

ДОДАТОК А

Листінг програми

```
import cv2
import torch
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox
from threading import Thread
from PIL import Image, ImageTk
import time

import pathlib
temp = pathlib.PosixPath
pathlib.PosixPath = pathlib.WindowsPath

model = torch.hub.load('ultralytics/yolov5', 'custom', path='best.pt', force_reload=True) #

cap = None
frame = None

def detect_drone():
    global cap, frame
    cap = cv2.VideoCapture(0)
    if not cap.isOpened():
        messagebox.showerror("Ошибка", "Не удастся открыть камеру.")
    return

    update_frame()

def update_frame():
    global frame
    ret, new_frame = cap.read()
    if ret:
        results = model(new_frame)

        new_frame = results.render()[0]

        new_frame_rgb = cv2.cvtColor(new_frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
        img_pil = Image.fromarray(new_frame_rgb)
        img_tk = ImageTk.PhotoImage(image=img_pil)

        if frame != img_tk: # Проверяем, изменился ли кадр
            label.imgtk = img_tk
            label.configure(image=img_tk)
            frame = img_tk

    window.after(33, update_frame)

def open_camera():
    detection_thread = Thread(target=detect_drone)
```

```
detection_thread.start()

def close_program():
    global cap
    if cap is not None:
        cap.release()
    window.quit()

window = tk.Tk()
window.title("Drone Detection")

label = tk.Label(window)
label.pack()

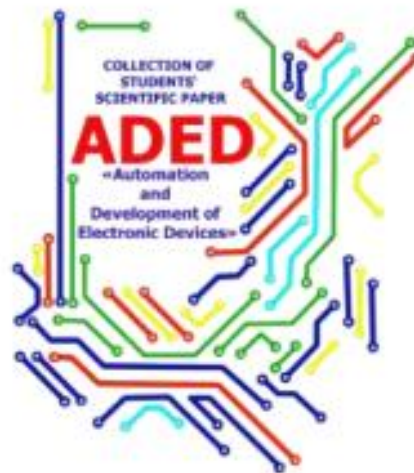
open_button = tk.Button(window, text="Открыть камеру", command=open_camera)
open_button.pack(pady=10)

close_button = tk.Button(window, text="Закрыть программу", command=close_program)
close_button.pack(pady=10)

window.mainloop()
```

ДОДАТОК Б
Абробація наукових результатів досліджень

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(КІТАР)



ЗБІРНИК
студентських наукових статей
«Автоматизація та приладобудування»
«Automation and Development of Electronic Devices»
ADED-2024
(Випуск 2)
[електронне видання]

Харків 2024

АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДРОНІВ НА ОСНОВІ YOLOV5

Сагула О. О.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: oleksandr.sahula@nure.ua

Анотація: В роботі проведено аналіз способів виявлення дронів, розглянуті різні технології, кожна з яких має свої переваги і недоліки. З метою досягнення оптимальних результатів прийнято рішення на користь комп'ютерного зору, тому що ця технологія забезпечує високу точність виявлення дронів завдяки здатності аналізувати зображення в режимі реального часу, надаючи умовному «оператору» візуальні вихідні дані.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, Continuous Wave, Pulse Doppler, You Look Only Once.

ANALYSIS OF A NEURAL NETWORK SOFTWARE MODULE FOR DRONE DETECTION BASED ON YOLOV5

Oleksandr Sahula

Kharkiv National University of Radioelectronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: oleksandr.sahula@nure.ua

Abstract The paper analyzes the methods of drone detection, considers various technologies, each of which has its own advantages and disadvantages. In order to achieve optimal results, a decision was made in favor of computer vision, because this technology provides high accuracy in drone detection due to the ability to analyze images in real time, providing a conditional «operator» with visual output data.

Key words: unmanned aerial vehicle, Continuous Wave, Pulse Doppler, You Look Only Once.

Нейромережеві моделі, зокрема YOLO (You Only Look Once), набули широкої популярності в задачах комп'ютерного зору, зокрема у виявленні об'єктів. Вони пропонують ряд переваг, які роблять їх особливо ефективними для реальних застосувань.

Однією з головних переваг YOLO є його здатність виконувати виявлення об'єктів у режимі реального часу. На відміну від традиційних методів, які можуть обробляти зображення покадрово, YOLO аналізує зображення в цілому, що значно скорочує час обробки. Це є критично важливим у задачах, де потрібно миттєво реагувати на виявлення, наприклад, у системах безпеки або моніторингу повітряного простору. Також, завдяки архітектурі глибокого навчання, YOLO здатен досягати високих показників точності в детектуванні об'єктів. Він використовує спеціалізовані шари для екстракції ознак, що дозволяє моделі виявляти об'єкти різних розмірів та форм [1].

YOLO можна налаштувати під різні сценарії використання, що робить його адаптивним до різних умов. Це може бути корисним для виявлення дронів, які мають різні конфігурації та кольори, а також можуть перебувати в різних умовах освітлення.

Завдяки наявності відкритих реалізацій та бібліотек, YOLO легко інтегрується в існуючі програми, що дозволяє швидко створити ефективний модуль для виявлення дронів.

Мета дослідження полягає у розробці ефективного програмного модуля на базі нейронної мережі YOLOv5, який здатен виявляти дрони у відеопотоці в режимі реального часу. Вона

акцентує увагу на необхідності створення інструменту, що забезпечить безпеку в повітряному просторі, дозволить своєчасно реагувати на можливі загрози та сприятиме поліпшенню моніторингу дій дронів. Досягнення цієї мети вимагатиме глибокого аналізу алгоритмів, підбору оптимальних параметрів моделі, а також розробки зручного інтерфейсу для користувачів.

Об'єктом дослідження є процес автоматичного виявлення дронів у відеопотоці. Це охоплює вивчення методів комп'ютерного зору та архітектур глибокого навчання, які застосовуються для ідентифікації об'єктів. Дослідження об'єкта включає в себе не лише технологічні аспекти, але й питання, пов'язані з практичним застосуванням розробленого програмного забезпечення, його впливом на безпеку та ефективність контролю за повітряним простором.

Предметом дослідження є програмний нейромережевий модуль на основі архітектури YOLOv5, призначений для виявлення дронів.

НАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ДРОНІВ.

Використання радіолокаційних систем. Радіолокаційні системи широко використовуються для виявлення та ідентифікації дронів у сучасних оборонних системах та цивільному авіаційному контролю. Радіолокаційні системи базуються на принципі емісії і прийому радіохвиль для визначення місцезнаходження та характеристики цілей.

Для виявлення дронів використовуються різні типи радарів, зокрема:

- Pulsed Doppler (PD) радары;
- Continuous Wave (CW) радары;
- фазовані антени.

Пульсова доплерівська (PD) радіолокація. Пульсова доплерівська радіолокація (ПДР) є одним із ефективних методів виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Цей метод використовує принципи пульсової радіолокації в поєднанні з доплерівським ефектом для визначення не лише наявності, а й швидкості руху об'єктів [2]. Блок-діаграма PD радару наведена на рис. 1.

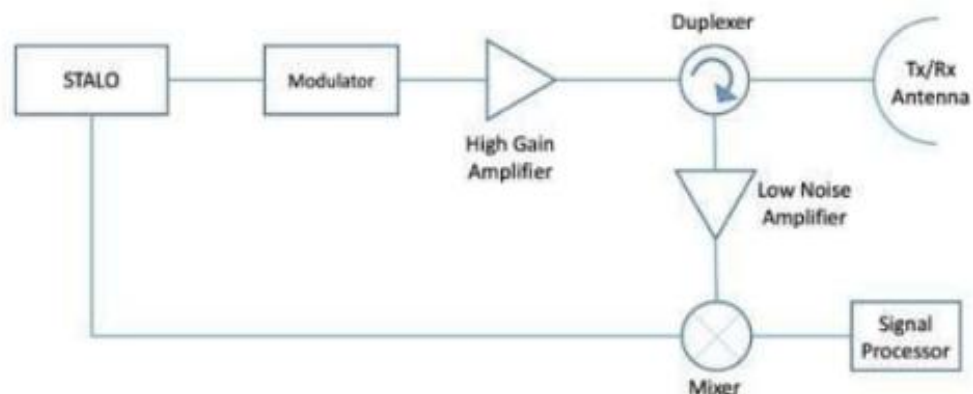


Рисунок 1 – Блок-діаграма PD радару

Принцип роботи ПДР:

- радар посилає короткі імпульси радіохвиль у напрямку до цілі (БПЛА), коли імпульс відбивається від об'єкта, він повертається назад до радару;
- якщо БПЛА рухається, частота повернутого сигналу змінюється в залежності від швидкості та напрямку руху дрону. Це зміщення частоти (доплерівський зсув) дозволяє радару визначити швидкість дрону;

– сигнали, що повернулися, обробляються за допомогою спеціальних алгоритмів, які аналізують характеристики відбитих хвиль. Це дозволяє не лише виявити об'єкт, але й оцінити його траєкторію та швидкість [3].

Пульсова доплерівська радіолокація має кілька ключових переваг, які роблять її ефективним інструментом для виявлення БПЛА. По-перше, вона здатна виявляти дрони на великих відстанях, що забезпечує своєчасне попередження про можливі загрози. По-друге, метод є стійким до зовнішніх завад, таких як погані погодні умови або інші радіосигнали, оскільки здатний фільтрувати шум і акцентувати увагу на реальних доплерівських змінах. Крім того, здатність визначати швидкість і напрямок руху БПЛА дозволяє проводити детальний моніторинг його траєкторії.

Попри численні переваги, пульсова доплерівська радіолокація має й свої недоліки. Одним із основних є складність у розробці та впровадженні таких систем, що може вимагати значних фінансових та ресурсних витрат. Крім того, точність виявлення може знижуватися, якщо БПЛА рухається дуже повільно або зависає, оскільки в таких випадках доплерівський ефект стає менш помітним. Це обмежує можливості системи в ситуаціях, коли дрон не має помітної швидкості, що може стати проблемою для безперервного моніторингу повітряного простору.

Безперервні хвильові (CW) радары. Безперервні хвильові радары (Continuous Wave, CW) – це тип радіолокаційних систем, які використовують постійно генеровані радіохвилі для виявлення і відстеження об'єктів. На відміну від пульсових радарів, які посиляють імпульси радіохвиль, CW радары випромінюють сигнал постійно, що дозволяє їм отримувати інформацію про об'єкти в режимі реального часу.

CW радары працюють на основі генерації безперервного радіосигналу, який відбивається від об'єктів (наприклад, літаків або дронів) і повертається назад до приймальної антени. Зміна частоти повернутого сигналу, що виникає внаслідок доплерівського ефекту (якщо об'єкт рухається), дозволяє визначити швидкість об'єкта. Для вимірювання відстані до об'єкта часто використовуються технології фазової різниці або імпульсного модулювання. Блок-діаграму CW радару наведено на рис. 2.

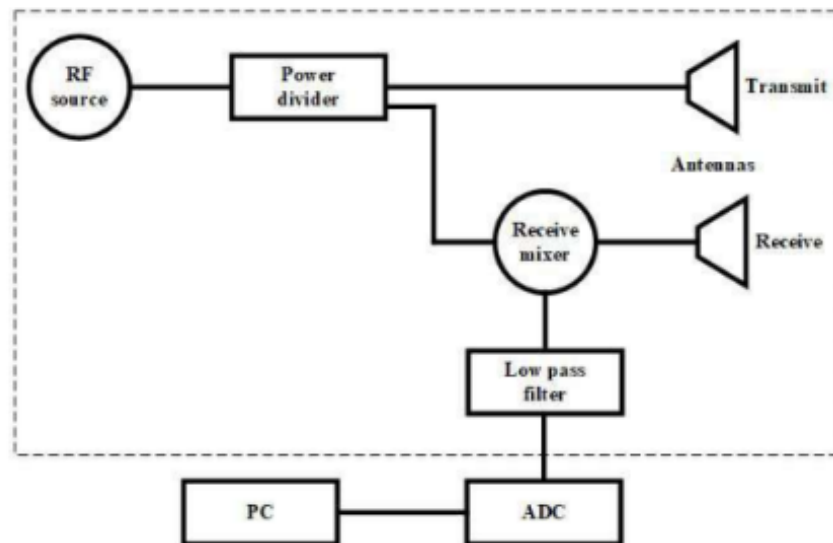


Рисунок 2 – Блок-діаграма CW радару [4]

Безперервні хвильові радары (CW) забезпечують високу чутливість до малих швидкостей,

що дозволяє їм виявляти навіть повільно рухомі об'єкти, такі як безпілотники. Вони також здійснюють моніторинг у реальному часі, постійно передаючи сигнал і оперативно реагуючи на зміни в навколишньому середовищі.

Однак СВ радари мають і свої недоліки. По-перше, вони стикаються з обмеженнями у визначенні відстані до об'єкта, оскільки не використовують імпульсну техніку, що може вимагати додаткових методів для точного вимірювання. По-друге, їхня постійна генерація сигналів робить їх вразливими до радіозавад і перешкод. Також, для точного оцінювання відстані СВ радари часто потребують інтеграції з іншими системами, що ускладнює їх використання.

Відеоспостереження та комп'ютерний зір. Відеоспостереження та комп'ютерний зір є важливими технологіями для виявлення дронів у сучасних системах безпеки.

Технології відеоспостереження та комп'ютерного зору для виявлення дронів використовують наступні методи:

- комбінація статичних ширококутних камер та камер з меншим кутом огляду на поворотній башті;
- аналіз зображень та відеопотоків у реальному часі для виявлення аномалій та ідентифікації об'єктів;
- алгоритми глибокого навчання для класифікації зображень, виявлення об'єктів та розуміння сцени;
- сегментація та відстеження руху об'єктів для точного визначення місцезнаходження дронів.

Системи відеоспостереження, оснащені камерами високої роздільної здатності, захоплюють зображення навколишнього середовища. Комп'ютерний зір, за допомогою алгоритмів машинного навчання, аналізує ці зображення для виявлення характерних ознак дронів, таких як форма, розмір та рух. Алгоритми, такі як YOLO, забезпечують швидку та точну детекцію об'єктів, дозволяючи ідентифікувати дрони серед інших об'єктів. Приклад роботи YOLO для визначення дронів наведено на рис. 3.



Рисунок 3 – Приклад визначення дрону за допомогою YOLO

Пов'язуючи дані від нейронної мережі, яка відіграє роль класифікатора, простих алгоритмів виявлення та відслідковування на виході ми отримаємо вектор що містить наступні параметри: швидкість, поточні координати в кадрі, клас цілі, імовірність приналежності до класу [5].

Використання відеоспостереження з комп'ютерним зором має ряд переваг. По-перше, ці системи забезпечують високу точність виявлення, завдяки можливості навчання на великій кількості даних. По-друге, вони можуть працювати в режимі реального часу, що дозволяє

швидко реагувати на появу дронів у повітряному просторі. Також системи комп'ютерного зору можуть адаптуватися до різних умов освітлення та фону, що підвищує їхню ефективність у різних ситуаціях.

Проте, цей підхід також має свої недоліки. По-перше, точність виявлення може знижуватися в умовах поганого освітлення або при наявності великої кількості перешкод на фоні. По-друге, системи комп'ютерного зору потребують значних обчислювальних ресурсів [5] для обробки відеопотоків, що може бути обмеженням для деяких застосувань, але одним з варіантів вирішення цієї проблеми є використання хмарних сервісів, що дають змогу використовувати обчислювальну потужність для навчання нейронної мережі. Крім того, навчання моделей на великих наборах даних може вимагати часу та зусиль, що може ускладнити швидке впровадження системи в експлуатацію.

Акустичні системи виявлення. Акустичні системи виявлення використовують звукові сигнали для виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Цей підхід базується на здатності дронів створювати характерні звукові хвилі під час польоту, які можуть бути заохплені спеціалізованими мікрофонами та оброблені для визначення наявності та місцезнаходження дронів [6].

По-перше, система складається з масиву мікрофонів, які розміщуються в різних точках для забезпечення максимального охоплення зони спостереження. Мікрофони можуть бути як стаціонарними, так і мобільними, в залежності від цілей виявлення. Коли дрон пролітає поблизу, він створює звукові хвилі, які виникають внаслідок роботи двигунів, обертання пропелерів та інших механізмів.

Наступний етап полягає в аналізі звукових сигналів. Зібрані звукові сигнали передаються до центрального процесора або комп'ютера, де проходять обробку. Система використовує алгоритми обробки сигналів, які можуть включати фільтрацію шуму, виділення характерних частот, амплітуду та інші параметри звуку. Використовуючи методи спектрального аналізу, система може виявляти специфічні звукові шаблони, які відрізняються від фонових шумів (наприклад, звуки автомобілів, птахів, вітру тощо).

На основі аналізу звукових сигналів система може визначити різні характеристики дронів. Це включає тип дрону, оскільки різні моделі можуть мати характерні звуки. Також система може оцінювати швидкість руху дрону, використовуючи зміни частоти звукових сигналів (доплерівський ефект) [7]. Хоча акустичні системи мають обмежену дальність виявлення, за допомогою аналізу часу прибуття звуку до різних мікрофонів можна оцінити місцезнаходження дрону.

Останній етап полягає в інтерпретації даних та сповіщенні. Після обробки даних система може генерувати оповіщення або звукові сигнали для операторів, що вказують на наявність дрону [8]. Це може бути важливим для систем безпеки, моніторингу та контролю повітряного простору. В деяких випадках акустичні системи можуть бути інтегровані з відеоспостереженням або радіолокацією для створення багаторівневої системи виявлення, що підвищує загальну ефективність. Процес виявлення дронів за допомогою акустичної системи наведено на рис. 4.

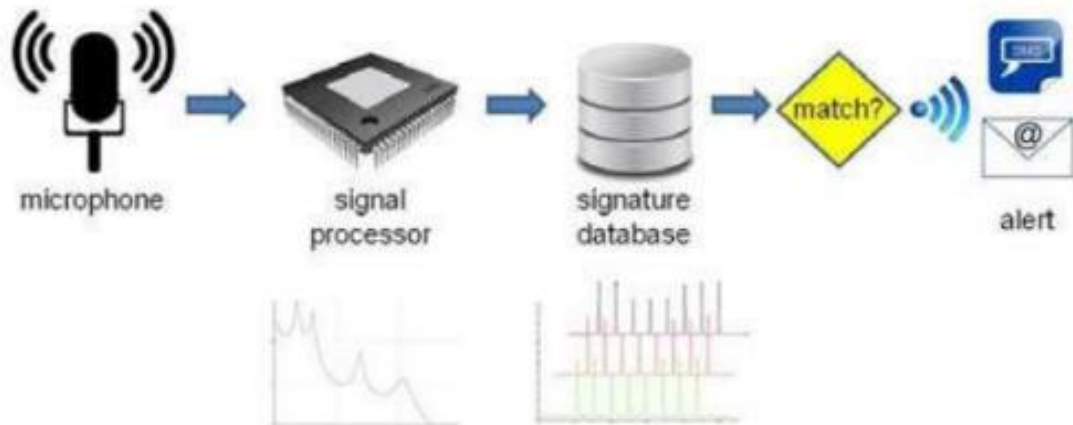


Рисунок 4 – Процес виявлення дронів за допомогою акустичної системи

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ. В результаті дослідження процесу виявлення дронів різними способами було виявлено, що кожен метод має свої специфічні особливості, переваги та обмеження, які впливають на їх ефективність в різних умовах.

Також було підготовано тестовий навчальний датасет, що складається з 1359 фотографій різних дронів (БПЛА) в різних умовах, положеннях, і тд. Також для коректного використання датасету з Yolo було підготовано текстовий документ для кожного зображення в форматі «.xml» з координатами дрона на зображенні. Приклад зображення дрона з навчального датасету наведено на рис. 5.



Рисунок 5 – Приклад зображення дрона з навчального датасету

Приклад формування XML файлу для кожного зображення:

```
<annotation>
  <folder>найменування папки</folder>
  <filename>зображення дрону.png</filename>
  <path>джерело зображення</path>
  <source>
```

```

        <database>Unknown</database>
    </source>
    <size>
        <width>1280</width>
        <height>720</height>
        <depth>3</depth>
    </size>
    <segmented>0</segmented>
    <object>
        <name>drone</name>
        <pose>Unspecified</pose>
        <truncated>0</truncated>
        <difficult>0</difficult>
        <bndbox>
            <xmin>612</xmin>
            <ymin>339</ymin>
            <xmax>636</xmax>
            <ymax>358</ymax>
        </bndbox>
    </object>
</annotation>

```

У секції `<folder>` вказується назва папки, в якій зберігається зображення. Це допомагає системі організувати файли та полегшує доступ до них.

В `<filename>` зазначається точна назва файлу зображення, що дозволяє системі знати, яке зображення потрібно обробити.

Поле `<path>` вказує на шлях до джерела зображення, що може бути важливим для ідентифікації його місцезнаходження в файловій системі.

Блок `<source>` описує походження зображення.

Секція `<size>` містить важливу інформацію про розміри зображення, що включає ширину (`<width>`), висоту (`<height>`) та глибину (`<depth>`), де глибина вказує на кількість кольорових каналів (наприклад, 3 для RGB).

У секції `<segmented>` вказується, чи є зображення сегментованим. Значення «0» означає, що зображення не має сегментації.

Секція `<object>` містить деталі про об'єкт на зображенні, у нашому випадку — дрон. У полі `<name>` зазначається тип об'єкта, що дозволяє нейронмережі ідентифікувати його. Поле `<pose>` вказує на позу об'єкта, яка в даному випадку не уточнюється і позначається як «Unspecified». В подальшому для більш точного навчання можна використовувати датасет більшого розміру що може позитивно вплинути на точність та гнучкість отриманої моделі.

Параметри `<truncated>` та `<difficult>` вказують, чи є об'єкт обрізаним (значення «0» означає, що дрон повністю видно на зображенні) та чи є його виявлення складним (також «0» вказує на відсутність труднощів).

Блок `<bndbox>` містить координати обмежуючого прямокутника, що обрамляє дрон на зображенні. Значення `<xmin>`, `<ymin>`, `<xmax>`, `<ymax>` вказують на координати верхнього лівого та нижнього правого кутів прямокутника, що дозволяє точно локалізувати дрон у зображенні.

В подальшому планується реалізувати кілька ключових етапів для вдосконалення системи виявлення дронів на основі комп'ютерного зору. По-перше, буде проведено розширене

тестування розробленого програмного модуля, що включатиме різні сценарії експлуатації та умови освітлення. Це дозволить виявити можливі недоліки в алгоритмах і провести їх доопрацювання. По-друге, планується збільшити обсяги навчальних даних, зібравши більше зображень дронів у різних умовах і з різними кутами зору. Це допоможе підвищити точність моделі та її адаптивність до реальних ситуацій. Далі, інтеграція з існуючими системами відеоспостереження дозволить створити комплексну платформу для моніторингу повітряного простору. Окрім того, буде проведено аналіз результатів роботи системи та оцінка її ефективності в порівнянні з іншими методами виявлення дронів. Це дозволить виявити сильні та слабкі сторони реалізованого підходу.

Загалом, ці заходи сприятимуть підвищенню надійності та точності системи виявлення дронів, що є важливим кроком для забезпечення безпеки в повітряному просторі.

ВИСНОВКИ. В результаті проведеного дослідження виявлення дронів було встановлено, що кожен із розглянутих методів, включаючи радіолокаційні системи, відеоспостереження з комп'ютерним зором та акустичні системи, має свої переваги та обмеження. Відеоспостереження з комп'ютерним зором виявилось найперспективнішим методом, здатним забезпечити високу точність і швидкість виявлення дронів у реальному часі, що спонукає до подальшої розробки програмного модуля на основі цієї технології.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Sricharan, K., and M. Venkat. «Real-Time Drone Detection Using Deep Learning.» Second International Conference on Emerging Trends in Engineering (ICETE 2023). Atlantis Press, 2023.
2. Wang, Chenxing, et al. «Deep learning-based UAV detection in pulse-Doppler radar.» IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 60 (2021): 1-12.
3. Tian, Jiangmin, et al. «Fully Convolutional Network-Based Fast UAV Detection in Pulse Doppler Radar.» IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 62 (2024): 1-12.
4. Liang, Cang, et al. «UAV detection using continuous wave radar.» 2018 IEEE International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP). IEEE, 2018.
5. Соколов, К. А. «Візуальне виявлення та відстеження малогабаритних рухомих об'єктів на основі функціональних особливостей зорового апарату та особливостях сприйняття людини.» ВЧЕНІ ЗАПИСКИ (2023): 5202375.
6. Sedunov, Alexander, et al. «UAV passive acoustic detection.» 2018 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST). IEEE, 2018.
7. Borysov, O., Yu Artabaiev, and A. Surma. «Кібербезпека безпілотних військових апаратів: методи захисту від перехоплення та дистанційного управління.» COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION 56 (2024): 117-125.
8. Sathyamoorthy, Dinesh. (2015). A Review of Security Threats of Unmanned Aerial Vehicles and Mitigation Steps. The Journal of Defence and Security. 6. In press.
9. Yevsieiv, V., & Demska, N. (2024). *A Model of Using Computer Vision to Monitor the Environment of a Collaborative Manipulator Robot* (Doctoral dissertation).
10. Nevludov, I., Yevsieiv, V., Maksymova, S., Demska, N., Starodubcev, N., & Klymenko, O. (2023, September). Monitoring System Development for Equipment Upgrade for IIoT. In *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)* (pp. 1-5). IEEE.

Науковий керівник: Демська Наталія Павлівна, доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри КІТАР Харківського національного університету радіоелектроніки

ДОДАТОК В
Демонстраційний матеріал

Формат	Позиція.	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ			Кільк.	Примітки	
			<u>Текстові документи</u>					
A4	1	ГЮІК 464430.039 ПЗ						
			Пояснювальна записка			70 с.		
			<u>Інші документи</u>					
	2		Лістинг програми			2 с.		
	3		Абробація наукових результатів досліджень			9 с.		
	4		Демонстраційний матеріал			15 с.		
						ГЮІК 464430.039 ВД		
Змін.	Арк	Номер докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сагула О. О.			Розроблення програмного нейромережевого модуля для виявлення дронів на основі YoloV5 Відомість кваліфікаційної роботи	Літера	Арку	Аркуш
Перевір.		Демська Н. П.				Н	1	1
Н.контр.		Стародубцев М. Г.				Кафедра КІТАР ХНУРЕ		
Затв.		Невлюдов І. Ш.						