішому плануванню та проведенню лікування. [19]

Всі об'єкти, які мають температуру вище абсолютного нуля, випромінюють електромагнітне теплове випромінювання. Таке випромінювання характеризується спектральною щільністю потужності, відомою як функція Планка. Ця функція має максимум при певній довжині хвилі, яка змінюється зі збільшенням температури. З підвищенням температури максимальне положення в спектрі випромінювання зсувається до коротших довжин хвиль.

Тіла, які нагріті до температури навколишнього середовища (-50...50 градусів за Цельсієм), випромінюють найбільше енергії в середньому інфрачервоному діапазоні (з довжиною хвилі приблизно 7,14 мікрометрів). До недавнього часу інфрачервоні теплові системи були в основному призначені для військових цілей. Проте сучасні військові сили використовують теплові стрілецькі системи, артилерійські приціли та теплові приціли для керованих снарядів. Ці системи використовуються для огляду, розвідки, збору інформації, пошуку та захоплення цілей, управління вогнем і повітряними операціями. Сучасна технологія інфрачервоного випромінювання знайшла широке застосування в різних галузях життя.

Наприклад, тепловізійні пристрої можна використовувати для теплового сканування навколишнього середовища з метою виявлення лісових пожеж, під час рятувальних операцій та для обладнання систем моніторингу диму для пожежників.

Тепловізійний контроль лісових господарств - це одна з можливих сфер застосування теплового методу неруйнівного контролю для потреб людства враховуючи також проблему глобального потепління.

Метою роботи є підвищення безпеки лісів у період високих ризиків виникнення займання(під час засухи та високої температури повітря) та ефективності боротьби у разі виникнення пожежі.

Використання тепловізійних камер на БПЛА стає ключовим елементом в запобіганні та локалізації пожеж, забезпечуючи оперативність та високу точність виявлення теплових джерел. Без заперечно для нас найважливішою задачею являється раннє виявлення точок загорянь. Тепловізійні камери, встановлені на БПЛА, забезпечують можливість раннього виявлення навіть невеликих точок загорянь в лісових масивах. Їх висока чутливість до інфрачервоного випромінювання дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози та запобігати подальшому розповсюдженню вогню.

Наступним кроком буде моніторинг розповсюдження пожежі. БПЛА, оснащені тепловізійними камерами, надають можливість постійного моніторингу розповсюдження вогню. Зображення, отримані з теплової камери, дозволяють операторам отримувати детальну інформацію про інтенсивність теплових проявів, що важливо для розробки ефективних стратегій гасіння пожежі.

Не слід забувати про оптимізація ресурсів та ефективне використання персоналу. Завдяки тепловізійним камерам на БПЛА, можливо ефективно розподіляти рятувальні ресурси та персонал. Оператори можуть швидко і точно визначати найгарячіші точки, що дозволяє оптимізувати дії під час тушіння пожежі та зменшити ризик для рятувальників.

Планування евакуаційних маршрутів: Отримані тепловізійні дані, допомагають визначити оптимальні маршрути евакуації для мешканців та тварин. Аналізуючи теплові зони, оператори можуть швидко реагувати на небезпеку та забезпечити безпечний вихід з зони пожежі.

Основною перевагою використання БПЛА є те що, вони особливо корисні для контролю великих площ та важкодоступних місць, де традиційний доступ є

ускладненим. Вони дозволяють операторам виявляти пожежі в найвіддаленіших районах, де інші методи можуть бути неефективними.



Рис. 2.5 – Приклад: зображення об'єкта контролю в ІЧ спектрі.

Ще одним з найкращих прикладів використання тепловізорів є застосування в електротехніці. Ось деякі із них:

- Виявлення перегріву компонентів:

Тепловізори використовуються для виявлення аномальних температурних точок на електрообладнанні. Перегрів електричних компонентів може свідчити про несправність або неправильну роботу системи. Такий моніторинг дозволяє оперативно реагувати на можливі проблеми та уникнути аварій.

- Контроль теплових режимів трансформаторів:

Трансформатори — ключові складові електромережі. Тепловізори допомагають визначити температурні режими трансформаторів, що дозволяє уникнути їх перегріву та підтримувати оптимальну ефективність.

- Моніторинг електророзподільчих ліній:

Використання тепловізорів дозволяє ідентифікувати проблеми на електророзподільчих лініях, такі як перегріті з'єднання чи несправні компоненти. Це покращує безпеку та надійність електромереж.

- Виявлення дефектів в електроніці:

Тепловізори можуть використовуватися для виявлення дефектів чи перегрівоті на платах електронних пристроїв та електронних системах, сприяючи у виявленні можливих проблем до їх серйозного впливу на роботу обладнання.

- Тестування електричних панелей та щитів:

Тепловізори дозволяють оперативно визначати ненормальні температурні зони в електричних панелях та щитах. Це допомагає виявляти перевантаження, забруднення, чи інші проблеми, які можуть виникнути в електричних системах.

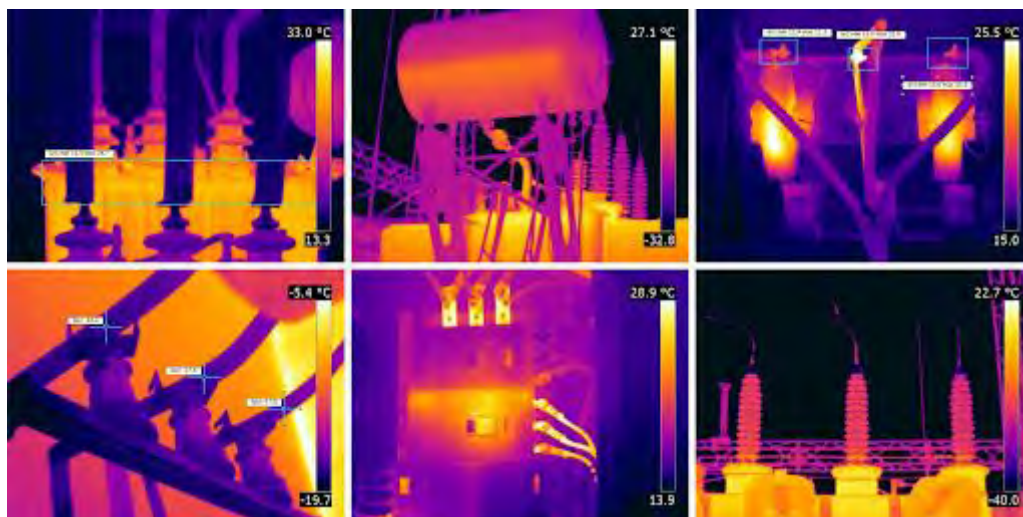


Рис. 2.6 – Приклади: Виявлення джерела підвищеної температури (дефекту).

Система розроблена для забезпечення підвищення безпеки у використанні високовольтного обладнання під час експлуатації. Можливість надавати контроль у режимі реального часу протягом 24 годин на добу, 7 днів на тиждень, а також запис і аналіз даних, дозволяє виявляти тенденції та уникати аварійних ситуацій, що можуть бути небезпечними для виробництва.

Для моніторингу великих обсягів устаткування на відкритих майданчиках використовується принцип безперервного зйомки об'єктів, які потім заносяться в єдину базу даних. Температурні вимірювання порівнюються з попередніми показниками, а отримані дані передаються на сервер для зберігання та подальшої обробки. [21]

У випадку внесення змін у конструкцію обладнання на підконтрольних ділянках, систему можна легко переналаштувати. Усі дані передаються через стандартні канали передачі даних. Тепловізійний комплекс може бути інтегрований в будь-яку систему для передачі керуючих та інформаційних сигналів, а також для надсилання сигналів в систему пожежного сповіщення та гасіння в залежності від використаного типу.

Особливості системи дозволяють виявляти області із підвищеною температурою в інфрачервоному спектрі (7,5-13 мкм), оцінювати максимальні значення температури у визначених зонах зі стандартними значеннями, враховуючи умови навколишнього середовища, відстань, та коефіцієнт випромінювання об'єкта.

Система передає дані на центральний сервер у форматі потокового відео та радіометричних даних, веде запис архіву та бази даних за температурними значеннями. Також надає можливість формування звітності та ручного коригування порогів температури для генерації сигналів тривоги в необмеженій кількості зон в кадрі. Система також допомагає в прогнозуванні виходу обладнання з ладу та плануванні ремонтів.

Висновок до розділу 2

Тепловізор - це пристрій, який перетворює інфрачервоне випромінювання, що випромінюється об'єктом, у видиме зображення.

Принцип роботи тепловізора:

Об'єктив фокусує інфрачервоне випромінювання на детектор.

Детектор перетворює інфрачервоне випромінювання в електричний сигнал.

Обробник зображення перетворює електричний сигнал у видиме зображення.

Дисплей відображає видиме зображення.

Характеристики тепловізора:

Роздільна здатність: визначає чіткість зображення.

Чутливість: визначає здатність виявляти невеликі відмінності в температурі.

Дальність дії: визначає відстань, на якій можна виявити об'єкт.

Поле зору: визначає кут огляду тепловізора.

Частота кадрів: визначає, скільки разів на секунду оновлюється зображення.

Переваги тепловізорів:

Бачення в умовах низької видимості: дозволяють бачити об'єкти вночі або в задимленому приміщенні.

Точність: можуть виявляти невеликі відмінності в температурі.

Безконтактність: не потребують контакту з об'єктом.

Недоліки тепловізорів:

Вартість: можуть бути дорогими.

Складність: можуть бути складними у використанні.

Обмеження в роздільній здатності: не такі чіткі, як видимі зображення.

Тепловізори - це потужні інструменти, які можна використовувати в різних сферах. Вони дозволяють бачити в умовах низької видимості, виявляти невеликі відмінності в температурі та працювати безконтактно.

Очікується, що в майбутньому тепловізори будуть ще більш доступними, простими у використанні та матимуть кращу роздільну здатність.

РОЗДІЛ 3 НЕЙРОМЕРЕЖА ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗНІМКІВ З ТЕПЛОВІЗІЙНИХ КАМЕР

3.1 Етап підготовки

Розглянувши попередні розділи ми змогли скласти приблизне розуміння за якими принципами працює тепловізор і БПЛА в цілому. В даному розділі ми розглянемо можливості використання машинного навчання для розпізнавання об'єктів які були зняті на камеру з тепловізійним спектром.

В даному проекті ми реалізуємо програму з штучним інтелектом що буде відрізняти знімки на яких зображені люди від тих на яких зняті джерела вогню.

Штучний інтелект і машинне навчання станом на 2023 рік знаходяться в стані активного розвитку. Різні рішення відіграють важливу роль у спрощенні програмного рішення. На даний момент Python є однією з найкращих і найзручніших мов програмування для написання штучного інтелекту та нейромереж. Роль машинного навчання полягає у розпізнаванні закономірностей у наборі даних. Інженер з МН відповідає за вилучення, обробку, уточнення, очищення, організацію та осмислення даних для розробки інтелектуальних алгоритмів. Ще до переваг Python можна віднести його простоту для розуміння. Дана мова може бути реалізована швидко, що допомагає інженерам з машинного навчання швидко перевіряти ідею. Python вважають таким зручним і ефективним тому що він має найкращу бібліотечну систему, яка відіграє вирішальну роль для процесу розробки та реалізації ПО. Бібліотеки в програмуванні є невід'ємною частиною групи модулів, які включають заздалегідь написаний код. Їх використання дозволяє розробникам спростити роботу, концентруючись на розвитку функціоналу. Підключення відповідних бібліотек дозволяє забезпечити базовий набір кодів, що сприяє вирішенню завдань програмування без необхідності повторного написання об'ємних блоків коду.

Бібліотеки Python, які розробники можуть використовувати, надають готові елементи для реалізації різноманітних завдань. Це дозволяє вирішувати складні проблеми, уникаючи необхідності повторного написання значної кількості коду.

Особливо важливою є роль бібліотек у сфері машинного навчання, яка безпосередньо пов'язана з математичною оптимізацією, ймовірністю та статистикою. Використання відповідних бібліотек Python значно полегшує завдання фахівців у галузі обробки даних, дозволяючи їм проводити різноманітні дослідження та аналізи з легкістю.

Далі ми розглянемо деякі бібліотеки використані в реалізації нашої :

- `os` – надає функції для взаємодії з операційною системою. Вона дозволяє вам виконувати різні завдання, такі як робота з файловою системою, отримання інформації про середовище виконання;

- `Keras` – для глибокого навчання;

- `Matplotlib` – для візуалізації даних та створення графіків. Вона дозволяє легко створювати різноманітні типи графіків;

- `Numpy` – є однією з основних бібліотек для роботи з числовими даними в мові програмування Python;

- `Tensorflow` – високорівнева бібліотека нейронних мереж;

З усіх бібліотек розглянутих вище найзачущими для написання програми є `Tensorflow` та `Keras`.

Аугментація даних

Глибокі згорткові нейронні мережі можуть ефективно виконувати з багато завдань пов'язаних з комп'ютерним зором. Однак щоб показувати такі результати для навчання використовують від великі набори даних, щоб уникнути перенавчання.

Перенавчання називають явище, коли мережа вивчає функцію з дуже високою дисперсією, для ідеального моделювання навчальних даних . Так як, оптимати велику кількість зображень з тепловізора не легко ми використаємо базу даних яка містить фото людей та інших джерел теплових випромінювань. Продуктивність нейронних мереж глибокого навчання часто досягається за допомогою розширення обсягу доступних навчальних даних. Збільшення даних, або аугментація, визначається як метод штучного створення нових навчальних даних з вже наявних. Це досягається

застосуванням предметно-специфічних методів, наприклад, до навчальних даних, для створення нових та різноманітних навчальних прикладів.

Збільшення даних для зображень є широко відомим типом, що включає створення трансформованих версій зображень в навчальному наборі, які належать до того ж класу, що і вихідне зображення. Трансформації включають в себе різні операції обробки зображень, такі як зміщення, відображення, масштабування та інші. Метою цих маніпуляцій є розширення набору навчальних даних новими, достовірними прикладами. Це передбачає генерацію варіацій зображень у тренувальному наборі для підвищення ефективності моделі.

Для розробки програми було вибрано середовище Visual Studio Code (VS Code). VS Code - це легкий та потужний редактор коду, розроблений компанією Microsoft. Він є відкритим та безкоштовним інструментом, який надає розширені можливості для написання коду на різних мовах програмування. Середовище працює у всіх відповідних операційних системах як Windows, macOS та Linux, що робить його доступним для широкого кола розробників. Встановити його можна скориставшись офіційним сайтом Microsoft. Спільна робота над даними та дослідницькими проектами також можлива за допомогою встановлення AWS або Google Cloud.

В основі VS Code лежить мережа редактора коду з високою продуктивністю та швидкістю. Редактор надає зручний інтерфейс для написання та редагування коду, підсвічування синтаксису, автодоповнення та інші корисні функції.

- VS Code має модульну архітектуру, яка дозволяє використовувати розширення та плагіни для розширення його функціональності. Розширення можуть включати підтримку для нових мов програмування, інструменти для роботи з фреймворками, та інші корисні функції.

- VS Code надає інтеграцію з системами контролю версій, зокрема Git. Це дозволяє розробникам відстежувати та керувати змінами в їхньому коді безпосередньо з редактора.

- Редактор має вбудовану систему відлагодження, яка дозволяє вам легко відстежувати та виправляти помилки в коді. Також є можливості профілювання для виявлення та виправлення вузьких місць в коді.

3.2 Створення та навчання нейронної мережі

Для розробки архітектури нейронної мережі була обрана бібліотека Keras.

Ця бібліотека написана на мові Python є безкоштовною, потужною та простою у використанні, з відкритим кодом для розробки та оцінки моделей глибокого навчання. Keras пропонує послідовні та прості API, скорочує кількість дій, необхідних для реалізації загального коду, і чітко пояснює помилки користувача. Keras працює на основі TensorFlow що дає йому можливість працювати доволі швидко. Це дає можливість визначати та навчати моделі нейронних мереж лише за допомогою кількох коротких рядків коду, оскільки Keras надає вбудовані модулі для всіх обчислень, пов'язаних з нейронними мережами. Дослідницьке співтовариство, що використовує Keras, має великий розмаїтий досвід і високий рівень розвитку. Документація та підтримка доступні на вищому рівні, порівняно з іншими структурами глибокого навчання.

У Keras для аугментації даних використовується генератор зображень ImageDataGenerator. Цей інструмент пропонує різноманітні методи для розширення набору зображень, такі як обертання, масштабування, перевероти та регулювання яскравості. Важливою особливістю класу Keras ImageDataGenerator є його здатність надавати аугментацію даних у реальному часі, генеруючи додаткові зображення паралельно з процесом навчання моделі. Ще однією перевагою використання ImageDataGenerator є його ефективне використання пам'яті. Замість того, щоб завантажувати всі зображення одразу, як це відбувалося б без використання цього класу, генератор завантажує зображення партіями, ефективно використовуючи обмежені ресурси пам'яті.

Уданому випадку була проведена стандартизація пікселів зображення, а також застосований поворот кожного зображення на максимум 15 градусів від початкового положення. Це є одним із методів для збільшення обсягу навчальної вибірки, що широко використовується, і сприяє тому, щоб модель стала інваріантною до орієнтації об'єкта. Може бути таке, що об'єкт не завжди може знаходитись ідеально в центрі зображення. Щоб подолати цю проблему, за допомогою генератору можна зрушувати пікселі зображення по горизонталі чи по вертикалі; це робиться шляхом додавання певного постійного значення всіх пікселів. Клас `ImageDataGenerator` має аргумент `height_shift_range` для зміщення зображення по вертикалі та `width_shift_range` для зміщення зображення по горизонталі. В нашому випадку був виконаний зсув в обидві сторони максимум на 20%. Також за рахунок даного класу є можливість збільшувати масштаб зображення, або зменшувати шляхом запису значення з плаваючою комою для в аргументі `zoom_range`. Будь-яке значення менше 1 збільшує зображення, а більше – зменшує масштаб зображення. В нашому випадку зображення збільшується максимум на 20%. Нижче наведена частина коду, в якій задаються аргументи генератору для навчальної вибірки:

```
train_datagen = ImageDataGenerator(rescale = 1. / 255, rotation_range = 15,  
                                   width_shift_range = 0.2, height_shift_range = 0.2,  
                                   zoom_range = 0.2, horizontal_flip = True,  
  
                                   fill_mode = 'nearest')
```

Для валідаційної та тестової вибірки аугментація даних не застосовується. Тому використовуємо тільки стандартизацію вхідних значень.

```
test_datagen = ImageDataGenerator(rescale=1. / 255)
```

Далі застосовуємо створений генератор для зображень навчальної, валідаційної та тестової вибірок. Режим міток класів вибираємо "categorical"


```
train_generator = train_datagen.flow_from_directory( train_dir,
                                                    target_size = (img_width, img_height),
                                                    batch_size = batch_size,
                                                    class_mode = 'categorical')
[68] ✓ 0.0s
... Found 659 images belonging to 2 classes.

val_generator = test_datagen.flow_from_directory( val_dir,
                                                  target_size = (img_width, img_height),
                                                  batch_size = batch_size,
                                                  class_mode = 'categorical')
[69] ✓ 0.0s
... Found 147 images belonging to 2 classes.

test_generator = test_datagen.flow_from_directory( test_dir,
                                                  target_size = (img_width, img_height),
                                                  batch_size = batch_size,
                                                  class_mode = 'categorical')
[70] ✓ 0.0s
... Found 75 images belonging to 2 classes.
```

Рисунок 3.1 Генератори для зображень навчальної, валідаційної та тестової вибірок

Додаємо переднавчену мережу VGG16.

Завантаження передвченої мережі VGG16 із вагами, навченими на наборі даних

ImageNet

```
vgg16_net = VGG16(weights='imagenet', include_top=False, input_shape=input_shape)
```

Заморозження вагів передвченої мережі, щоб їхні значення не оновлювалися під час тренування

```
vgg16_net.trainable = False
```

Виведення інформації про архітектуру передвченої мережі VGG16

```
vgg16_net.summary()
```

Загалом, VGG16 має вражаючу кількість параметрів, особливо в порівнянні з більш сучасними архітектурами. Це може призводити до великої кількості пам'яті і обчислень при тренуванні та використанні моделі.

VGG16 широко використовується для завдань класифікації зображень. У багатьох випадках він використовується як основа для передвчених моделей, де

збережені ваги після тренування на великому обсязі даних можуть бути використані для вирішення схожих задач.

Після завершення усіх підготовчих етапів із навчальними даними ми формуємо структуру нейронної мережі. Для цього обираємо модель Sequential, створюючи її інстанцію за допомогою коду: `model = Sequential()`. З метою регуляризації ми використовуємо метод Dropout, який є потужним інструментом для глибокого навчання. Використання цього методу полягає в ігноруванні випадково обраних нейронів під час тренування. Dropout застосовується лише на етапі тренування моделі, щоб запобігти перенавчанню, і не враховується під час оцінки навичок моделі. У нашому випадку ми випадково вимикаємо 20% нейронів на попередньому шарі. Повнозв'язний шар нейронної мережі для завдань класифікації включає 256 нейронів, а функцією активації використовуємо `relu`.

Нижче наведений елемент коду з реалізацією повнозв'язної частини нейронної мережі:

програма надається за зверненням до авторів

Далі проводимо компіляцію розглянутої моделі. Ми вибрали оптимізатор Adam та встановили налаштоване значення швидкості навчання. Використання цього методу оптимізації є ефективним з обчислювальної точки зору і вимагає мінімального обсягу пам'яті.

```
loss = 'categorical_crossentropy'
```

```
# Оптимізатор (Optimizer)
```

```
optimizer = Adam(learning_rate=1e-5)
```

```
metrics = ['accuracy']
```

Після цього переходимо до навчання нейронної мережі. Шляхом експерименту було визначено оптимальну кількість епох, яка дорівнює 20. Це обрано, оскільки подальше збільшення кількості ітерацій може призвести до зниження точності моделі та виникнення явища перенавчання.

```
history = model.fit(train_generator, steps_per_epoch=10, epochs=20,  
validation_data=val_generator, validation_steps=5)
```

При проведенні оцінки якості роботи навченої мережі на тестовій даних отримали долю правильних відповідей, що становить 92.4%, що є гарним результатом. Але погрішність можна зменшити якщо виконати процес донавчання для передвченої мережі VGG16. Встановлюємо параметр trainable для окремих шарів в передвченої мережі VGG16 та змінюючи його відповідно до умови, і виводить оновлену інформацію про архітектуру моделі.

програма надається за зверненням до авторів

Після проведення процесу донавчання проводимо повторне навчання нашої нейронної мережі та порівнюємо якість навчання.

На тестовій даних ми отримали долю правильних відповідей, що становить 97.33%, що на 5% краще ніж ми отримали спочатку.

```
scores = model.evaluate(test_generator)  
print(f"Значення accuracy: {(scores[1] * 100):.2f}")  
✓ 10.9s  
13/13 [=====] - 11s 834ms/step - loss: 0.0848 - accuracy: 0.9733  
Значення accuracy: 97.33
```

Рисунок 3.2 Результат фінальної оцінки точності

3.3 Результат роботи навченої нейронної мережі

Для подальшого використання навченої нейронної мережі розробимо 2 варіанти її використання.

Варіант 1 застосовуємо її для класифікації довільно завантаженого зображення.

Для відображення зображень (JPG, PNG) в Python і Notebooks використовуємо клас Image. Для відкриття діалогового вікна файлів та вибору зображення на комп'ютері використовується метод askopenfilename з класу filedialog. Після виклику

цього вікна та вибору зображення (показано на рис. 3.3), здійснюємо імпорт та масштабування обраного файлу. Після цього перетворюємо зображення в масив та передаємо його на вхід нейронної мережі. Після визначення класу, до якого належить зображення, виводимо його на екран разом з класифікацією.

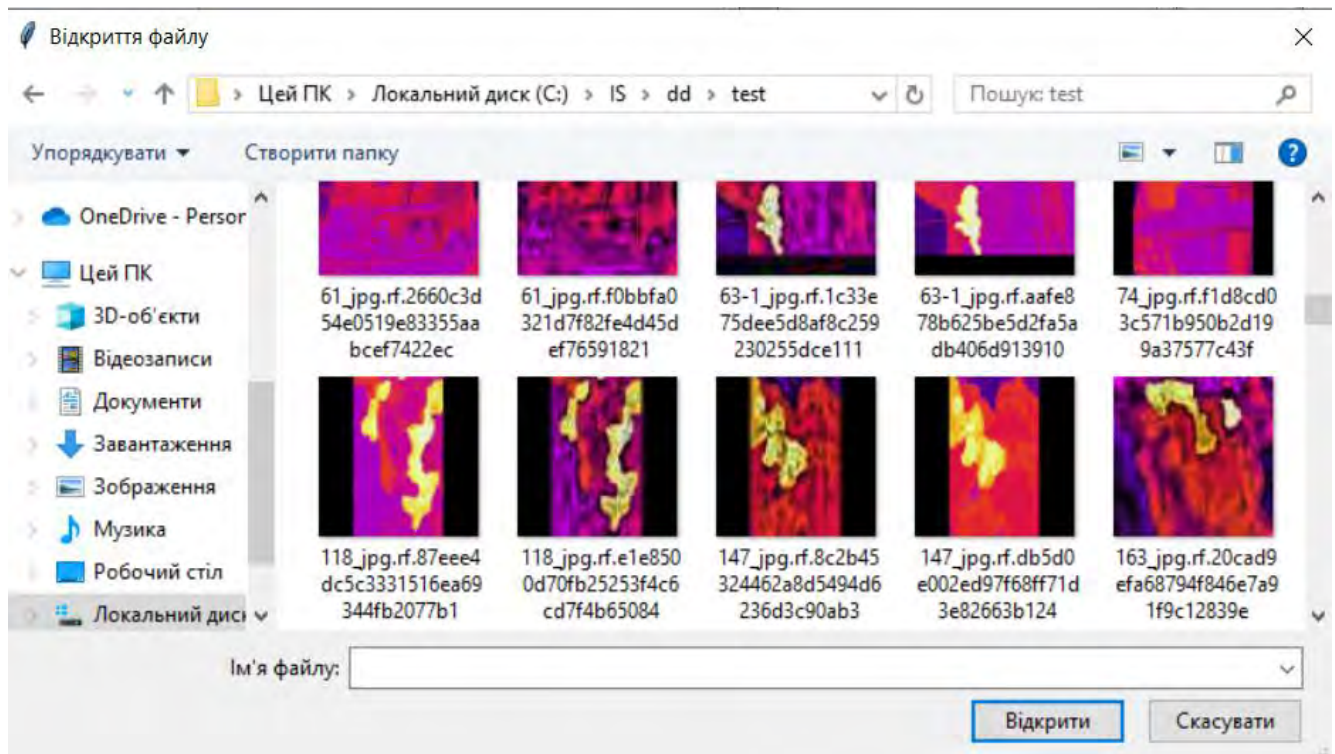


Рисунок 3.3 вікно вибору зображення

Далі на рисунку 3.4 та 3.5. показано результат класифікації створеної нейронної мережі при завантаженні зображення класу пожежа та людина відповідно.

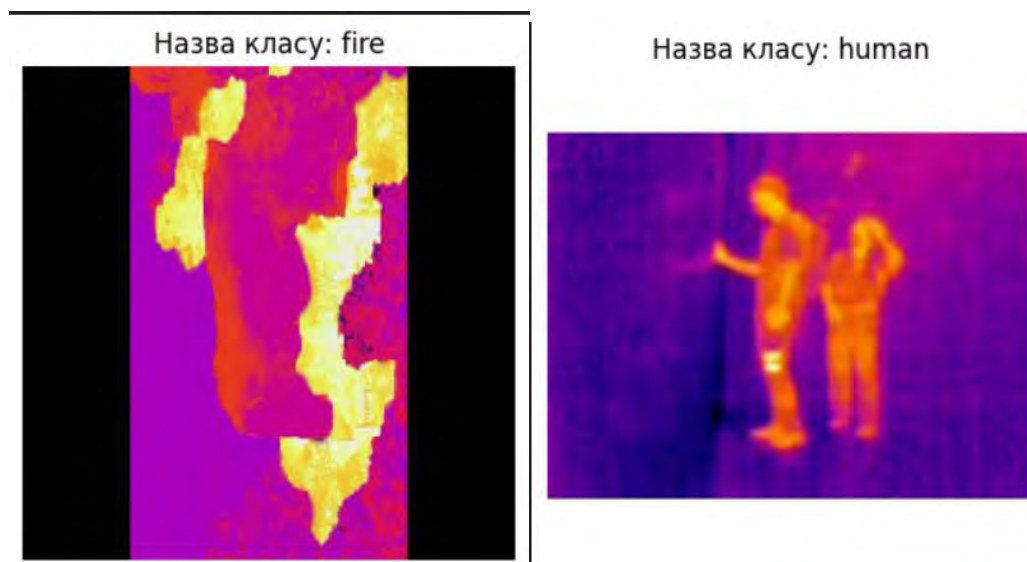


Рисунок 3.4 Пожежа

Рисунок 3.5 Людина

Варіант 2 обраємо папку з файлами наша неймережа аналізує кожне зображення і в залежності від результату перевірки отримаємо відповідь.

Для відкриття діалогового вікна файлів для аналізу папки з файлами використаємо метод `askdirectory` з класу `filedialog`. Після виклику вікна вибору нам потрібно вибрати папку з файлами яку ми хочемо проаналізувати. Для перевірки коректності роботи заздалегідь було підготована дві папки із зображеннями. В одній папці знаходяться знімки класу людина а в іншій знімки обох класів одночасно. Програмний код наведено нижче:

```
from IPython.display import Image, display  
from tkinter.filedialog import askdirectory
```

програма надається за зверненням до авторів

Результат аналізу даних при аналізу папки номер 1

```
1/1 [=====] - 0s 147ms/step  
1/1 [=====] - 0s 184ms/step  
1/1 [=====] - 0s 187ms/step  
1/1 [=====] - 0s 177ms/step  
1/1 [=====] - 0s 155ms/step  
1/1 [=====] - 0s 158ms/step  
Ок. Зображення класу 'fire' відсутні.
```

Рисунок 3.6 Результат аналізу даних

Як бачимо результат класифікації вірний і в обох варіантах використання наша програма виконує роботу.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розроблено нейронну мережу для класифікації знімків зроблених за допомогою тепловізійної камери. Середовищем розробки було вибрано Visual Studio Code за його простоту у використанні та широкий функціонал. Було розглянуто важливі бібліотеки, які потрібні для розробки архітектури нейронної мережі, виконання математичних та статистичних операцій, а також для графічного відображення отриманих результатів. Проведено аналіз структури датасету, розділяючи його на три частини: для навчання, тестування та валідації, забезпечуючи надійну оцінку ефективності моделі.

Оскільки вибрана база зображень має незбалансовані класи, застосовано метод аугментації даних для розширення обсягу навчального набору. Використано генератор у Keras, який дозволяє створювати додаткові зображення в режимі реального часу під час навчання моделі. Це підвищує надійність моделі та ефективно використовує ресурси, особливо пам'ять.

Також було використано архітектури глибокої нейронної мережі "VGG16". Для регуляції нейронної моделі було додано прошарки Dropout.

Шляхом експериментів та систематичного підбору кількості епох у процесі навчання вдалося досягти високого показника долі правильних відповідей на тестових даних - 97.33%. Цей результат є вражаючим, особливо враховуючи характеристики даного датасету.

Отриману мережу можна використовувати для аналізу зображень зроблених на тепловізійну камеру для попередження пожеж на ранньому етапі їх виникнення не створюючи хибну тривогу при потраплянні людини на знімок.

РОЗДІЛ 4 ІНТЕГРАЦІЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ

Отже з розділів розглянутих вище ми отримали достатньо інформації про об'єкт нашого дослідження та прописали нейромережу. Тепер ми можемо об'єднати ці технології в одну.

Об'єднання тепловізійної камери та нейромережі на борту безпілотного літального апарата (БПЛА) є стратегічним кроком в напрямку покращення функціональності та забезпечення більш ефективного використання цих систем. Вбудоване машинне навчання або машинне навчання на краю дозволяє виконувати обчислення та приймати рішення безпосередньо на самому пристрої, що має ряд значущих переваг.

1. Ефективність обробки даних: Оптимізація нейромережі під конкретний процесор БПЛА робить обчислення більш швидкими та енергоефективними. Це забезпечує оптимальне використання обчислювальних ресурсів, що особливо важливо в обмежених умовах дрона.

2. Заощадження енергії: Вбудоване машинне навчання може функціонувати непосредствено на БПЛА, що дозволяє зменшити потребу в передачі великих обсягів даних на централізовані сервери. Це призводить до ефективнішого використання енергії та подовження часу роботи дрона.

3. Збереження пропускної здатності: Інтеграція машинного навчання на самому пристрої дозволяє виконувати частину обчислень локально. Це зменшує навантаження на мережу та забезпечує більш ефективне використання доступної пропускної здатності, особливо у віддалених чи обмежених умовах.

4. Інтелектуальна автономія: Можливість приймати рішення на місці надає БПЛА інтелектуальну автономію. Дрон може реагувати на зміни в навколишньому середовищі без затримок, що важливо для завдань спостереження, розвідки та безпеки.

5. Висока швидкість реакції: Машинне навчання на краю дозволяє проводити аналіз та приймати рішення миттєво на самому літальному апараті.

Це особливо важливо у випадках, коли важко або непрактично передавати дані для централізованої обробки.

Всі ці переваги роблять об'єднання тепловізійної камери та нейромережі на БПЛА перспективним та динамічним напрямком розвитку, забезпечуючи розширені можливості та ефективність використання безпілотних систем у різних областях застосування.

Для об'єднання нам потрібно обрати камеру з тепловізором та процесор.

Процесор

Для реалізації ідеї використаємо процесор **NVIDIA Xavier NX**. Так як для нашого проекту потрібно не лише збирати, а й обробляти великі обсяги даних, вам доводиться шукати нові шляхи вирішення цієї задачі.



Рисунок. Мікрокомп'ютер **NVIDIA Xavier NX**

І тут вам вже не обійтися без рішень з великою кількістю ядер CPU або рішень з CUDA-ядрами для обчислень ваших завдань. Адже завдань, які вирішує машинне навчання, набагато більше, ніж просто розпізнавання об'єктів. Це і складні обчислення, це прийняття рішень на основі даних з датчиків, підключених як локально, так і через мережу, це вирішення завдань з транспортною напруженістю на основі як камер, так і датчиків з даними з різних сервісів. Через те що наше завдання вимагає великої підбірки даних для більш точного визначення

об'єкта/дефекту/іншого фактора з відеопотоку, то NVIDIA Xavier NX - це те, що нам потрібно. І ось чому:

NVIDIA Xavier NX виготовлений у форм-факторі SO-DIMM 260-pin, компоненти до якого для розробки власних плат доступні всюди і за демократичною ціною.

Модуль NVIDIA Xavier NX - це вже 2-й модуль у даному форматі, і якщо вам не потрібна вся його обчислювальна потужність, то ви можете використовувати більш доступне рішення NVIDIA Jetson Nano. Також можна розширити лінійку за рахунок замінюваності цієї плати у вашому рішенні. Дані рішення працюють на адаптованій під платформу Ubuntu Linux і підтримують більшість пакетів і бібліотек для цієї системи. Система підтримує роботу з більшістю середовищ для глибокого навчання.

Таблиця 4.1 Технічна специфікація модуля NVIDIA Xavier NX

Графічний процесор	NVIDIA Volta™ с 384 ядрами CUDA и 48 тензорними ядрами
Процесор	6-ядерный 64-разрядный процессор NVIDIA Carmel с архитектурой ARM®v8.2 6 Мб L2 и 4 Мб L3 6MB L2 + 4MB L3
Пам'ять	8 Гб LPDDR4x 128-bit 51,2 Гб/с
Енергоспоживання	10 Вт 15 Вт
Накопичувач	16 Гб eMMC 5.1
PCIe	1 роз'єм x1 и 1 роз'єм X4 PCIe Gen4
Камера CSI	До 6 камер (36 по виртуальным каналам) 12 полос MIPI CSI-2 D-PHY 1.2 (до 30 Гбит/с)
Кодування відео	2 потоки 464 Мп/с 2 потоки в розширенні 4К с частотою 30 Гц (HEVC) 6 потоків в розширенні 1080p с частотою 60 Гц (HEVC)
Декодування відео	2 потоки 690 Мп/с

	<p>2 потоки в розширенні 4К с частотою 60 Гц (HEVC)</p> <p>12 потоків в розширенні 1080p с частотою 60 Гц (HEVC)</p> <p>32 потоки в розширенні 1080p с частотою 30 Гц (HEVC)</p>
Інтерфейси для підключення дисплеїв	2 багато режимних DP 1.4/eDP 1.4/HDMI 2.0
Акселератор глибокого навчання	2 движка NVDLA
Підключення	Порти 10/100/1000 BASE-T Ethernet
Розміри	69,6 мм x 45 мм Плата SO-DIMM 260-pin

Після того як ми обрали процесор з підтримкою функції машинного навчання передремо до камери.

FLIR VUE PRO 640 - це тепловізійна камера, яка надає високу роздільну здатність та чутливість для застосувань в різних областях, включаючи безпілотні літальні апарати (БПЛА).

Рисунок 4.2 FLIR VUE PRO 640



Модуль тепловізійної камери VUE PRO у довгохвильовому інфрачервоному (LWIR) діапазоні встановлює новий стандарт щодо розміру, ваги, споживаної потужності та продуктивності (SWaP). Він використовує архітектуру обробки інфрачервоного відео від FLIR для забезпечення високотехнологічної обробки зображень та кількох стандартних інтерфейсів зв'язку, при цьому зберігаючи низьке споживання енергії. Детектор без охолодження з ванадієвим оксидом (VOx) з кроком 17 мкм представлений у роздільні здатності - 640 x 512. Модуль доступний з різними конфігураціями об'єктивів, що додає гнучкості до програм інтеграції. З вагою всього 72 г і розмірами корпусу камери всього 21 x 21 x 11 мм, VUE PRO представляє собою провідний у галузі зменшення SWaP без втрат продуктивності. Розширене вбудоване оброблення та відео аналітика, а також програмовані користувачем функції ПЗ, надають цій маленькій камері великі можливості, включаючи інтеграцію з додатковими датчиками, такими як камери сторонніх виробників, GPS та IBM.

Табл.4.2 Технічні характеристики камери FLIR VUE PRO 640

Спектральна смуга	LWIR 7,5 мкм – 13,5 мкм
Неробоча температура	від -55°C до +95°C
Збільшити	Так – регулюється в додатку та за допомогою ШІМ
Детектор типу 2	Неохолоджуваний мікроболометр VOx
вага	3,25 - 4 унції (залежно від конфігурації)
Розміри (Д x Ш x В)	2,26" x 1,75" (включаючи об'єктив)
Частота кадрів для експорту	<9 Гц
Аналоговий відеовихід	Так
Кольорові палітри	Так – регулюється в додатку та за допомогою ШІМ
Оптимізація зображення для sUAS	Так
Інвертоване зображення	Так – регулюється в додатку
Попередні налаштування сцени та обробка зображень	Так – регулюється в додатку

Роздільна здатність датчика	640 x 480
Повна частота кадрів	<9 Гц
Параметри об'єктива	19 мм; 32° × 26°
Вихід HD	1280x720 @ 50 Гц, 60 Гц
Діапазон вхідної потужності	5 В постійного струму – 28 В постійного струму
Захист від зворотної полярності	Так
Робоча висота	+40 000 футів
Діапазон робочих температур	від -20°C до +50°C
Вхідна напруга	4,8 - 6,0 В постійного струму
Розсіювана потужність [пікова]	2,1 Вт (3,9 Вт)
Точні монтажні отвори	Два M2x0,4 з обох боків і знизу. Один різьбовий отвір 1/4-20 зверху

Камера FLIR VUE PRO 640, обладнана сучасним некелийним детектором роздільною здатністю 640 x 512 пікселів, вражає своєю високою чутливістю та точністю у відтворенні теплової інформації. Її компактні розміри та легка маса ідеально підходять для інтеграції на літальних апаратах з обмеженими ресурсами.

Процесор NVIDIA Xavier NX, заснований на архітектурі CUDA, виконує роль потужного обчислювального центру на борту. Його вбудована здатність обробки великої кількості даних та ефективне використання нейромереж дозволяють вирішувати різноманітні завдання в режимі реального часу.

Ця інтеграція відкриває широкі перспективи для використання БПЛА у різних галузях, включаючи моніторинг навколишнього середовища, пошук та рятування, контроль інфраструктури, а також забезпечення безпеки. Комбінація тепловізійної камери та потужного процесора додає системі необхідну інтелектуальність для аналізу та взаємодії з навколишнім простором, роблячи її високоефективною та гнучкою у використанні. Результат - це інтегрована система, яка може ефективно

працювати в умовах обмежених ресурсів та невизначеності, вирішуючи складні завдання з високою точністю і надійністю.

Висновки до розділу 4

Об'єднуючи передові технології теплового зображення і штучного інтелекту, ми отримуємо потужний інструмент для розв'язання різноманітних завдань в області моніторингу, безпеки та навігації.

За допомогою тепловізійних камер, які забезпечують можливість отримання зображень в ІЧ-діапазоні, ми отримуємо здатність спостерігати та аналізувати теплові характеристики об'єктів та навколишнього середовища. Це дозволяє виявляти та вирізняти об'єкти за їхньою температурою, що є надзвичайно корисним для різних сценаріїв використання, включаючи пошук та рятування, нагляд за інфраструктурою та контроль теплових втрат.

Нейромережі, вбудовані безпосередньо на борт БПЛА, додають інтелектуальний аспект до системи. Можливості машинного навчання дозволяють виявляти та класифікувати об'єкти на знімках, враховуючи їхні унікальні характеристики та контекст. Це робить систему більш адаптивною та здатною реагувати на зміни в навколишньому середовищі, що є важливим для забезпечення надійності та ефективності дії БПЛА.

Однією з ключових переваг є можливість здійснювати аналіз та прийняття рішень безпосередньо на літальному апараті, що дозволяє зменшити залежність від зовнішніх серверів та підвищує швидкість реакції системи. Комбінування тепловізійної камери та нейромережі створює потужний інструмент для вирішення завдань спостереження, аналізу та реагування на різноманітні сценарії.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ЗНІМКІВ З ТЕПЛОВІЗОРА»

5.1. Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проекту

На основі попередніх розділів бачимо, що актуальним є питання щодо покращення розпізнавання медичних знімків, зокрема ретгенівських знімків. В даному розділі буде розглянуто аналіз запропонованого стартапу. В основу стартап-проекту покладена ідея розробки системи для класифікації знімків зроблених на камеру з тепловізором. Дана програма може бути використана як чудовий помічник для охоронних систем стеження та боротьби з лісовими пожежами. Програма допоможе здійснювати моніторинг зображень території.. Використовуючи навчену глибинну нейрону мережу користувач зможе швидше та з більшою точністю класифікувати знімки.

Опис змісту стартап-проекту зазначено у таблиці 5.1

Таблиця 5.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи автоматизованого аналізу знімків для допомоги в обробці даних.	Моніторинг території за допомогою БПЛА з тепловізійною камерою та аналіз даних за допомогою нейромережі	Швидкість обробки даних
		Простоте використання програми
		Автоматизація процесу відеоспостереження з використанням тепловізорів

Отже, як бачимо за даними з таблиці даний розроблювальний проект є актуальним та важливим для використання у сучасному світі. Адже з сучасною проблемою глобального потепління даний проект дає можливість обробити більшу кількість даних, зменшуючи при цьому вірогідну кількість помилок, що можуть бути спричинені людиною та роблячи діагностування точнішим та ефективнішим. Інформаційна картка стартап-проекту наведена нижче, у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 Інформаційна карта стартап-проекту

Назва стартап-проекту	Системи автоматизованого аналізу знімків з тепловізора
Проблематика, яку вирішує стартап- проект	Автоматизація процесу спостереження за територією
Головні цілі та завдання проекту	Розроблення програми класифікації тепловізійних знімків, яку зможуть використовувати як «помічника» для аналізу даних
Головні цільові групи, на які спрямований проект	Охороні компанії, військові, лісогосподарства
Необхідні ресурси	Фінансові ресурси та інтелектуальні для розробки програми
Загальні очікувані результати	Легка у використанні програма для обробки даних, що допоможе автоматизувати процес відеоспостереження з використанням тепловізорів

Після цього зробимо аналіз потенційних техніко-економічних властивостей нашої ідеї, які вигідно відрізняють її в порівнянні з ринковими пропозиціями інших конкурентів:

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл.

5.3). [34]

Таблиця 5.3 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї стартап-проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1 Data Sight	Конкурент 2 Let's Enchance			
1.	Загальна вартість	7 000	22 000	14 000			+
2.	Використання	+	+	-		+	
3.	Потреба нових апаратних засобів	-	+	-			+
4.	Потреба у навчанні	+	-	+	+		

У таблиці 5.3. визначено перелік основних техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї; визначено попереднє коло конкурентів, що вже існують на ринку,

та визначено слабкі, нейтральні та сильні характеристики ідеї даного стартап-проекту. Із таблиці видно, що слабка сторона проекту лише те, що для початку її використання необхідне навчання на стадії розробки, що потребує великої кількості даних. Щодо сильних сторін – це відносно низька вартість системи в порівнянні з аналогами, та можливість використання без нових апаратних засобів і може використовуватись в широкому спектрі послуг

Технологічна здійсненність ідеї проекту включає в себе визначення технології, якою буде втілено та розроблено ідею, наявністю існування даної технології або необхідністю розроблення та чи є доступність до неї.

У таблиці 5.4. наведено аналіз даних складових:

Таблиця 5.4 Технологічна здійсненність ідеї стартап-проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Системи автоматизованого аналізу знімків з тепловізора	Створення програму класифікації самостійно, використовуючи описані в третьому розділі методи	Наявна	Доступна
		Замовлення розробки програми класифікації у компанії розробників	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: було вирішено розроблювати програму самостійно, використовуючи обрану мову програмування у другому розділі та методи у третьому.				

За результатами даної таблиці бачимо, що за наявних технологій в нас є можливість самостійно реалізувати програму класифікації зображень, використовуючи доступну мову програмування Python та бібліотеки для роботи з нейронними мережами, які були описані у попередньому розділі.

5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації. Це дозволяє спланувати напрям розвитку, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	17000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75%

Аналіз Таблиці 5.5 показує, що ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому є привабливо та доцільним вихід на ринок.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Швидка та точна системи автоматизованого аналізу знімків з тепловізора	Підприємства, приватні компанії, фізичні особи	Орієнтація деяких цільових груп може потребувати більш складні та точні системи	<ul style="list-style-type: none"> - Ефективність, - Низька ціна, - Висока швидкість

В даній таблиці були описані сегменти ринку і цільова аудиторія та її основні вимоги до товару, основні характеристики системи, які формують поведінку клієнтів відносно розроблюваної системи.

При застосуванні даної технології існують певні загрози (таблиця 5.7.). Тож буде доцільно провести аналіз факторів ризику та можливостей при виведенні товару на ринок.

Таблиця 5.7 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Новизна	Даний продукт є абсолютно новим і може викликати початкову недовіру в потенційних клієнтів	Наукове обґрунтування та підтвердження можливостей, що дає продукт, рекламна кампанія
2.	Невідомість	Клієнти не мають довіри до нової компанії	Пропозиції по обслуговуванню і знижки для клієнтів
3.	Клієнтська база	На подібному ринку існує складність набору клієнтської бази	Рекламування продукції
4.	Обов'язкова наявність комп'ютера	Для використання продукту є необхідність в наявності персонального комп'ютера	Адаптація ПЗ під будьяку операційну систему

В Таблиці 5.7. було визначено можливі фактори загроз, такі як: новизна, невідомість системи, клієнтська база, наявність конкуренції та обов'язкова наявність комп'ютера. Вони в майбутньому можуть перешкоджати ринковому впровадженню

нашого проекту. Також було визначено можливу реакцію компанії на загрози та шляхи їх усунення. Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.8).

Таблиця 5.8 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Простота використання	Інтерфейс програми є простим, швидким та зрозумілим	Акцентування уваги на простоті використання
2.	Легкість інтерпретації	Система на виході дає зрозумілі навіть звичайній людині результати та тільки необхідну інформацію	Акцентування уваги на відсутності необхідності в додаткових знань для розуміння
3.	Відсутність систем даного типу	На даний час відсутні системи з такою ж точністю і ціною	Акцентування уваги покупців на меншій ціні
5.	Виставки, конференції	Можливість представити систему на тематичних виставках та конференціях	Представлення системи на виставках пов'язаних штучним інтелектом та нейромережами

В Таблиці 5.8. були визначені фактори можливостей такі як: простота використання, легкість інтерпретації, відсутність системи даного типу, можливість та приймання участі у тематичних виставках та конференціях. Вони будуть сприяти ринковому впровадженню даного проекту.

Далі проведемо аналіз ринку для визначення загальних рис конкуренції, наявних на ринку та можливості подальшого формування стратегії.

Таблиця 5.9 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції: Оліпологія	Існує декілька схожих систем	Якісне обслуговування і продукція, доступна ціна
2. За рівнем конкурентної боротьби: Міжнародний	Представники в багатьох країнах	Вихід продукції на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою: Внутрішньогалузева	В межах однієї галузі	Зниження цін, безкоштовний пробний період
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	Пропонуються товари одного виду	Зручний, зрозумілий та простий інтерфейс, реклама
5. За характером конкурентних переваг: Нецінова	Відсутність проектів з такими особливостями	Введення нових і підтримка існуючих особливостей які необхідні для клієнтів

В даній таблиці ми зробили аналіз ринку збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому, як бачимо фактори, які б сильно обмежували вихід нашого продукту на ринок не наявні. Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.10 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товаризамінники
	Data sight	Можливість створення аналогу продукту відомими компаніями	Постачальники не мають ніякого впливу на ринок	Ціна і якість обслуговування	Відсутні
Висновки:	Невелика конкуренція	Постійне вдосконалення системи щоб потенційні конкуренти не могли стати прямими конкурентами	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Клієнти вимагають якісної та доступної за ціною системи	Конкуренція немає

Провівши аналіз таблиці можна зробити висновок, що з огляду на конкурентну ситуацію на ринку можливість роботи на ринку присутня. Також були визначені характеристики, які повинен мати проект і які дії повинна проводити компанія, щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

На основі аналізу конкуренції, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 5.11 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціновий	Невисока вартість
2	Точність	Прилад має хорошу точність
3	Сервісне обслуговування	Якісне обслуговування
4	Відсутність необхідності в додатковому обладнанні	Клієнтам немає необхідності у закупівлі додаткового обладнання та витрати коштів на це, адже достатньо мати персональний комп'ютер

За попередньо визначеними факторами конкурентоспроможності проведемо аналіз слабких та сильних сторін проекту.

Таблиця 5.12 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Системи автоматизованого аналізу знімків з тепловізора

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	20							+
2	Точність	14				+			
3	Швидка система	12						+	
4	Наявність патентів	10	+						
5.	Технічна підтримка	15					+		

З таблиць 5.11 та 5.12 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для обробки фото даних. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, тобто матриці аналізу сильних – Strength та слабких – Weak сторін, загроз – Troubles та можливостей – Opportunities (див. таблицю 5.13), на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін. [35]

Таблиця 5.13 SWOT- аналіз стартап-проекту

<p style="text-align: center;">Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вартість 2. Мала кількість конкурентів 3. Сервісне обслуговування 4. Відсутність необхідності в додатковому обладнанні 	<p style="text-align: center;">Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Новизна та наявність недовіри 2. Невідомість для покупців 3. Обов'язкова наявність персонального комп'ютера
<p style="text-align: center;">Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Відсутність систем даного типу 2. Простота використання 3. Легкість інтерпретації 4. Можливість держзакупок 5. Участь у тематичних конференціях та виставках 	<p style="text-align: center;">Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Невідомість 2. Відсутність клієнтської бази 3. Новизна 4. Конкуренція

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 5.14 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	4-6 місяців
2	Отримання держзамовлень	Середня	3 місяці
3	Розширення функціональних можливостей	Висока	4 місяці

Отже, розглянувши можливості ринкового впровадження стартап-проекту можна зробити висновок, що основною альтернативою є нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу. Це можливо за рахунок розширення функціоналу програмного забезпечення розробленої програми та низької ціни системи.

5.3. Розробка ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.15 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні замовники	Середня	Середній	Низька	Середня
2	Приватні замовники	Висока	Високий	Середня	Середня

Які цільові групи обрано:

Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати усіма цільовими групами потенційних клієнтів.

Виходячи з результатів аналізу потенційних груп користувачів ми орієнтуватись на такі цільові групи, як державні замовники та приватні. Саме для них ми будемо пропонувати нашу системи автоматизованого аналізу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.16 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Вдосконалення	Диференційний маркетинг	Ціна, точність, функціонал	Стратегія диференціації

За базову стратегію розвитку було взято стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих, з точки зору споживача, відмінних властивостей, які роблять систему, яка відрізняється від тієї, що є в конкурентів

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (Таблиця 5.17.).

Таблиця 5.17 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Так	Компанія буде працювати з обома	Компанія не буде копіювати основні характеристики конкурентів	Зайняття конкурентної ніші

В таблиці було проведено аналіз поведінки в конкуренції і в залежності від рішень які будуть прийняті, біло обрано стратегію конкурентної поведінки.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 5.18 Визначення стратегії позиціонування

№ п/ п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувані комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Ціна, надійність, швидкість, якість обслуговування	Стратегія диференціації	Ціна, точність, легкість у використанні, не має необхідності у додатковому обладнанні	Якість. Ціна. Технічна підтримка.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

5.4. Розроблення маркетингової програми та плану реалізації стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.19 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.19 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Низька ціна	Невисока вартість, доступність	Узгодження ціна-якість, збільшення кількості клієнтів
2	Якісне обслуговування	Швидке і якісне обслуговування	Беззаперечна якість в обслуговуванні

В результаті аналізу було отримано ключові переваги нашого товару, а також переваги які потрібно створити.

Розробимо трирівневу маркетингову модель товару: уточняється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (Таблиця 5.20).

Таблиця 5.20 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Системи автоматизованого аналізу знімків з тепловізора		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Точність	Нм	Тх
	2.Вартість обслуговування (Низька системи та її обслуговування)	М	Е
	3. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	Якість: тестування в реальних умовах		
	Пакування: відсутнє		
Марка: назва організації розробника			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Демонстрація можливостей системи		
	Після продажу: після продажне підтримка та обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патент і програмні засоби захисту від копіювання такі як цифровий ключ та іншими спеціалізованими програмними методами.			

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист буде реалізовано спеціалізованими програмними методами які захищають від несанкціонованого втручання в роботу програми, і унеможливають роботу програми без ліцензійної покупки.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (таблиця 5.21).

Таблиця 5.21 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товаризамінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	16000	13000-32000	400000	7000-24000

В даній таблиці проведено аналіз ринкової ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За допомогою отриманих даних встановлюємо верхню та нижню межу на нашу систему. Система збуту нашого проекту має наступний вигляд (табл. 5.22).

Таблиця 5.22 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	По одиночні Замовлення Продаж в розбід	Прямий продаж	Висока	Проведення збуту власними силами

Було розроблено варіант комунікацій між споживачами та виробниками. В нашому випадку це робота напряму через прямий продаж.

Розробимо концепцію маркетингової комунікації, котра опирається на попередньо обрану основу для позиціонування, обрану специфіку поведінки користувачів.

Таблиця 5.23 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Гарантія якості, своєчасна підтримка	Інтернет, виставки, конференції	Ціна, точність, швидкість	Акцентувати увагу на новизну і відсутність аналогів на нашому ринку, а також акцентування на ціні	Ціна-якість, простота, точність

Важливу роль у реалізації стартапу відіграє ефективна команда. Відомості, які необхідно прояснити, отримуючи завдання на формування проектної команди для стартапу наведено в таблиці 5.24.

Таблиця 5.24. Питання, що потребують відповідей до початку формування команди стартапу.

Питання	Пояснення
В які терміни команда повинна бути сформована?	Команду необхідно сформувати за півтора-два місяці
Хто ключові люди створюваній команді (тобто співробітники, без	Маркетолог, програміст, бухгалтер

яких робота неможлива або неефективна)?	
Чи є можливість використовувати для пошуку персоналу додаткові джерела?	Так, можна звернутись до кадрове агентство
Яка роль у кожного члена команди?	Маркетолог займається просуванням програми, програміст займається розробкою системи та бухгалтер займається бухгалтерським обліком
Як мотивувати членів команди?	Відсоток від продажів

Питання та пояснення, що наведені у Таблиці 5.24. допоможуть сформувати ефективну команду для реалізації стартап-проекту. Представимо команду стартап-проекту та її розвиток у Таблиці 5.25.

Таблиця 5.25. Команда стартап-проекту

Розвиток команди	Учасник	Завдання учасників	Освіта	Спеціалізовані знання	Витрати тис. грн.
Мінімальна команда	розробник	маркетолог, розробник, бухгалтер	Бакалавр	Знання теорії програмування, ЗНМ, мови програмування Python	24000
Разом:	24000				

Дана таблиця представляє повну команду розробників системи, що являється мінімальною життєздатною командою, але дана команда без зволікань може повністю представляти інтереси стартап-проекту Розробимо календарний графік реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.26. Календарний графік реалізації стартап-проекту

Зміст етапу	Період реалізації, номер місяця з початку виконання робіт							Вартість етапу, грн.
	1	2	3	4	5	6	7	
Розробка ідеї								-
Дослідження ринку								3000
Створення програми								17000
Виявлення та усунення недоліків								6000
Запуск реклами								120000
Початок продажу								720000
Разом								896000

Таблиця 5.26. представляє собою календарний план-графік реалізації стартап проекту, в якій передбачені всі можливі витрати з початку розробки аж до самого виробництва, в гривнях

Результатом даного підpunkту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стан ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку, аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової

поведінки. Також було проведено опис команди та формування календарного графіку реалізації стартап-проекту.

5.5. Висновки до розділу 5

Аналіз стартап-проекту під назвою «Системи автоматизованого аналізу знімків з тепловізора» показав можливість ринкової комерціалізації проекту. Узагальнюючи всю інформацію і проводячи підсумки можна зробити висновок, що у проекту є потенціал для входження на ринок. У зв'язку з динамікою ринку проект буде мати попит у споживачів, незважаючи на наявну конкуренцію певного рівня, ринок надає можливість впровадження продукту в обіг з огляду на наявність аудиторії, що створюватиметься за рахунок попиту на такі системи. Продукт здатен подолати бар'єри входження в ринок, такі як набір клієнтської бази. Для успішного виходу на ринок необхідно надати продукту властивості які будуть виділяти його на фоні конкурентів, але для підвищення довіри необхідно: здійснити рекламну кампанію; вдосконалювати систему і оновлювати її покупцям, що купили її; відвідати виставки та конференції як учасник; працювати над покращенням продукту і прислуховуватись до потреб споживачів та відгуків користувачів.

Як альтернативний варіант стартового впровадження нашого проекту доцільно обрати метод реалізації через мережу інтернет. Також можна зробити висновок, що для розширення ринку подальша імплементація проекту є дуже доцільною.

Надалі є можливість вивести проект на міжнародний ринок. Це обумовлено тим, що система даного типу має меншу вартість та новизну за рахунок чого дозволяє приладу знайти покупців і за кордоном.

Також передбачений захист на даний прилад в вигляді патенту та програмних засобів захисту від копіювання такі як цифровий ключ та іншими спеціалізованими програмними методами.

ВИСНОВКИ

Темою цієї роботи є дослідження такого приладу як безпілотний літальний апарат, автоматизованої системи керування безпілотним літальним апаратом, та питання автономності.

Було розглянуто класифікацію безпілотних літальних апаратів за державними та міжнародними стандартами, можливості їх використання в різноманітних сферах життя людей а також їх основні системи. Було проаналізовано принципи реалізації автоматизованого керування, а також принципи забезпечення автономної роботи безпілотного літального апарату.

Також було приділено увагу функціональності такого роду автоматизованих систем на основі здійсненої класифікації. Розглянуто технічні засоби які можуть використовуватися у розробці, їх переваги, особливості та недоліки. Розглянуто та описано обмеження щодо вибору цих засобів ґрунтуючись на специфіки сфери їх застосування.

Досить актуальною задачею є проектування тепловізорів, а саме тепловізорів невеликих розмірів, які зручно використовувати у безпілотних літальних апаратах. Тому в даній роботі було розглянуто, як впливає конструкція об'єктива при розрахунку максимальної дальності виявлення та розпізнавання об'єктів.

Тепловізійна камера - це пристрій, який дозволяє бачити тепло, що випромінюється об'єктами. Вона може бути корисною для безпілотника в таких випадках:

Переваги використання тепловізійної камери на безпілотнику:

Підвищення ефективності роботи: БПЛА з тепловізійною камерою може виконувати завдання, які неможливо виконати вночі або в умовах низької видимості.

Розширення сфери застосування: Тепловізійна камера дозволяє використовувати БПЛА для нових завдань, таких як пошук людей, обстеження будівель та інспекція.

Підвищення безпеки: Тепловізійна камера може допомогти виявити потенційно небезпечні об'єкти, такі як пожежі, витоки газу та інші.

Недоліки використання тепловізійної камери на безпілотнику:

Вартість: Тепловізійні камери можуть бути дорогими.

Вага: Тепловізійна камера може додавати вагу БПЛА, що може зменшити час польоту.

Складність: Тепловізійні камери можуть бути складними у використанні та обслуговуванні.

Тепловізійна камера - це цінний інструмент, який може значно розширити можливості безпілота. Її переваги, такі як можливість бачити вночі та крізь перешкоди, роблять її цінною для багатьох завдань.

Розроблено нейронну мережу для класифікації знімків зроблених за допомогою тепловізійної камери. Мовою розробки було вибрано Python

. Отриману мережу можна використовувати для аналізу набору даних Ця функція дозволить заощадити час, що є дуже важливим для таких ситуацій як попередження пожеж на ранньому етапі їх виникнення або пошуку людей в місцях катастроф.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.Техніка авіаційна військової призначеності. Апарати літальні безпілотні. Основні терміни, визначення понять і класифікація : ДСТУ В 7371:2013 : [наказ № 1010 від 22.08.2013] / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. – К., 2014. – С.
- 2.Міністерство оборони України. Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України. Наказ z0031-17 від 08.12.2016, № 661.URL:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text>;
- 3.О.І. Тимочко, Д.Ю. Голубничий, В.Ф. Третьак, І.В. Рубан КЛАСИФІКАЦІЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ 2007. URL
<https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/878899d8-b7a7-4481-af22-9835c0748ba0>;
4. Kelsey Atherton. Popular Science: Drone at defcon hacks from the sky. URL:
<http://www.popsci.com/drone-defcon-hacks-sky>
- 5.Masha Borak. World's top drone seller DJI made \$2.7 billion in 2017. URL:
<https://technode.com/2018/01/03/worlds-top-drone-seller-dji-made-2-7-billion-2017/>
- 6.Lamprecht. Flarrio: Drone Detection Systems: Intrusion Detection for the. URL:
<http://flarrio.com/drone-detection-systems-intrusion-detection-for-the-sky/>
- 7.Kim Gittleson. BBC News: Data-stealing Snoopy drone unveiled at Black Hat. URL:
<http://www.bbc.com/news/technology-26762198>
8. Особливості застосування безпілотних літальних апаратів органами та підрозділами поліції: метод. рек. / А. А. Саковський, С. М. Науменко, С. І. Кравченко, І. М. Єфіменко та ін. Київ: Нац. акад. внутр. справ. 2022. 72 с.;
- 9.Вікіпедія – вільна енциклопедія: Безпілотний літальний апарат. URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний_літальний_апарат.
- 10.Вікіпедія – вільна енциклопедія: Список безпілотних літальних апаратів. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Список_безпілотних_літальних_апаратів).

11. MJX | Dream Of The Future: MJX BUGS 3 Entry-level Brushless RTF Drone. URL: <http://www.mjxrc.net/goodshow-info/bugs-3.html>
12. DJI – The Future Of Possible: DJI Phantom 4 Advanced. URL: <https://www.dji.com/ua/phantom-4-adv/info>
13. DJI – The Future Of Possible: MATRICE 600 Pro. URL: <https://www.dji.com/ua/matrice600-pro/>
14. GoPro: Karma. URL: <https://shop.gopro.com/EMEA/karma>.
15. FLIR Systems: Thermal Imaging Cameras for sUAS. URL: <http://www.flir.eu/suas/content/?id=70733>
16. Steketee J. Spectral emissivity of skin and pericardium // Physics in Medicine Biology. 1973.
17. FLIR Systems: FLIR Muon. URL: <http://www.flir.eu/cores/display/?id=64979>
18. FLIR Systems: FLIR QD100 Lens. URL: <https://www.flir-direct.com/product/flir-qd100-100mm-quick-disconnect-lens>.
19. Колобродов В. Г., Лихоліт М. І. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 364 с.
20. Hardy, J.D. The radiation of heat from the human body. III. The human skin as a black body radiator. J. Clin. Invest., Vol. 13. №4. 1934
21. Becerra, V. M. (2019). Autonomous Control of Unmanned Aerial Vehicles. Electronics URL: <https://doi.org/10.3390/electronics8040452>;
22. Alkowitz, M.T.; Becerra, V.M.; Holderbaum, W. Bioinspired Autonomous Visual Vertical Control of a Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle. J. Guid. Control.
23. Dyn. 2014,38, 249-262. DOI: <https://doi.org/10.2514/1.G000634>.
24. Electronics Conference, Dayton. European Commission, 2008. Regulation (EC) No 216/2008, Official Journal of the European Union, Brussels.
25. Federal Aviation Administration, 2017. FAA Aerospace Forecast - Fiscal Years 2017-2037, United States Department of Transportation,
26. FLIR, 2016. FLIR Lepton Engineering Datasheet, Version 1.2.6, March 17.
27. Gettinger, D., and Holland M. A., 2015. Drone Sightings and Close Encounters: An Analysis, Center for the Study of the Drone at Bard

28.Glaser, A. 2017. DJI is running away with the drone market, <https://www.recode.net/2017/4/14/14690576/drone-market-share-growthcharts-dji-forecast>, accessed: September 2017

29.Hoffmann F., Ritchie M., Fioranelli F., Charlish A. and Griffiths H., 2016. Micro-Doppler Based Detection and Tracking of UAVs with

30.Moses A., Rutherford M. J. and Valvanis K. P., 2011. Radar-Based Detection and Identification for Miniature Air Vehicles, in 2011 IEEE

31.J. Gossorg. Infrared Thermography. Fundamentals. Technique. Application. 1988.

32.United States, 2012. 28Public Law 112 - 95 - FAA Modernization and Reform Act of 2012, U.S. Government Publishing Office, Washington.

33.Zsedrovits T., Zarandy A., Vanek B., Peni T., Bokor J. and Tamas R., 2011. Collision avoidance for UAV using visual detection, in 2019.

34. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

35. Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська.