

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-  
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

«Дослідження можливості використання штучного інтелекту для управління  
БПЛА у військових цілях»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра  
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології  
(код, найменування спеціальності)  
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології  
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело*

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Тетяна ГРАДОБЛЯНСЬКА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача

Виконав: здобувач вищої освіти гр. ІСД- 41

Тетяна ГРАДОБЛЯНСЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник: К.т.н., доцент Ольга ПОЛОНЕВИЧ

науковий ступінь,  
вчене звання

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Рецензент: \_\_\_\_\_

науковий ступінь,  
вчене звання

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій**

Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ІЗАС

\_\_\_\_\_ Каміла СТОРЧАК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Градоблянській Тетяні Борисівні

*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження можливості використання штучного інтелекту для управління БПЛА у військових цілях

керівник кваліфікаційної роботи Ольга ПОЛОНЕВИЧ к.т.н, доцент

*(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)*

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «27» лютого 2024 р. № 36

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «31» травня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Науково-технічна література з теми бакалаврської роботи.
2. Принцип управління БПЛА.
3. Основні методи штучного інтелекту .

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

1. Теоретичні основи використання ШІ для управління БПЛА.
2. Аналіз можливостей БПЛА з використанням ШІ у військових цілях
3. Дослідження системи управління БПЛА на основі ШІ

5. Ілюстративний матеріал: *презентація*

6. Дата видачі завдання: «27» лютого 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	27.02-05.03.2024	
2	Обґрунтування актуальності роботи	06.03-11.03.2024	
3	Теоретичні основи використання ШІ для управління БПЛА	12.03-27.03.2024	
4	Аналіз можливостей БПЛА з використанням ШІ у військових цілях	28.03-10.04.2024	
5	Дослідження системи управління БПЛА на основі ШІ	11.04-15.05.2024	
7	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	16.05-22.05.2024	
8	Розробка демонстраційних матеріалів	23.05-24.05.2024	

Здобувачка вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Тетяна ГРАДОБЛЯНСЬКА

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник  
кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ольга ПОЛОНЕВИЧ

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 51 стор, 15 рис., 14 джерел.

*Мета роботи* – дослідженні можливостей використання штучного інтелекту для оптимізації функціонування систем управління безпекою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в військових операціях.

*Об'єкт дослідження* – процес управління БПЛА

*Предмет дослідження* – застосування штучного інтелекту для управління БПЛА.

*Короткий зміст роботи:* У роботі проведено аналіз сучасних методів та технологій використання штучного інтелекту в сфері управління безпекою БПЛА, виявлено основні переваги та можливі виклики в їх впровадженні. Запропоновано використання алгоритмів машинного навчання для підвищення ефективності системи управління безпекою БПЛА та забезпечення їхньої безпеки під час військових операцій. Також розроблено концепцію системи управління безпекою БПЛА на основі штучного інтелекту та представлено схему її реалізації для подальшого експериментального випробування.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ, БПЛА, СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ БЕЗПЕКИ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, МАШИННЕ НАВЧАННЯ

## ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 51 pages, 15 pictures, 14 sources.

*The purpose* of the work - study the possibilities of using artificial intelligence to optimise the functioning of unmanned aerial vehicles (UAVs) safety management systems in military operations.

*Object of research* – UAV control process.

*Subject of research* – application of artificial intelligence for UAV control.

*Summary of the work:* The work analyzes modern methods and technologies of using artificial intelligence in the field of UAV safety management, reveals the main advantages and possible challenges in their implementation. The use of machine learning algorithms is proposed to increase the efficiency of the UAV safety management system and ensure their safety during military operations. Also, the concept of the UAV safety management system based on artificial intelligence was developed and the scheme of its implementation was presented for further experimental testing.

**KEYWORDS:** ARTIFICIAL INTELLIGENCE, UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS), CONTROL SYSTEMS, SAFETY OPTIMISATION, NEURAL NETWORK, MACHINE LEARNING.

# ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
<b>1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ БПЛА.....</b>	<b>5</b>
1.1 Поняття штучного інтелекту та його роль у сучасних військових системах.....	5
1.2 Штучний інтелект у військовій стратегії.....	8
1.3 Огляд існуючих алгоритмів та методів навчання штучного інтелекту.....	11
1.3.1 Навчання з учителем.....	11
1.3.2 Навчання без учителя.....	12
1.3.3 Підсилене навчання.....	14
1.3.4 Навчання глибоких нейронних мереж.....	15
1.4 Принципи роботи штучного інтелекту в БПЛА.....	17
<b>2. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ БПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВІЙСЬКОВИХ ЦІЛЯХ.....</b>	<b>20</b>
2.1 Типи та класифікація БПЛА на базі штучного інтелекту.....	20
2.2 Використання штучного інтелекту в сучасних БПЛА.....	21
2.3 Переваги використання штучного інтелекту для управління БПЛА.....	26
2.4 Технічні виклики та обмеження штучного інтелекту в управлінні БПЛА.....	27
2.4.1. Обмеження обчислювальних ресурсів.....	28
2.4.2 Забезпечення надійності та безпеки.....	28
2.4.3. Інтеграція з іншими системами.....	30
2.5. Аналіз реальних сценаріїв використання штучного інтелекту в БПЛА.....	31
<b>3. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БПЛА НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....</b>	<b>34</b>
3.1. Обґрунтування вибору алгоритму навчання штучного інтелекту.....	34
3.2 Штучний інтелект з глибоким підкріпленням навчанням для керування БПЛА.....	34
3.2.1 Автономна навігація БПЛА у середовищі без GPS.....	35
3.2.2 Використання штучного інтелекту для навігації безпілотних літальних апаратів.....	37
3.3. Розпізнавання об'єктів за допомогою штучного інтелекту в системах БПЛА.....	42
3.3.1. Збір візуальних даних.....	42
3.3.2 Обробка даних алгоритмами глибокого навчання.....	43
3.3.3. Класифікація та локалізація об'єктів.....	46
3.4 Адаптація ШІ до змінних умов польоту.....	47
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>51</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>52</b>

# ВСТУП

*Актуальність.* Актуальність даної роботи зумовлена нагальною потребою в підвищенні ефективності та безпеки військових операцій, особливо в контексті зростання використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у військовій сфері. БПЛА відіграють важливу роль у розвідці, наданні підтримки та здійсненні атак у військових операціях, але їх ефективність і безпека залишаються ключовими пріоритетами. Сучасні технології штучного інтелекту відкривають нові можливості для підвищення функціональних можливостей та безпеки БПЛА. Використання штучного інтелекту у системах управління БПЛА дозволяє покращити їх здатність до аналізу навколишнього середовища, розпізнавання та класифікації об'єктів, прийняття рішень та реагування на швидкозмінні ситуації у реальному часі. Враховуючи постійний розвиток технологій та зростання загроз з боку потенційних противників, дослідження можливостей використання штучного інтелекту у цій області є надзвичайно важливим та актуальним.

*Мета роботи* – вивчення та аналіз сучасних методів та технологій застосування штучного інтелекту в системах управління БПЛА, виявлення їхньої придатності та ефективності для військових операцій.

Для виконання поставленої мети, у бакалаврській роботі розроблено та виконано наступні завдання:

- дослідження можливостей штучного інтелекту та методів його навчання;
- дослідження можливостей, які надає впровадження штучного інтелекту в управління БПЛА

*Об'єкт дослідження* – процес управління БПЛА.

*Предмет дослідження* – застосування штучного інтелекту для управління БПЛА.

*Методи дослідження.* Під час виконання завдань бакалаврської кваліфікаційної роботи були використані методи машинного навчання, теорії ймовірності, елементів системного аналізу, методи теоретичного дослідження.

*Практична значущість одержаних результатів.* Отримані в роботі результати досліджень можуть бути використані для підвищення ефективності використання БПЛА у військових операціях.

*Апробація.* Основні положення і результати бакалаврської роботи доповідались на V Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT». ДУІКТ, 2024.



# **1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ БПЛА**

## **1.1 Поняття штучного інтелекту та його роль у сучасних військових системах**

Штучний інтелект (ШІ) – це динамічно розвиваюча галузь комп'ютерних наук, яка прагне створити машини, здатні імітувати людський інтелект. Цей напрямок досліджень охоплює широкий спектр тем, включаючи розуміння та обробку інформації, навчання та адаптацію, вирішення проблем та автономію.

ШІ-системи здатні аналізувати дані, вчитися на них та робити висновки. Вони можуть знаходити закономірності та зв'язки в даних, щоб приймати обґрунтовані рішення. Завдяки машинному навчанню ШІ-системи вдосконалюють свою продуктивність без явного програмування, а глибоке навчання дозволяє їм обробляти складні дані, такі як зображення та текст.

Штучний інтелект використовується для автоматизації рутинних та складних завдань, оптимізації процесів, діагностики проблем та прийняття рішень. Робототехніка та безпілотні транспортні засоби – це лише два приклади того, як штучний інтелект використовується для керування машинами в реальному світі. Віртуальні помічники – це приклад того, як штучний інтелект може взаємодіяти з людьми в природній мові.

Такі системи мають значний вплив на різні аспекти людського життя, такі як охорона здоров'я, фінанси, виробництво та транспорт. Вони використовуються для розробки нових ліків, діагностики захворювань, прогнозування ринкових тенденцій, оптимізації виробничих процесів та розробки безпілотних автомобілів.

Важливо зазначити, що штучний інтелект також має свої ризики та виклики. Він може призвести до втрати робочих місць, тому людям важливо здобувати нові навички, щоб адаптуватися до мінливих умов праці. Системи на базі штучного інтелекту можуть бути упередженими, якщо вони навчаються на неповних або неточних даних, а також можуть бути зловжиті для злочинних цілей.

Незважаючи на ризики, штучний інтелект має великий потенціал для

покращення життя людей у багатьох аспектах. Важливо відповідально та етично використовувати його, щоб максимізувати його переваги та мінімізувати ризики. Штучний інтелект стрімко розвивається, перетворюючи всі аспекти людського життя, включаючи військову справу. Його можливості відкривають нові горизонти для ведення бойових дій, роблячи їх більш ефективними, скоординованими та безпечними.

Розвідка та спостереження: ШІ-системи стають незамінними помічниками у збиранні та аналізі даних з камер, радарів, супутників та інших датчиків. Алгоритми машинного навчання безперервно сканують поля бою, шукаючи та відстежуючи ворожі цілі, такі як танки, бронетехніка, люди та зброя. Ця інформація дає військовим чітке уявлення про ситуацію на полі бою, дозволяючи їм краще прогнозувати дії противника та приймати обґрунтовані рішення.

Цільове вказування та нанесення ударів: Штучний інтелект не лише знаходить цілі, але й може автоматично їх ідентифікувати та наводити на них зброю. Це значно скорочує час, необхідний для ураження цілей, роблячи удари більш точними та мінімізуючи ризик для мирних жителів. Штучний інтелект також може використовуватися для розробки систем зброї, які здатні самостійно вибирати та вражати цілі без втручання людини. Радіоелектронна боротьба: Штучний інтелект стає ключовим інструментом у боротьбі за контроль над електромагнітним спектром. ШІ-системи можуть ставити перешкоди ворожим системам зв'язку та радіолокації, порушуючи координацію та зв'язок противника. Це може допомогти військовим у захисті своїх систем від виявлення та забезпечити перевагу на полі бою.

Кібербезпека: Кібератаки стають все більш поширеною загрозою, і штучний інтелект може стати ключовим фактором у захисті військових систем. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати дані про мережеву активність, виявляти підозрілу поведінку та автоматично реагувати на кібератаки. Це допоможе військовим у захисті своїх систем та інформації від ворожих сил.

Алгоритми машинного навчання можуть допомогти у плануванні маршрутів, управлінні запасами та прогнозуванні потреб у ресурсах. Це допоможе військовим

у забезпеченні своїх сил усім необхідним на полі бою.

Навчання та тренування: ШІ дає можливість створювати віртуальні середовища для навчання та тренування військовослужбовців. Ці середовища імітують різні бойові ситуації, дозволяючи військовим відточувати свої навички та краще готуватися до реальних бойових дій. ШІ також може використовуватися для створення адаптивних навчальних програм, які підлаштовуються під індивідуальні потреби кожного військовослужбовця.

Важливо пам'ятати, що ШІ у військових системах має свої ризики. Автономні системи зброї можуть призвести до ескалації конфліктів та непередбачуваних наслідків. Існує ризик зловживання ШІ-системами або їхнього використання для несанкціонованих цілей. Тому важливо розробити чіткі етичні рамки та правила використання ШІ у військових системах, щоб мінімізувати ризики та забезпечити відповідальне використання цієї технології.

Штучний інтелект має значний потенціал для зміни характеру ведення війн. Його можливості можуть допомогти військовим у підвищенні ефективності та безпеки, але важливо використовувати цю технологію відповідально та з урахуванням можливих ризиків.

Переваги та недоліки використання штучного інтелекту (ШІ) у військовій сфері:

ШІ революціонує військову справу, роблячи БПЛА більш автономними, ефективними та безпечними.

Автономність: ШІ автоматизує багато завдань, таких як навігація, розвідка, спостереження та наведення зброї. Це дозволяє БПЛА діяти довше, з більшою точністю та меншими ризиками.

Безпека: Штучний інтелект застосовується для виконання небезпечних завдань, таких як розвідка у бойових зонах або розмінування, що зменшує ризики для життя людей.

Ефективність: ШІ розширює можливості БПЛА, адже вони можуть не лише збирати дані, але й обробляти їх, роблячи висновки та приймаючи обґрунтовані дії.

Економія: Автономні БПЛА потребують менше операторів, значно

зменшуючи експлуатаційні витрати.

**Швидкість:** ШІ аналізує дані з різних джерел, роблячи точні та швидкі висновки, що дає військовим кращу ситуаційну обізнаність та можливість прогнозувати дії противника.

Використання ШІ у військовій сфері також має свої ризики та виклики.

**Етика:** Автономні системи зброї можуть призвести до ескалації конфліктів та непередбачуваних наслідків. Важливо розробити чіткі етичні рамки та правила використання ШІ у військових системах.

**Кібербезпека:** ШІ-системи можуть бути вразливими до кібератак, тому важливо забезпечити їх кібербезпеку та надійність.

**Ескалація:** Автономні системи зброї можуть зробити війну більш легкою та доступною, що може призвести до ескалації конфліктів.

**Відповідальність:** Важливо чітко визначити відповідальність за дії автономних систем.

**Зловживання:** Існує ризик зловживання ШІ-системами або їхнього використання для несанкціонованих цілей.

## **1.2 Штучний інтелект у військовій стратегії**

У дослідницькому звіті Інституту Брукінгса за 2018 рік Даррел Вест і Джон Аллен написали, що «незважаючи на загальну недостатню знайомість, штучний інтелект — це технологія, яка змінює всі сфери життя». Якщо п'ять років тому штучний інтелект, ідея якого сягає минулого століття, вже трансформував «кожну сферу життя», то сьогодні цю трансформацію можна відчувати в наших повсякденних справах як ніколи. Розумні пристрої для дому, керовані штучним інтелектом, автономні транспортні засоби, технології розпізнавання мовлення.

Не дивно, що військові по всьому світу змагаються за використання штучного інтелекту для посилення військового потенціалу та підвищення ефективності існуючих технологій. Роблячи це, вони запускають потужну ланцюгову реакцію, яка неодмінно матиме серйозні наслідки для ведення війни та

майбутнього конфлікту. Показовий приклад: дрони.

Як і в інших галузях промисловості, виробники безпілотників використовують революційні інновації, запроваджені штучним інтелектом. Дрони або безпілотні літальні апарати зараз стали однією з найбільш часто використовуваних і затребуваних видів зброї для держав. Очікується, що до 2032 року ринок військових безпілотників перевищить 100 мільярдів доларів, тоді як міжнародний попит на цю відносно дешеву та все більш ефективну зброю зростає експоненціально. Їхня популярність зростає ще більше, враховуючи їх роль, яка змінила правила гри, і успішне застосування в останніх війнах, про що свідчить широке використання їх Азербайджаном у війні 2020 року за спірний Нагірний Карабах і їхня роль у сучасній війні Росії в Україні.

Незважаючи на те, що безпілотники розроблялися та використовувалися десятиліттями, починаючи зі спроб створити дистанційно керований літальний апарат під час Першої світової війни та використання Америкою розвідувальних безпілотних літальних апаратів під час війни у В'єтнамі, вони розглядалися як засіб примноження сили та допоміжна підтримка авіації та ракет. ведення війни, а не основний інструмент нападу. З останніми технологічними проривами це змінюється.

Штучний інтелект робить аналіз даних і датчиків дронів значно ефективнішим, дозволяючи складним алгоритмам і машинному навчанню набагато краще розуміти навколишнє середовище дрона. Це вдосконалення систем зв'язку та кібербезпеки критично важливих даних, отриманих, інтерпретованих, проаналізованих і переданих дронами.

Але штучний інтелект не просто впроваджує низку досягнень, які підвищують ефективність дронів і допомагають подолати їх поточні технологічні обмеження. ШІ перетворює їх на принципово інший вид зброї. Дві революційні інновації, які штучний інтелект зараз очолює в безпілотниках, — це ройовий інтелект і автоматизація.

Ройовий інтелект — це концепція штучного інтелекту та інформатики, яка стосується вивчення «децентралізованих, самоорганізованих систем, природних

або штучних». Виникнення цієї концепції сягає дослідження оптимізації колонії мурашок Марко Доріго в 1992 році, в якому спостереження Доріго за соціальною поведінкою мурах призвели до розробки алгоритмів, які дозволяють оптимізувати взаємодію між окремими агентами всієї системи.

Що стосується безпілотників, це означає, що штучний інтелект дозволяє БПЛА функціонувати скоординовано та узгоджено у «рої», що дозволяє військовим запускати шквал безпілотників у наступальній здатності. Ретельно спланована та здійснена атака ройових безпілотних літальних апаратів може перемогти ворога та виконати тактичні та стратегічно важливі військові завдання, таким чином ще більше підвищивши індивідуальну корисність безпілотного літального апарату

Додайте автоматизацію до рівняння, і результати виглядатимуть як сцени з науково-фантастичного фільму. Автоматизація на основі штучного інтелекту має намір стати найбільш трансформаційною новою технологією, яка революціонізує БПЛА для військового використання. Те, що колись було уявною концепцією, вже стає новим способом ведення війни, виробляючи новий вид летальної зброї, яка тепер відома як «роботи-вбивці» або летальні автономні системи зброї (LAWS), які можуть бути наземними, повітряними, або на водній основі. Впровадження автоматизації штучного інтелекту в безпілотні літальні апарати вже забезпечує прогрес у кількох сферах операцій безпілотників, зокрема в автономній навігації, мережах зв'язку, аналізі даних, інтеграції з Інтернетом речей (IoT) і, нарешті, автономному прийнятті рішень для наступальних операцій. Автономне прийняття рішень є, безумовно, найбільш суперечливою особливістю, і відсутність будь-яких міжнародних правил або співпраці між державами для регулювання норм виробництва або використання такої зброї вже викликає тривогу правозахисних груп і прихильників етичної війни.

Станом на 2023 рік кілька країн уже беруть участь у змаганнях за використання потужності автоматизації дронів, у тому числі Сполучені Штати, де, наприклад, розробляється експериментальний літальний апарат Valkyrie як перший прототип дронів, повністю керованих штучним інтелектом.

## **1.3 Огляд існуючих алгоритмів та методів навчання штучного інтелекту**

Штучний інтелект є ключовою складовою сучасних систем управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА), що використовуються у військовій, цивільній та дослідницькій діяльності. Для досягнення високої ефективності управління, необхідно використовувати різноманітні алгоритми та методи навчання, які дозволяють системам штучного інтелекту адаптуватися до змінних умов та завдань.

Основними методами є навчання з учителем, без учителя та підсиленого навчання, а також застосування глибокого навчання, що є актуальними в контексті сучасних військових та цивільних застосувань безпілотних систем.

### **1.3.1 Навчання з учителем**

Навчання з учителем (керований метод) - це один з основних підходів до навчання штучного інтелекту, який передбачає наявність набору даних, які складаються з вхідних признаков і відповідних до них цільових значень. Основна мета навчання з учителем полягає в тому, щоб знайти функціональну залежність між вхідними даними і вихідними значеннями на основі цього набору даних. Різні алгоритми, такі як Neural Networks (нейронні мережі), Support Vector Machines (SVM) та Decision Trees (дерева рішень), можуть бути використані для розв'язання задач класифікації та регресії у системах управління БПЛА.

SVM є алгоритмом машинного навчання, який використовується для вирішення завдань класифікації та регресії. Головна ідея полягає в тому, щоб знайти гіперплощину, яка найкращим чином розділяє два класи об'єктів у вхідному просторі. SVM широко використовується для класифікації об'єктів на основі їхніх ознак, наприклад, для визначення класу об'єктів на зображеннях, які отримуються від камер на БПЛА.

Нейронні мережі є математичними моделями, що імітують функціонування людського мозку. Вони складаються зі штучних нейронів, які сполучені між собою і обробляють вхідні дані, виробляючи відповіді на основі внутрішнього стану мережі. Нейронні мережі демонструють високу потужність у багатьох завданнях, включаючи класифікацію об'єктів на зображеннях та аналіз тексту, що може бути корисним для обробки даних, отриманих від БПЛА.

Дерева рішень - це метод, який використовується для класифікації або регресії шляхом розбиття вхідних даних на вузли, що представляють різні категорії або значення. Дерева рішень можуть бути ефективними для прийняття рішень у реальному часі, вирішенням задач з великою кількістю класів або великими обсягами даних.

Ці методи навчання з учителем є важливими інструментами для навчання систем управління БПЛА, оскільки вони дозволяють виявляти та класифікувати об'єкти, а також прогнозувати їхні дії на основі вхідних даних.

### **1.3.2 Навчання без учителя**

Навчання без учителя (некерований метод) - це метод машинного навчання, який використовується для розв'язання задач аналізу даних, де немає чітко визначених відповідей або цільових значень. У цьому підході алгоритми працюють з нерозміченими даними і намагаються знайти приховані закономірності, групи чи структури, що допомагають розуміти природу даних. Деякі з основних алгоритмів навчання без учителя включають K-means Clustering, Hierarchical Clustering та Principal Component Analysis (PCA).

K-means Clustering - це алгоритм кластеризації, який розділяє набір даних на кілька груп (кластерів), де кожен об'єкт в кожній групі має найбільшу схожість з іншими об'єктами в тій же групі. Алгоритм спочатку випадково обирає кілька центральних точок (центроїдів), а потім ітеративно переназначає кожен об'єкт до найближчого центроїда, поки кластери не стабілізуються.



Hierarchical Clustering - це інший метод кластеризації, який розділяє набір даних на ієрархічну структуру кластерів. Починаючи з окремих об'єктів, алгоритм поступово об'єднує їх у більші кластери, використовуючи різні метрики схожості або відстані між об'єктами. Під час виконання ієрархічної кластеризації, об'єкти зазвичай спочатку розглядаються як окремі кластери, а потім поступово об'єднуються в більші групи на основі їхньої подібності або відстані. Цей процес триває до тих пір, поки всі об'єкти не будуть об'єднані в один великий кластер або досягнута певна кількість кластерів. Ієрархічна кластеризація може бути представлена у вигляді дендрограми, яка візуалізує процес об'єднання кластерів та їхній рівень подібності.

Principal Component Analysis - це метод зменшення розмірності даних, який використовується для знаходження головних (важливих) компонентів в наборі даних. PCA шукає лінійні комбінації ознак, які зберігають найбільшу дисперсію в даних, і перетворює вихідний набір даних на новий набір з меншою кількістю ознак, які все ще зберігають багато важливої інформації.

Ці методи навчання без учителя допомагають виявляти структури і закономірності в даних, які можуть бути важливими для управління БПЛА. Наприклад, вони можуть використовуватися для класифікації різних об'єктів на зображеннях або для аналізу великих обсягів даних, отриманих від сенсорів на БПЛА.

На рисунку 1.1 зображено схильність завдань використовувати керовані та некеровані методи. Перетин кіл назвами завдань навмисний. Він показує, що класичне відокремлення творчих завдань (ліворуч) із застосуванням некерованих методів у сучасних схемах навчання розмите.



Рис.1.1 Схильність завдань використовувати керовані та некеровані методи

### 1.3.3 Підсилене навчання

Підсилене навчання - це галузь машинного навчання, яка спрямована на створення алгоритмів, які можуть вчитися приймати оптимальні рішення на основі взаємодії з динамічним середовищем. Метою підсиленого навчання є розвинення агента, який вчиться вибирати дії в середовищі таким чином, щоб максимізувати нагороду або мінімізувати покарання.

Один з ключових методів підсиленого навчання - це Q-learning. Під час навчання Q-learning агент навчається оцінювати цінність дій у певному стані середовища. Цінність кожної дії визначається за допомогою функції Q, яка оцінює очікувану загальну нагороду, яку агент отримає, виконавши певну дію в певному стані. Алгоритм Q-learning навчається шляхом проб і помилок, під час яких агент поступово оновлює свої оцінки Q на основі отриманих нагород та своїх передбачень.

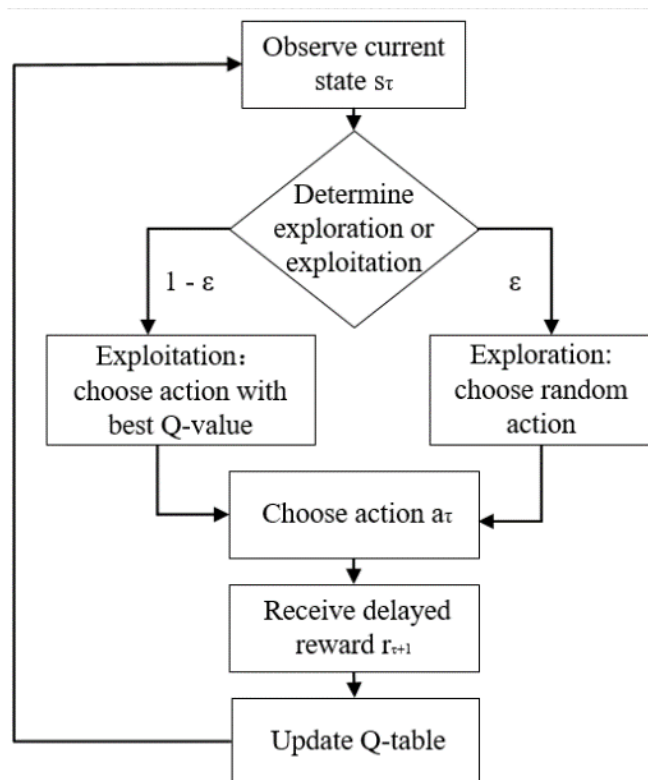


Рис.1.2 Блок-схема алгоритму підсиленого навчання

Ще одним ефективним методом є Deep Q-Networks (DQN), який поєднує в собі підсилене навчання з глибоким навчанням. DQN використовує нейронні мережі для навчання функції Q. Це дозволяє агенту навчатися складним стратегіям і приймати оптимальні рішення навіть у складних і динамічних середовищах, таких як управління БПЛА.

Застосування методів підсиленого навчання управлінні БПЛА дозволяє апаратам навчатися в реальному часі, приймаючи рішення на основі навколишнього середовища та отриманих даних. Це дозволяє підвищити ефективність управління, а також адаптуватися до змінних умов і завдань, що можуть виникати під час місій в реальному світі.

### 1.3.4 Навчання глибоких нейронних мереж

Глибоке навчання (Deep Learning) є підгалуззю машинного навчання, яка використовує глибокі нейронні мережі для розв'язання складних завдань у різних областях, включаючи обробку зображень, обробку природної мови та аналіз часових послідовностей. Основними типами глибоких нейронних мереж є Згорткові нейронні мережі (CNN) та рекурентні нейронні мережі (RNN), які знайшли широке застосування у вправлінні БПЛА.

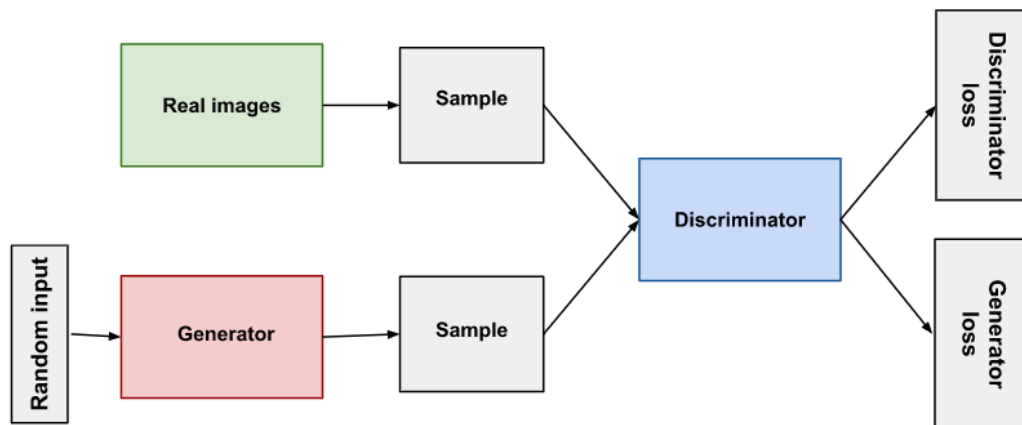


Рис.1.3 Алгоритм глибокого навчання

Згорткові нейронні мережі (CNN) ефективно використовуються для обробки зображень. Вони взагалі стали стандартом у багатьох системах, що працюють з візуальним вмістом, включаючи системи розпізнавання облич, виявлення об'єктів та автоматичного управління. Основна сила CNN полягає у їхній здатності автоматично виявляти та виділяти важливі ознаки зображення за допомогою здійснення операцій згортки та підсумування. Це робить їх ідеальними для задач розпізнавання образів та навігації в БПЛА, де візуальна інформація є важливою.

Рекурентні нейронні мережі (RNN) призначені для обробки послідовних даних та аналізу часових залежностей. Вони можуть зберігати і використовувати інформацію про попередні стани вхідних даних, що робить їх ефективними для аналізу послідовностей даних, таких як мовлення або часові ряди. У військових системах RNNs можуть бути використані для аналізу динамічних змін у ситуації на місці, прийняття рішень на основі історичних даних та прогнозування подій.

Застосування глибокого навчання управління БПЛА дозволяє апаратам ефективно аналізувати та реагувати на складні сценарії, враховуючи різноманітність у вхідних даних та умовах. Використання CNNs та RNNs дозволяє покращити рівень автономності та реактивності безпілотних систем, що робить їх більш ефективними в різних сценаріях військових операцій.

#### **1.4 Принципи роботи штучного інтелекту в БПЛА**

Архітектура штучного інтелекту в безпілотних літальних апаратах (БПЛА) розроблена таким чином, що дозволяє їм виконувати різноманітні задачі з високим ступенем автономії та адаптивності. Комплексна та багат шарова структура цієї архітектури є ключем до їх високої функціональності та ефективності у складних умовах.

Основою системи штучного інтелекту в БПЛА є центральний процесорний блок (ЦПБ), який відповідає за обробку всіх вхідних та вихідних даних. ЦПБ керує алгоритмами штучного інтелекту, які аналізують інформацію, отриману від різноманітних датчиків, і на основі цього визначають найоптимальніші рішення для управління польотом, навігацією та іншими критичними завданнями.

Система також включає модулі пам'яті, які зберігають не тільки програмне забезпечення та операційні системи, але й важливі дані та інструкції, необхідні для правильної роботи системи. Ці модулі пам'яті забезпечують швидкий доступ до необхідної інформації та здатність системи швидко адаптуватися до змін умов або задач.

Інтерфейси введення-виведення відіграють життєво важливу роль у забезпеченні зв'язку між центральним процесорним блоком та зовнішнім світом, включаючи датчики, актуатори та інші системні компоненти. Ці інтерфейси приймають дані з датчиків, таких як камери, гіроскопи та GPS, та передають відповідні команди до актуаторів, які керують рухами та іншими діями БПЛА.

Крім того, розширене програмне забезпечення, яке включає спеціалізоване ПЗ для штучного інтелекту, виконує ключові функції з аналізу отриманих даних та

оптимізації рішень в реальному часі. Воно дозволяє БПЛА не тільки реагувати на стандартні ситуації, але й адаптуватися до нових викликів, вирішувати складні завдання та вдосконалювати свої власні алгоритми через машинне навчання.

Така інтеграція різноманітних технологій та компонентів у єдину систему забезпечує БПЛА з штучним інтелектом виняткові можливості для виконання широкого спектру задач, від простих розвідувальних місій до комплексних бойових операцій.

Штучний інтелект (ШІ) у безпілотних літальних апаратах (БПЛА) відіграє критичну роль, забезпечуючи тісну взаємодію між численними датчиками та актуаторами, що є фундаментом для автономної роботи цих систем. Датчики на БПЛА, включаючи GPS для навігації, акселерометри для вимірювання прискорення, а також оптичні та теплові камери для візуального моніторингу, збирають обширні масиви даних про середовище навколо апарату. Ці дані стають основою для алгоритмів ШІ, які аналізують інформацію та адаптують роботу апарату до динамічно змінюваних умов навколишнього середовища.

Актуатори в БПЛА, які включають в себе двигуни для приводу роторів або інші механізми для маніпулювання кутом нахилу і орієнтації апарату, безпосередньо виконують фізичні дії за командами, отриманими від ШІ. Це означає, що кожен маневр, зміна висоти польоту, або корекція траєкторії здійснюється на основі оброблених даних, що забезпечує високу точність і оперативність відгуків системи на зовнішні зміни.

Ця складна взаємодія між ШІ, датчиками та актуаторами створює високорівневу інтегровану систему, яка здатна автономно виконувати завдання, адаптуючись до непередбачених обставин та викликів оперативного середовища. Це не лише підвищує ефективність БПЛА, але й значно розширює сфери їх застосування, від військових операцій і рятувальних місій до екологічного моніторингу та аграрного господарства. Ключ до успішної роботи такої системи полягає у безперебійній взаємодії компонентів, що вимагає високої точності в налаштуванні та синхронізації всіх елементів системи.

Моделювання поведінки БПЛА за допомогою штучного інтелекту (ШІ) є фундаментальним аспектом їхнього розроблення та випробування, оскільки воно забезпечує можливість точно відтворити різноманітні польотні умови в контрольованому віртуальному середовищі. Цей процес включає створення деталізованих сценаріїв, що імітують реальні польотні ситуації — від стандартних маневрів до надзвичайних обставин, таких як технічні збої або зміни метеорологічних умов.

Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє автоматизувати аналіз даних, зібраних під час симуляцій, що в свою чергу сприяє ідентифікації слабких місць в системі управління БПЛА. ШІ може виявляти неочікувані або небажані патерни в поведінці апарата, вказуючи на потребу в корекції алгоритмів або налаштуваннях. Оптимізація стратегій поведінки на основі цих даних веде до зменшення ризиків під час реальних польотів та підвищує загальну надійність місій.

Крім того, штучний інтелект відіграє ключову роль у вдосконаленні польотних характеристик БПЛА. Через цілеспрямоване налаштування параметрів, таких як швидкість, маневреність та економія палива, ШІ сприяє значному підвищенню ефективності польоту. Автоматизоване тонке налаштування цих параметрів дозволяє БПЛА адаптуватися до різних місійних вимог, що в результаті забезпечує краще виконання заданих завдань та зниження оперативних витрат.

Таким чином, використання ШІ для моделювання та оптимізації поведінки БПЛА стає незамінним інструментом у розробці автономних літальних систем. Це не тільки підвищує безпеку та ефективність польотів, але й сприяє швидкій адаптації технологій до швидко змінних умов реального світу.

## 2 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ БПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВІЙСЬКОВИХ ЦІЛЯХ

### 2.1 Типи та класифікація БПЛА на базі штучного інтелекту

Безпілотні літальні апарати, оснащені штучним інтелектом, демонструють значну різноманітність у типах та функціональності. Їхня класифікація здебільшого ґрунтується на призначенні, способах використання та вбудованих технологіях.



Рис.2.4 Види БПЛА

Розвідка відіграє значну роль під час проведення військових дій та стає їх невід'ємною частиною. Розвідувальні БПЛА призначені для збору даних і інформації про ворожі позиції, стан навколишнього середовища або інші цілі без прямого втручання людини. Використання ШІ в цих системах дозволяє автоматизувати процеси розпізнавання об'єктів, визначення їхніх координат і збору розвідданих без постійної уваги оператора. ШІ може аналізувати великі обсяги зображень або відео в реальному часі, виокремлюючи важливу інформацію із незначних деталей, що значно підвищує точність і швидкість обробки даних. Такі апарати часто оснащені високороздільною камерою, інфрачервоними та тепловізійними датчиками, а також радарми для забезпечення найкращого огляду



територій у різних умовах.

Окрім розвідки, важливим завданням є ураження(знищення) цілей противника. Для досягнення цієї мети використовують саме атакуючі БПЛА. Даний тип літальних апаратів використовуються для здійснення точних ударів по визначених цілях з мінімальними ризиками для власних військових сил. ШІ в цих апаратах відіграє роль в точному наведенні на ціль, оптимізації траєкторії польоту та виборі моменту для запуску зброї. Складні алгоритми дозволяють таким БПЛА автономно змінювати свої плани в залежності від динамічно змінюваних умов, забезпечуючи високу точність атак із залученням когнітивних технологій для оцінки ймовірності успіху різних сценаріїв дій.

Щодо логістики слід зауважити, що доставка вантажів в більшості випадків є складним завданням. Транспортні БПЛА зі штучним інтелектом автоматизують логістичні задачі, такі як доставка матеріальних засобів у важкодоступні місця або зони активних бойових дій. Штучний інтелект в цих апаратах оптимізує маршрути польоту, управління енергоспоживанням і навантаженням, а також координує взаємодію між кількома апаратами. Вбудовані алгоритми забезпечують безпеку польоту та точність доставки, адаптуючи плани в залежності від змін у погодних умовах або інших факторів.

Завдяки розвитку технологій ШІ, БПЛА набувають здатності виконувати все більш складні місії, що вимагають когнітивного аналізу, швидкого прийняття рішень і адаптації до нових умов. Це включає можливість самостійного навчання на основі отриманих даних, що дозволяє системам удосконалювати свою ефективність протягом всього часу експлуатації.

Ці категорії БПЛА на базі штучного інтелекту продемонстровано як важливий компонент сучасних і майбутніх військових та цивільних операцій, пропонуючи рішення для широкого спектра задач від стратегічних до тактичних.

## **2.2 Використання штучного інтелекту в сучасних БПЛА**

За останні кілька років спостерігається зростаючий рівень автономності у керуванні безпілотними літальними апаратами (БПЛА). Раніше вони переважно керувалися дистанційно пілотами, і хоча деякі аспекти, такі як маршрутизація, контролювалися автопілотом, загальне керування залишалося під контролем людини. Однак за останні роки розвиток технологій дозволив створити комерційні платформи, які здатні виконувати завдання в автономному режимі. Ці платформи оперують за попередньо запланованими маршрутами та базуються на навігації GNSS.

Щоб забезпечити безпеку та уникнення перешкод, нові комерційні БПЛА оснащені додатковими сенсорами, такими як камери та датчики відстані. Ці сенсори дозволяють виявляти великі перешкоди та уникати їх або призупиняти польот перед зіткненням. Однак лише деякі моделі, такі як новітні версії DJI Mavic Air, здатні виявляти та уникати перешкод.

Автономна навігація в невідомому середовищі потребує постійного збирання даних про навколишнє середовище, аналізу цих даних та прийняття швидких рішень без участі оператора. Ця проблема активно досліджується у робототехніці, де використовуються різноманітні сенсори, такі як камери, лазери, інерціальні блоки та GNSS. Для ефективної автономної навігації необхідно об'єднати ці сенсори та використовувати їх дані для побудови карт, локалізації та планування маршруту.

Автономне планування маршруту включає послідовність рішень, які приймає безпілотний літальний апарат для досягнення цілей польоту. Ці цілі можуть включати досягнення певної точки або дослідження невідомого середовища для максимізації інформації. Планування маршруту враховує різні фактори, такі як час польоту, споживання енергії та маневреність платформи. Таким чином, розвиток автономних технологій дозволяє безпілотним літальним апаратам виконувати складні завдання в різних середовищах без участі оператора.

Якщо метою такого підходу є досягнення пункту призначення, в літературі описані як автономні, так і онлайн-алгоритми. При автономному підході орбіта попередньо спланована і вже приблизно відповідає геометричним даним про

навколишнє середовище, так що ви можете спланувати безпечний політ. У багатьох випадках тривимірне середовище дискретизується за допомогою набору вузлів, а потім політ може бути оптимізований за такими алгоритмами, як швидке дослідження випадкових дерев (RRT), RRT-зірка (rrt\*), a\*-зірка (a\*), імовірнісна Дорожня карта (PRM), і оптимізація рою частинок (PSO) для створення найкоротшого шляху без зіткнень.

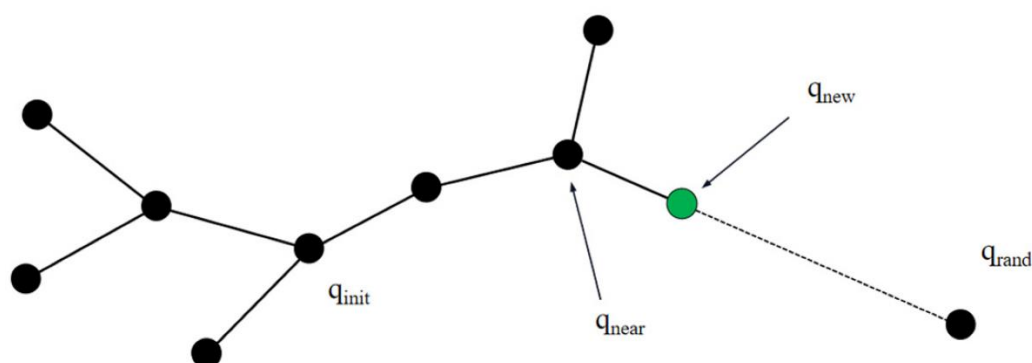


Рис.2.5 Метод пошуку оптимального шляху на основі RRT

Відповідно до реалізації, ці алгоритми можуть працювати лише в автономному режимі або оновлювати план на основі нової інформації, зібраної під час польоту. У цьому випадку наступне переміщення платформи повторно перераховується для досягнення кінцевої мети. Ці онлайн-методи враховують динамічні та частково невідомі середовища, в яких при дослідженні нових частин простору поступово створюється навколишнє тривимірне середовище на карті. Інтерференцію зазвичай можна розділити на статичну та динамічну, і багато підходів використовують об'єднання двох різних типів траєкторій (глобальної та локальної). Глобальна траєкторія польоту визначає найкращу можливу траєкторію відповідно до попередньої інформації про траєкторію, а локальний планувальник визначає траєкторію, щоб уникнути можливих динамічних перешкод.

Взаємодія між цими двома механізмами планування може варіюватися в залежності від реалізації і змінювати спосіб обходу дронами перешкод. Не маючи місця призначення, ви можете дослідити абсолютно незвідане середовище.

Загальна ідея полягає в максимальному отриманні інформації про кожен рух дрона, визначаючи наступну перспективу на кордоні між відомим і незвіданим простором. Ці методи визначення меж, як правило, призначені для створення 3D-реконструкцій, виявлення об'єктів або класифікації захоплених областей. Алгоритми, розроблені для 3D-реконструкції, часто називають неоптимальними видами, і деякі інші методи, такі як 3D-невизначеність 3D-відновлених точок і повнота згенерованої хмари точок, використовуються для максимального охоплення певної області відповідно до функцій корисності, які враховують конкретні переваги інформації, або для застосування до областей відповідно до конкретних обґрунтувань, таких як наявність в ній об'єктів, що представляють інтерес, спрямована на розширення знань з цієї теми. Хоча більшість ранніх реалізацій автономної навігації були реалізовані для дослідження закритих (внутрішніх) невідомих середовищ, зараз спостерігається зростаюча тенденція використання автономних підходів для відкритих просторів та вирішення більш різноманітних завдань.

Розробка стратегій автономного водіння в поєднанні з широким поширенням глибокого навчання призвели до появи декількох рішень (таких як стратегії запобігання зіткнень), які вплинули на розробку алгоритмів безпілотних літальних апаратів. Традиційні алгоритми SLAM часто підтримуються мережами глибокого навчання, що поєднують 3D-реконструкцію та семантичну сегментацію. Зменшуючи вплив динамічних об'єктів на сцену або використовуючи комбінацію геометричної та семантичної інформації, це покращує взаємозв'язок між сценами в 3D-середовищах. Створення високошвидкісних карт глибини з оцінкою глибини одиночних і стереозображень, а також удосконалення невеликих графічних пристроїв на борту безпілотних літальних апаратів сприяли широкому використанню цих алгоритмів для виявлення перешкод і масштабування сцен виключно на основі зображень.

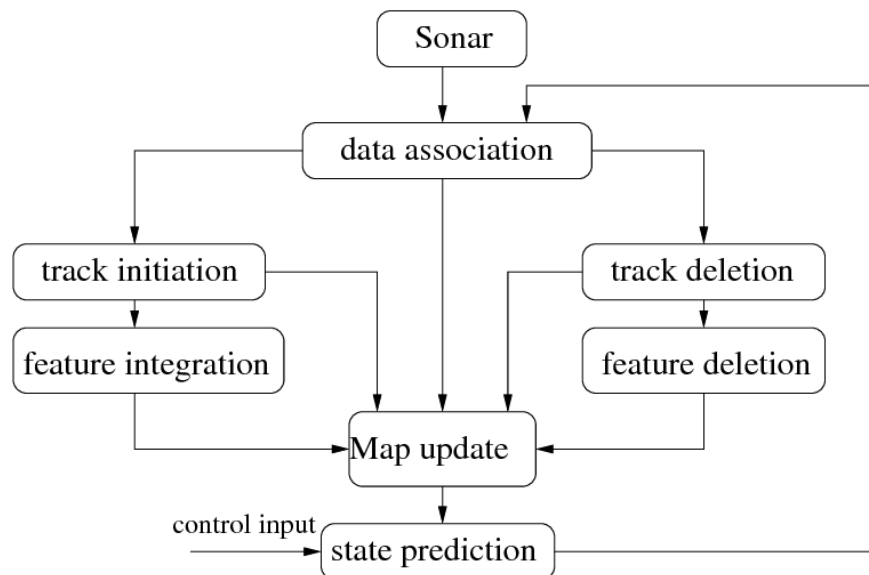


Рис.2.6 Алгоритм SLAM

З іншого боку, функція запобігання зіткненням не дозволяє отримати просту карту глибини або уникнути перешкод, а скоріше дозволяє згортковій нейронній мережі (CNN) відстежувати швидкість і напрямок руху по раніше запланованому шляху.

Мережі, навчені за допомогою спеціальних наборів даних, також показують, що вони можуть слідувати по доріжках, рейках або дорогах і динамічно об'їжджати перешкоди. Автономна навігація по певній траєкторії також може бути навчена за допомогою навчання з підкріпленням, де безпілотні літальні апарати повідомляють про дії, що вживаються в середовищі, що сприяє досягненню їх цілей, в той час як більшість підходів були розроблені для внутрішніх приміщень або для відстеження структурних особливостей, таких як дороги або річки, але не для навігації у відкритому морі. захищене оточення.

Різні фреймворки, такі як навчання підкріплення на основі модельованих або реальних наборів даних, які вивчають часову залежність послідовностей зображень (наприклад, повторювані нейронні мережі), полегшують подальше застосування цих методів у нових і складних додатках. Незважаючи на великий інтерес до всіх цих рішень, їх впровадження на ринок вимагає подальших ретельних випробувань

для оцінки та сертифікації безпеки безпілотних операцій, але більшість з них як і раніше є "дослідницькими" рішеннями.

### **2.3 Переваги використання штучного інтелекту для управління БПЛА**

Використання штучного інтелекту для управління безпілотними літальними апаратами відкриває широкі перспективи для підвищення ефективності та функціональності військових операцій. Розглянемо переваги та недоліки застосування штучного інтелекту в управлінні безпілотними літальними апаратами з метою ретельного аналізу їхнього впливу на військові операції. Розгляд цих аспектів дозволить зрозуміти, наскільки важливим є використання штучного інтелекту для оптимізації функціонування безпілотних літальних апаратів та покращення їхньої ролі у військовому контексті.

До значних переваг можна віднести підвищення автономності. Штучний інтелект може дозволити БПЛА виконувати складні завдання без постійного втручання людини. Як наслідок цього стає зменшення ризику для життя людей, оскільки БПЛА з використанням штучного інтелекту можуть виконувати небезпечні місії, такі як розвідка ворожої території або розмінування, без ризику для життя пілотів. Використання штучного інтелекту для управління відкриває широкі можливості, зокрема, підвищення автономності виконання завдань. Крім того, автономність дозволяє апаратам працювати без перерв цілодобово, що підвищує їхню ефективність та розширює можливості застосування, такі як робота в екстремальних умовах або в щільно захищених зонах.

Покращення точності та швидкості прийняття рішень є однією з ключових переваг використання штучного інтелекту у управлінні БПЛА. Штучний інтелект здатний обробляти великі обсяги даних з різних датчиків набагато швидше, ніж люди, що відкриває можливості для більш точного та швидкого виявлення та відстеження цілей. Аналіз зображень з камер, даних радарів та інших датчиків в режимі реального часу дозволяє штучний інтелект ефективно впоратися з рухомими цілями. Крім того, штучний інтелект забезпечує більш ефективне

планування та виконання польотів, беручи до уваги різні фактори, такі як погода, місцевість та ворожі сили, для оптимізації маршрутів польоту та уникнення потенційних небезпек. Врахування таких факторів допомагає уникнути помилок та аварій, що можуть виникнути внаслідок неправильних рішень.

Штучний інтелект може розширити можливості БПЛА, дозволяючи їм виконувати завдання, які раніше були неможливі або небезпечні для людей. Наприклад, вони можуть безпечно маневрувати в умовах екстремальних погодних умов, таких як сильна турбулентність чи низька видимість, завдяки можливостям штучного інтелекту. Також, штучний інтелект допомагає БПЛА уникати систем протиповітряної оборони та інших перешкод на ворожій території, дозволяючи їм виконувати розвідку або інші завдання. Крім того, за допомогою штучного інтелекту, БПЛА можуть виконувати маневри, такі як перевертання або польоти в обмеженому просторі, що можуть бути складними та небезпечними у разі виконання їх пілотом.

Впровадження штучного інтелекту може суттєво зменшити витрати на експлуатацію БПЛА, оскільки він автоматизує рутинні завдання та підвищує ефективність польотів. Це означає, що будуть знижені витрати на персонал, оскільки штучний інтелект може замінити пілотів та інший персонал, який зазвичай керує БПЛА та обробляє дані. Крім того, завдяки штучному інтелекту можливе зменшення витрат на обслуговування, оскільки він може передбачити можливі аварії та інші поломки, що призводять до значної економії коштів на обслуговування та ремонт. Навіть витрати на навчання пілотів можуть бути зменшені завдяки штучному інтелекту, оскільки система може самостійно навчатися та адаптуватися до нових ситуацій, що дозволяє зменшити потребу в дороговартісному навчанні пілотів БПЛА.

## **2.4 Технічні виклики та обмеження штучного інтелекту в управлінні БПЛА**

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) у системи управління безпілотними

літальними апаратами (БПЛА) відкриває значні можливості для покращення ефективності та автономності. Однак, разом із перевагами, використання ШІ також ставить перед інженерами та розробниками ряд технічних викликів та обмежень, які потребують уваги та рішень.

#### **2.4.1 Обмеження обчислювальних ресурсів**

Однією з найбільших перешкод у розгортанні штучного інтелекту (ШІ) в системах управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) є обмежена обчислювальна потужність, доступна на борту цих апаратів. ШІ, особливо в його більш передових формах, як-от глибоке навчання та обробка зображень, вимагає інтенсивних обчислень, що можуть перевищувати можливості бортових обчислювальних систем, особливо в контексті мініатюризації та необхідності підтримання низької ваги та високої енергоефективності БПЛА.

Цей виклик має кілька аспектів, кожен з яких вимагає уваги при проектуванні систем. По-перше, важливо розробляти та впроваджувати більш ефективні алгоритми ШІ, які можуть виконувати необхідні задачі з меншими обчислювальними вимогами. Це може включати спрощення моделей машинного навчання, використання методів зниження розмірності даних або розробку алгоритмів, які краще адаптовані до паралельної обробки на обмежених обчислювальних платформах.

По-друге, потрібно оптимізувати самі обчислювальні системи. Це може означати інтеграцію більш потужних, але при цьому енергоефективних процесорів, спеціалізованих обчислювальних модулів (наприклад, FPGA або ASIC), які можуть ефективніше обробляти специфічні для ШІ завдання. Також важливо розглядати можливість використання обчислень на основі хмарних технологій або на землі, що може знизити навантаження на бортові системи.

#### **2.4.2 Забезпечення надійності та безпеки**



Забезпечення надійності та безпеки польотів при використанні штучного інтелекту (ШІ) в безпілотних літальних апаратах (БПЛА) стає значним викликом, особливо у світлі зростаючої складності та автономності цих систем. Помилки в алгоритмах ШІ, некоректні дані від датчиків, а також непередбачені зовнішні впливи можуть спричинити несподівану або небажану поведінку БПЛА, що у критичних ситуаціях може становити серйозну загрозу для безпеки.

Одним із основних аспектів у забезпеченні надійності є розробка та впровадження передових методів для раннього виявлення помилок в роботі алгоритмів ШІ. Це може включати використання систем моніторингу, які аналізують поведінку БПЛА в реальному часі, виявляють аномалії чи відхилення від очікуваних параметрів польоту та негайно повідомляють операторів. Додатково, імплементація алгоритмів машинного навчання, здатних адаптуватися і коригувати власну поведінку на основі отриманих даних, може значно знизити ризик непередбачуваних подій.

Іншим ключовим елементом є розробка методів корекції помилок, які активуються, коли система ШІ виявляє потенційну некоректну дію або команду. Ці методи мають включати автоматичні механізми відновлення, такі як алгоритми "fail-safe", що можуть перевести БПЛА у безпечний режим або забезпечити контрольоване повернення до місця вилету.

Також важливим є забезпечення високого рівня стійкості до збоїв, що може бути досягнуто шляхом розробки розподілених систем, де критичні компоненти подвоюються, і в разі відмови одного, інший може перебрати його функції. Це зменшує залежність від одного вузлового компонента та підвищує загальну надійність системи.

Всі ці заходи мають бути інтегровані в комплексний підхід до проектування та експлуатації БПЛА, що включає ретельне тестування, регулярне оновлення програмного забезпечення та систематичне навчання операторів. Забезпечення надійності та безпеки польотів є критично важливим для подальшого розвитку та широкомасштабного впровадження БПЛА в цивільних та військових цілях.

### 2.4.3 Інтеграція з іншими системами

Інтеграція штучного інтелекту з іншими бортовими системами безпілотних літальних апаратів, включаючи навігаційні та управлінські системи, є однією з найскладніших технічних задач в сучасній авіаційній технології. Цей процес вимагає високої точності синхронізації та взаємодії між різними системами, що критично важливо для забезпечення безпечних та ефективних польотів.

ШІ має здатність аналізувати великі обсяги даних, приймати рішення та управляти відповідними системами на БПЛА. Ці системи можуть включати, наприклад, автопілот, системи стабілізації, навігаційні системи, які використовують GPS або інші технології для точного визначення місцезнаходження, а також системи управління зброєю на військових БПЛА. Забезпечення їхньої взаємодії та координації є суттєвим для здійснення складних місій та адаптації до змін умов середовища або оперативних завдань.

Точне синхронізування між ШІ та цими системами вимагає детально розроблених інтерфейсів і протоколів комунікації. Кожен аспект системи, від збору даних датчиками до виконання команд актуаторами, має бути інтегрований таким чином, щоб дані передавались і оброблялись миттєво та без збоїв. Збої в цих процесах можуть призвести до неправильного аналізу ситуації, затримок у відповідях або навіть до втрати контролю над апаратом, що в критичних ситуаціях може мати фатальні наслідки.

Однією з важливих аспектів інтеграції є впровадження систем "fail-safe" і "fail-operational", які забезпечують безпеку польоту навіть у випадку часткових збоїв. Це означає, що система має здатність підтримувати мінімально необхідні оперативні функції або безпечно завершувати місію, навіть якщо деякі компоненти або системи вийшли з ладу.

Враховуючи високу складність та потенційні ризики, процес інтеграції ШІ у системи БПЛА вимагає ретельного проектування, тестування та постійного моніторингу. Це включає ітеративні цикли розробки, де кожен елемент системи перевіряється на предмет взаємодії та надійності, забезпечуючи, що весь комплекс

систем функціонує як єдине ціле. Такий підхід допомагає мінімізувати ризики та забезпечує високий рівень готовності БПЛА до виконання місій у реальних умовах.

## **2.5 Аналіз реальних сценаріїв використання штучного інтелекту в БПЛА**

У конфлікті у Нагірному Карабасі (2020 рік) безпілотники відіграли визначну роль, перетворившись на ключовий елемент військових операцій між Азербайджаном та Вірменією. Застосування безпілотників забезпечило значний перевагу стороні, яка мала доступ до цієї технології.

У цьому конфлікті безпілотники використовувалися для розвідки ворожих позицій та збору розвідувальної інформації. Штучний інтелект, вбудований у ці безпілотники, допомагав аналізувати великі обсяги даних, отриманих від сенсорів, радарів та інших джерел, що забезпечувало точність і швидкість збору та обробки інформації. Це дозволяло визначати місця розташування ворожих військ та стратегічних об'єктів з високою точністю.

Крім того, безпілотники використовувалися для проведення атак на стратегічні цілі. Завдяки штучному інтелекту, вони могли самостійно визначати оптимальні маршрути та точки удару, мінімізуючи витрати та максимізуючи ефективність удару. Це дозволило знищити ворожі об'єкти з точністю, недосяжною для традиційних методів атаки.

Загалом, застосування безпілотників у конфлікті у Нагірному Карабасі змінило стратегічну динаміку війни, надаючи перевагу тій стороні, яка ефективно використовувала цю технологію. Штучний інтелект виявився ключовим фактором у забезпеченні успішних військових операцій та здобутті стратегічних перемог.

У війні в Сирії безпілотники стали невід'ємною складовою стратегії ведення бойових дій. Вони використовуються як для розвідки, так і для проведення ударів на терористичні цілі, забезпечуючи ефективний та мінімальний ризик для власних військ спосіб ведення війни.

Штучний інтелект, вбудований у безпілотники, є ключовим елементом їх

функціональності. Він допомагає аналізувати великі обсяги розвідувальної інформації та швидко приймати рішення про виконання атак. Наприклад, безпілотники можуть автоматично визначати стратегічні цілі на основі аналізу накопичених даних про розташування ворожих військ та інфраструктури. Це дозволяє знижувати час на планування атак та мінімізувати ризики для власних військ.

Крім того, безпілотники забезпечують можливість ведення ударів з великою точністю, що дозволяє мінімізувати цивільні жертви та матеріальні збитки. Їхні точні удари спроможні наносити удари лише на ворожі військові цілі, уникаючи підозрілих об'єктів, таким чином, зменшуючи ймовірність негативних наслідків для мирного населення.

Отже, роль безпілотників у війні в Сирії полягає в їхній здатності здійснювати розвідку та проводити точні удари на терористичні цілі з мінімальним ризиком для власних військ та цивільного населення. Штучний інтелект, вбудований у ці безпілотники, робить це можливим, допомагаючи аналізувати та обробляти великі обсяги даних та приймати ефективні рішення в реальному часі.

У боротьбі проти повстанців у Ємені, ударні дрони стали важливим інструментом для коаліції під керівництвом Саудівської Аравії. Вони використовуються для нанесення ударів на ворожі цілі з великою точністю та ефективністю. Завдяки вбудованому штучному інтелекту, ці безпілотники можуть самостійно виявляти та аналізувати цілі на місцевості, шукати слабкі місця в обороні противника та наносити точні удари.

Єменський конфлікт, що триває вже багато років, характеризується великою комплексністю та розпливчатістю фронтів. У таких умовах, ударні дрони виявилися ефективним засобом для забезпечення точних та швидких ударів на ключові об'єкти противника.

Штучний інтелект вбудований у ці безпілотники допомагає автоматизувати процес пошуку та визначення цілей. Вони можуть аналізувати дані з сенсорів, радарів та інших джерел, що дозволяє їм визначати розташування ворожих об'єктів та слабкі місця в їх обороні. Це забезпечує можливість проведення точних

ударів з мінімальним ризиком для власних військ.

Однією з ключових переваг використання ударних дронів є їхня можливість оперативно реагувати на змінюючуся ситуацію на полі бою. Вони можуть бути швидко розгорнуті та використані для атаки на ворожі цілі, що дозволяє здійснювати удари в реальному часі та реагувати на негативні зміни на передовій.

Таким чином, ефективність ударних дронів у Ємені демонструє важливість використання високотехнологічних засобів для успішного ведення війни в сучасних конфліктах. Їхня здатність здійснювати точні удари та реагувати на змінні обставини робить їх невід'ємною складовою стратегії бойових дій у складних умовах військових конфліктів.

Ці приклади ілюструють перспективу, яку відкриває штучний інтелект для підвищення ефективності безпілотних літальних апаратів у веденні війни. Інтеграція штучного інтелекту дозволяє безпілотникам виконувати різноманітні завдання - від збору розвідувальної інформації до виконання атак та захисту - з меншою кількістю людського втручання.

Завдяки штучному інтелекту, безпілотники можуть аналізувати великі обсяги даних, швидко розпізнавати шаблони та виявляти стратегічні цілі в реальному часі. Це дозволяє їм оперативно реагувати на зміни на полі бою та приймати рішення швидше та ефективніше, ніж людські оператори.

## **3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БПЛА НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

### **3.1 Обґрунтування вибору алгоритму навчання штучного інтелекту**

Для управління БПЛА найбільш підходить алгоритм з глибоким підкріпленням навчанням (deep reinforcement learning, DRL) з кількох причин, що відображають його унікальні здібності в адаптації до складних і змінних середовищ, які типові для військових дій та інших викликів.

Глибоке підкріплювальне навчання дозволяє БПЛА навчатися на основі власного досвіду, замість того, щоб бути обмеженим попередньо програмованими інструкціями. Це означає, що БПЛА може адаптуватися та оптимізувати свою поведінку в реальному часі, враховуючи непередбачувані зміни в оточенні, що є критично важливим в динамічних військових сценаріях. БПЛА з ГПН більш адаптивні, що дає їм можливість навчатися на власному досвіді та адаптуватися до змін в оточенні, таких як нова місцевість, ворожі сили або погодні умови.

Системи на базі штучного інтелекту, підтримувані алгоритмами ГПН, обробляють динамічні зміни навколишнього середовища і реагують на них зі швидкістю і точністю, які непорівнянні з управлінням невідготовленої людини. Цей аспект важливий при вирішенні таких завдань, як перехоплення і нейтралізація ворожих цілей з дуже коротким часом для ефективного реагування.

### **3.2 Штучний інтелект з глибоким підкріпленням навчанням для керування БПЛА**

Розробка автономних безпілотних літальних апаратів представляє собою значну віху в історії повітряної робототехніки. В сучасному світі важливість збільшення автономності об'єктів у тривимірному просторі набуває особливої актуальності в зв'язку зі складнішими завданнями, які перед ними ставляться, особливо у небезпечних або недоступних для людей умовах.

Важливим елементом підвищення автономності безпілотних літальних апаратів є інтеграція штучного інтелекту, з особливим наголосом на глибоке підсилений навчання (ГПН). Ця інтеграція свідчить про перехід від ручного керування до розумної автоматизації, що розв'язує кілька ключових проблем, характерних для ручної експлуатації БПЛА.

Однією з головних переваг використання штучного інтелекту в системах управління БПЛА є значне скорочення часу очікування. При ручному керуванні зв'язок між вхідною командою пілота та реакцією БПЛА може мати вирішальне значення, особливо в критичних ситуаціях, де кожна мікросекунда важлива. Системи на основі штучного інтелекту, підтримані алгоритмами глибокого підсиленого навчання, адаптовані швидко і з високою точністю обробляти динамічні зміни навколишнього середовища та реагувати на них, що неможливо досягти при звичайному людському керуванні. Цей аспект має критичне значення при виконанні завдань, таких як перехоплення та нейтралізація ворожих об'єктів, де важливий час реакції.

За допомогою глибокого підсиленого навчання, Безпілотні літальні апарати можуть навчатися взаємодіяти з навколишнім середовищем, адаптуючи свої стратегії управління для досягнення максимальної ефективності без прямого людського контролю.

### **3.2.1 Автономна навігація БПЛА у середовищі без GPS**

Розробка цієї технології вченими спрямована на підвищення автономності дронів в приміщеннях, де зв'язок з GPS слабка або відсутня зовсім. Архітектура являє собою набір згорткових нейронних мереж з поліпшеним навчанням (Рисунок 3.7, Рисунок 3.8. і Рисунок 3.9).

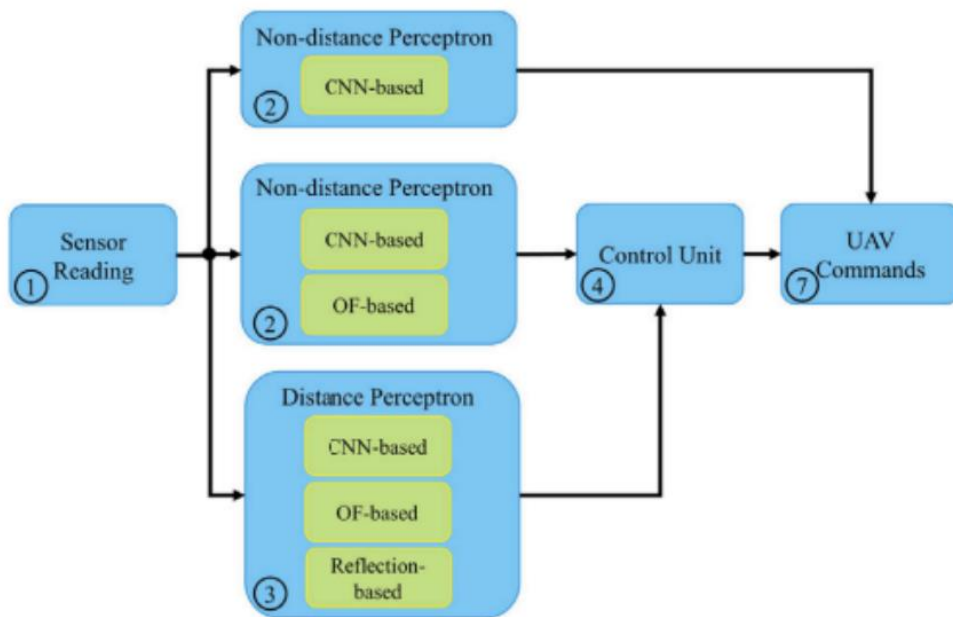


Рис.3.7 Архітектура навігації безпілотних літальних апаратів без мапи

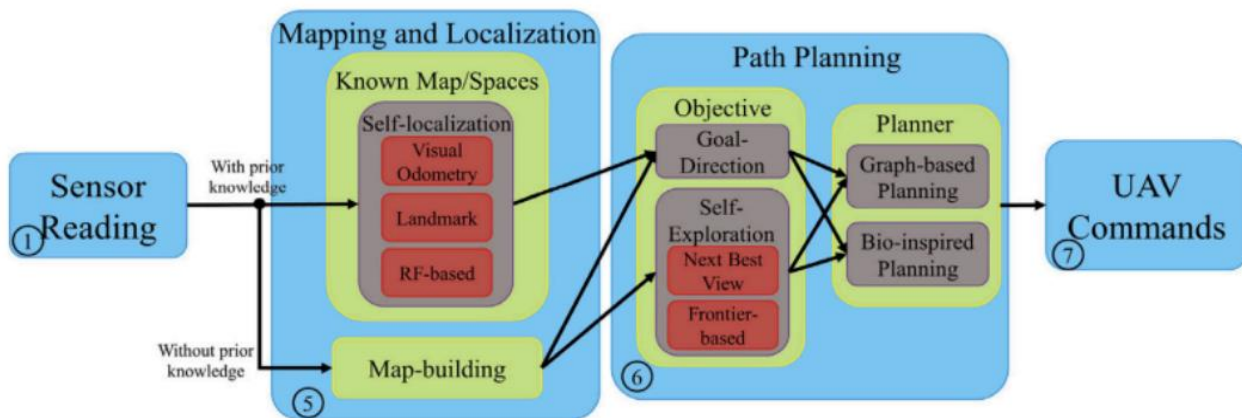


Рис.3.8 Архітектура навігації безпілотних літальних апаратів з мапою



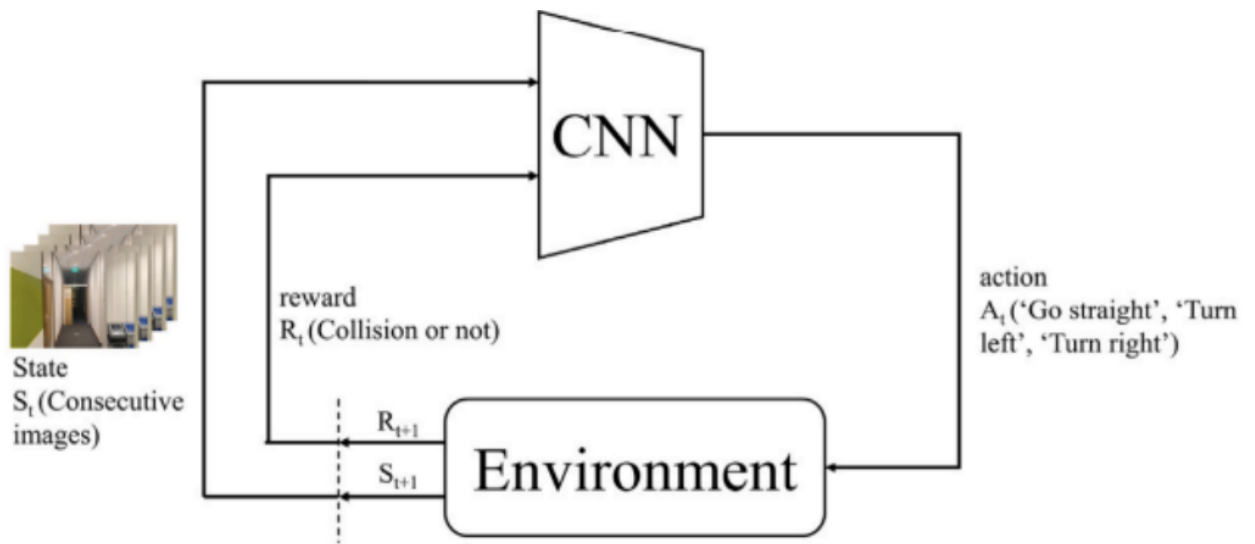


Рис.3.9 Архітектура розширеного навчання згорткових мереж

Система, запропонована І. Чангом дозволяє керувати безпілотником як без мапи, так і за допомогою мапи. Згідно з висновком, при використанні ШІ без мапи не задається ні початок, ні кінець маршруту, тому рано чи пізно безпілотник зіткнеться з перешкодами, тому в разі, описаному в роботі, управління за допомогою карти є оптимальним.

### 3.2.2 Використання штучного інтелекту для навігації безпілотних літальних апаратів

Метод оптимізації роєм часток (ОРЧ) демонструє великий потенціал в автономній навігації, особливо в тривимірному театрі безпілотних літальних апаратів. Базова парадигма ройового інтелекту ОРЧ забезпечує міцну основу для навігації в складних середовищах шляхом моделювання колективної поведінки, що спостерігається в природних системах. У випадку безпілотників кожен безпілотник можна розглядати як автономний агент або "частинку", яка ітеративно коригує свою траєкторію на основі загальної навігаційної інформації, оптимізуючи як індивідуальні, так і колективні траєкторії польоту до конкретних цілей.

Використання ОРЧ в безпілотних літальних апаратах виходить за рамки простого визначення траєкторії і було адаптовано і вдосконалено для обліку

динамічних змінних, характерних для реальних сценаріїв. Такі модифікації, як модифікований ОРЧ (МОРЧ) і дискретний ОРЧ (ДОРЧ), були введені для вирішення конкретних завдань, таких як об'їзд перешкод і обчислювальна складність планування траєкторії в повітряному просторі. Ці зміни являють собою еволюцію порівняно зі стандартними ОРЧ, включаючи механізми, які використовують фактори помилок для перетворення непрактичних орбіт у маневри, що виконуються, забезпечуючи тим самим безпеку та ефективність навігації. Ефективність МОРЧ полягає в її здатності змінювати напрямок польоту безпілотних літальних апаратів при виявленні потенційних зіткнень і динамічно коригувати траєкторії польоту для підтримки безперервності місії, в той час як ДОРЧ застосовує принцип ОРЧ в контексті оптимізації дискретного простору, перетворюючи безперервний пошук в просторі в проблему, аналогічну задачі патрулює комівозера (ЗК), і використання усталених методів оптимізації для створення шляху.

Узагальнені результати цих досліджень, в особливо покращеній формі, показують, що ОРЧ є дуже ефективною стратегією для підвищення автономності об'єктів у тривимірному просторі. Його адаптивність до нюансів навігації безпілотних літальних апаратів і здатність вирішувати обчислювальні завдання в режимі реального часу роблять його потужним інструментом для сценаріїв, що вимагають високий рівень автономності і точності. Розробка цих методів демонструє потенціал ОРЧ для значного підвищення продуктивності системи, особливо в додатках, де автономне перехоплення та нейтралізація повітряних загроз є критичним.

Використання оптимізації мурашиними колоніями (ОМК) для підвищення автономності об'єктів у тривимірному просторі, зокрема для безпілотних літальних апаратів, представляє значний крок у розв'язанні складних завдань навігації та досягнення цілей. Цей алгоритм, що інспірований біологічними процесами здобування їжі мурахами, було успішно адаптовано для підвищення швидкості дії дронів та збільшення тактичних можливостей у вирішенні ситуацій з повітряними загрозами.

Стратегічне впровадження ОМК в системи безпілотних літальних апаратів сприяє створенню динамічних і надійних навігаційних структур, що імітують децентралізований інтелект мурашиних колоній. Завдяки вибору і вдосконаленню маршруту, залежного від феромонів, безпілотник володіє спільними стратегіями, які дозволяють поступово покращувати траєкторію польоту, уникати перешкод і в той же час точно вражати цілі. Імовірнісний, але структурований характер огляду, специфічного для Ком, забезпечує всебічний пошук у повітряному просторі, що призводить до швидкого виявлення та перехоплення ворожих безпілотних літальних апаратів.

Адаптації, подібні до багатьох колоніальних та подвійних колоніальних ОМК, відіграли ключову роль у подоланні ранньої конвергенції, але це загальне обмеження, коли локальна оптимізація та процеси пошуку застоюються. Розширена ітерація також полегшує комунікацію та співпрацю між колоніями, урізноманітнює схеми пошуку та підвищує якість рішень. Інтеграція генетичних алгоритмів (ГА) та ОМК ще більше вдосконалила механізм дії феромонів та еволюційний аспект оптимізації маршрутів.

Синтез ОМК зі штучним потенційним полем (ШПП) був запропонований Джином та співавторами. Продемонстровано гнучкість методу і його здатність до синергетичного поліпшення. Використовуючи силу відштовхування ШПП для обходу перешкод і його тяжіння для захоплення цілей, отриманий алгоритм потенційного поля ОМК (ПФОМК) не тільки усуває ризик передчасного зближення, але і забезпечує баланс між швидким пошуком траєкторії і запобіганням зіткнень. Фактично, застосування ОМК до безпілотних літальних апаратів демонструє значний прогрес у пошуку повністю автономних безпілотних літальних апаратів, здатних нейтралізувати повітряні загрози. (Рисунок 3.10) ітеративний характер алгоритму, поряд зі стратегічними вдосконаленнями, виявився ефективним у різних сценаріях моделювання. Виникаюча поведінка, що виникає внаслідок досягнення складних цілей окремими безпілотниками за простими правилами, відповідає глобальній меті підвищення автономності в

тривимірному просторі і є дуже перспективним напрямком для подальших досліджень та практичного застосування.

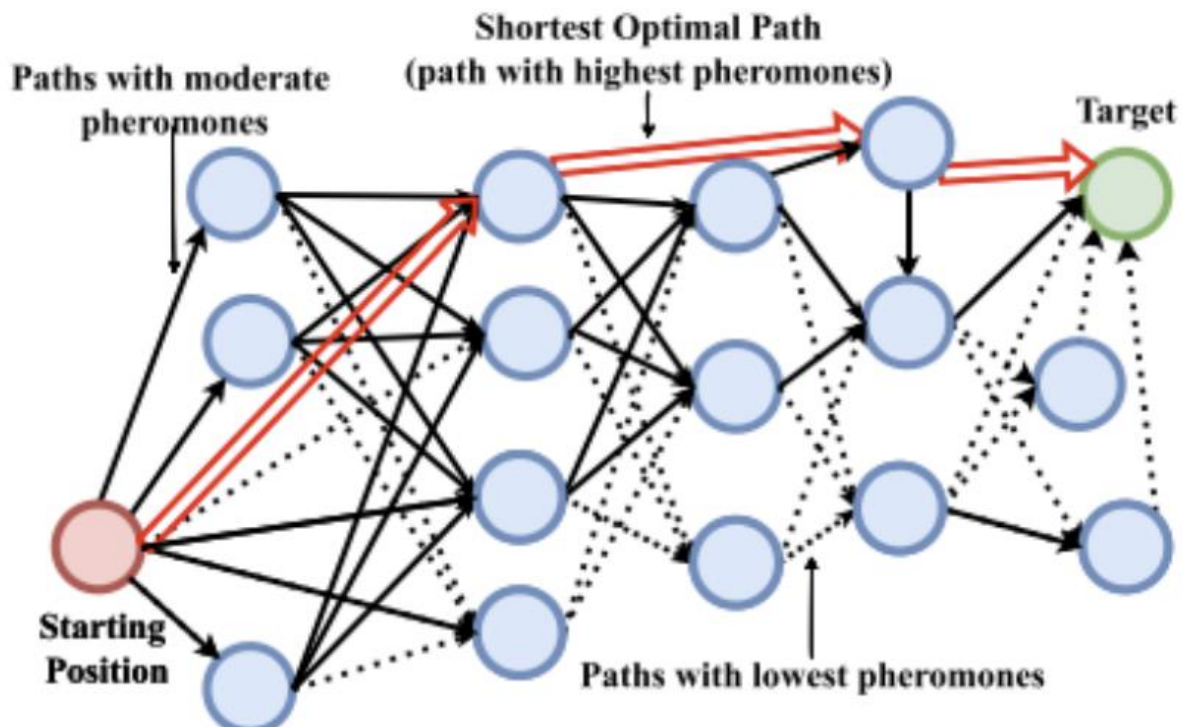


Рис.3.10. Схематичне зображення оптимізації мурашиними колоніями

Генетичні алгоритми (ГА) є ефективним способом підвищення автономності безпілотних літальних апаратів у складних 3D-середовищах. Стохастичний характер оптимізації дозволяє знайти ефективну траєкторію польоту шляхом моделювання еволюційного процесу. ГА кодує траєкторії в хромосомоподібні структури і ітеративно покращує потенційні рішення, використовуючи генетичні операції, такі як схрещування, мутація та відбір. Ці операції сприяють пошуку простору рішень і використанню високоадаптивних рішень з метою знаходження траєкторій, які мінімізують зумовлені адаптивні функції. Адаптивні функції зазвичай враховують ефективність траєкторії, відповідність динаміці БПЛА та обмеженням навколишнього середовища, щоб гарантувати, що ефективна траєкторія не тільки коротка, але й відповідає можливостям польоту та захищена від перешкод.

Сила ГА полягає в адаптивності та різноманітності пошуку населення для забезпечення стабільності локальних оптимізацій-важливого атрибута в складних багатовимірних просторах (Рисунок. 3.11). У літературі представлені вдосконалення стандарту ГА шляхом введення елементів ієрархічного, рекурсивного та хаотичного пошуку для підвищення якості рішень та прискорення конвергенції. Ця зміна також підвищує ймовірність того, що ГА зможе вирішувати складні NP завдання, такі як автономна навігація безпілотних літальних апаратів, що робить його привабливим варіантом для додатків, що вимагають швидкого і надійного планування траєкторії автономного польоту безпілотних літальних апаратів.

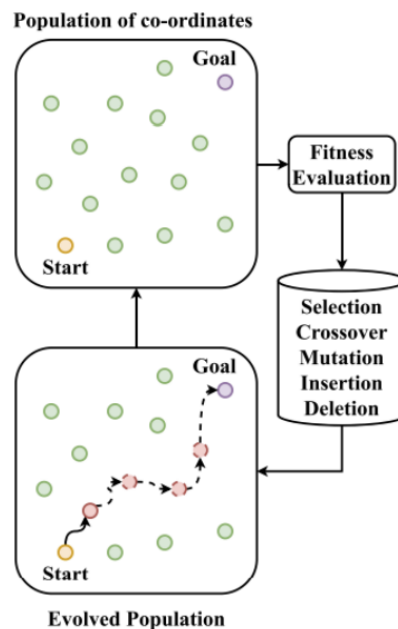


Рис. 3.11 Генетичний алгоритм для управління БПЛА

Також вивчається навчання з підкріпленням (НП), що забезпечує динамічний підхід для підвищення автономності об'єктів у тривимірному просторі, особливо в контексті технології безпілотних літальних апаратів, спрямованої на автономну нейтралізацію ворожих безпілотних літальних апаратів. У рамках НП дрони, які діють як агенти, навчаються переривати стохастичне тривимірне середовище та реагувати на нього за допомогою взаємодій, які приносять скалярну винагороду, вдосконалюючи стратегії для досягнення оптимальної поведінки. Адаптивність НП

полягає не лише у реагуванні на відомі стани, а й на раніше невідомі сценарії, що важливо для реальних додатків, де непередбачуваність є загальним явищем.

### **3.3 Розпізнавання об'єктів за допомогою штучного інтелекту в системах БПЛА**

Розпізнавання об'єктів у безпілотних літальних апаратах (БПЛА) є ключовою технологією, що дозволяє цим системам виконувати широкий спектр завдань, від розвідки до моніторингу довкілля. Цей процес включає збір та аналіз візуальних даних за допомогою сучасних технологій зору та машинного навчання.

#### **3.3.1. Збір візуальних даних**

Система розпізнавання об'єктів у безпілотних літальних апаратах (БПЛА) складається з декількох ключових компонентів, серед яких центральне місце займають інтегровані камери та різноманітні сенсори. Ці технології є фундаментом для збору та аналізу візуальної інформації, що дозволяє БПЛА виконувати завдання з високою точністю і ефективністю.

Камери, що встановлюються на БПЛА, часто мають високу роздільну здатність, що дозволяє захоплювати деталізовані зображення та відео навіть з великої висоти. Ці камери здатні працювати в широкому спектрі світлових умов від яскравого сонячного світла до сутінків, забезпечуючи якісний візуальний матеріал для подальшого аналізу. Завдяки сучасним технологіям обробки зображень, БПЛА можуть розрізняти об'єкти, навіть якщо вони знаходяться в динамічному або складному середовищі.

Інтеграція різних типів сенсорів значно розширює можливості БПЛА у сфері спостереження. Інфрачервоні камери, наприклад, використовуються для нічного бачення, дозволяючи БПЛА виконувати місії в умовах обмеженого освітлення або вночі. Тепловізори допомагають виявляти теплові відбитки від живих істот або техніки, що може бути корисним в рятувальних операціях або для військових цілей.

До того ж, спеціалізовані сенсори, здатні захоплювати ультрафіолетове чи інше невидиме для людського ока випромінювання, забезпечують можливість виявлення особливих матеріалів або хімічних речовин в атмосфері.

### **3.3.2 Обробка даних алгоритмами глибокого навчання**

Зібрані візуальні дані з безпілотних літальних апаратів (БПЛА), такі як фотографії та відеозаписи, є ключовою інформацією для багатьох аплікацій, від розвідки до екологічного моніторингу. Ці дані проходять обробку в системах, оснащених алгоритмами глибокого навчання, з метою їх аналізу та інтерпретації.

Після збору, візуальні дані перенаправляються до спеціалізованих обчислювальних систем, де вони піддаються обробці за допомогою потужних алгоритмів глибокого навчання. Конволюційні нейронні мережі (CNN), що є основою цих алгоритмів, особливо підходять для роботи з візуальними даними завдяки своїй структурі, яка імітує спосіб, у який людське око сприймає та обробляє візуальну інформацію.

CNN схожа на традиційну нейронну мережу і складається з нейронів з вагами та зміщеннями. Нейрони CNN отримують вхідні дані, обчислюють внутрішній добуток і нелінійність, а потім застосовують функцію втрат до рівня класифікації. Основна відмінність між CNN та традиційними мережами прямого зв'язку полягає в тому, що вони в основному використовуються для класифікації зображень, оскільки CNN краще справляється з двовимірними вхідними даними. CNN зазвичай починається зі згорткового шару, який бере вхідне зображення і розбиває його на різні карти об'єктів, такі як ребра, лінії та криві.

Шар в CNN складається з тривимірних об'ємів нейронів, як показано на рисунку 3.12 (ширина, висота і глибина, а слово глибина відноситься до того, що називається «картами функцій або картами активації», а не кількістю шарів у CNN).

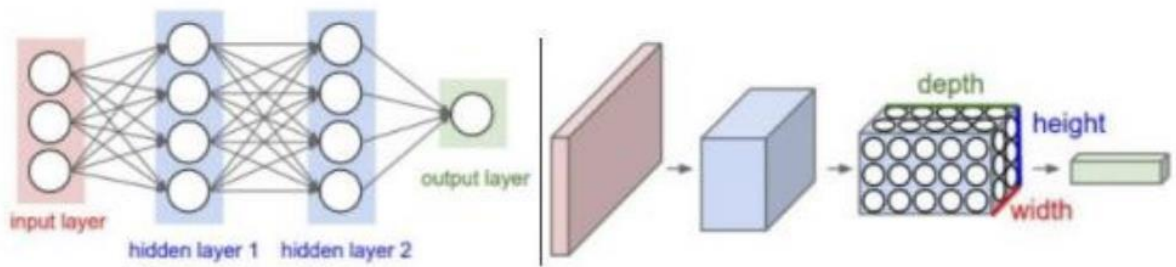


Рис.3.12 Схема моделі згорткової нейронної мережі.

Згорткові шари вважаються основними будівельними блоками CNN і містять більшість операцій моделі CNN. Згорткові шари фактично виконують математичні операції, які називаються згортковими, які включають операції тривимірного накопичувального множення (MACC). На малюнку 3.13 показано вагу ядра/фільтра (вибір значення фільтра залежить від призначеної функції, вхідне зображення має бути розділене в 2 рази), помножене на набір вхідних даних (область прийому), і зважені вхідні дані підсумовуються. Щоб забезпечити запуск нейрона, зміщення, значення якого зазвичай дорівнює 1, додається до зважених вхідних даних, які були підсумовані. Функція активації, така як випрямлена лінійна одиниця виміру (ReLU), застосовується до накопиченої величини, щоб внести нелінійність і обмежити вихідний сигнал в розумних межах. Результат функції активації передається відповідним нейронам наступного рівня.

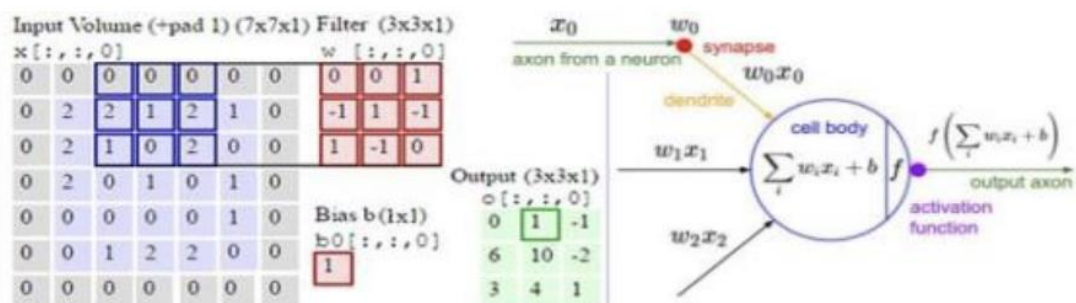


Рис.3.13 Згортковий шар

Три гіперпараметри впливають на розмір вихідних даних: глибина, крок (Stride) та нульове доповнення (Zero-padding). Крок визначає, наскільки далеко фільтр зсувається під час згортки (зазвичай застосовується значення кроку 1, коли



фільтр рухається на один піксель вправо за кожну ітерацію), а нульове доповнення контролює розмір виводу та зберігає інформацію на краях. У згорткових нейронних мережах (CNN) загальна кількість параметрів (ваги та зсуви) зазвичай менша, ніж у звичайних мережах з повним зв'язком, оскільки не всі нейрони з'єднані між собою.

Загальна кількість параметрів зменшується завдяки застосуванню рецептивних полів (локальна зв'язність), де нейрони підключаються лише до відповідного локального поля без необхідності підключатися до всіх входів (наприклад, пікселів на зображенні чи нейронів на карті ознак).

Рецептивне поле визначається для всіх нейронів наступного шару. Наприклад, якщо є  $N$  прихованих шарів і рецептивне поле складається з  $5 \times 5 \times 3$ , то загальна кількість параметрів буде розрахована як  $(5 \times 5 \times 3 \times N) + (N \text{ зміщень})$ . На рисунку 3.14 показано вхідне зображення, згорнуте за допомогою фільтра (зеленим), що створює відповідні карти активації (синім кольором). Інша карта активації (зелена) також була створена іншим фільтром з таким же розміром, але різним значенням фільтра.

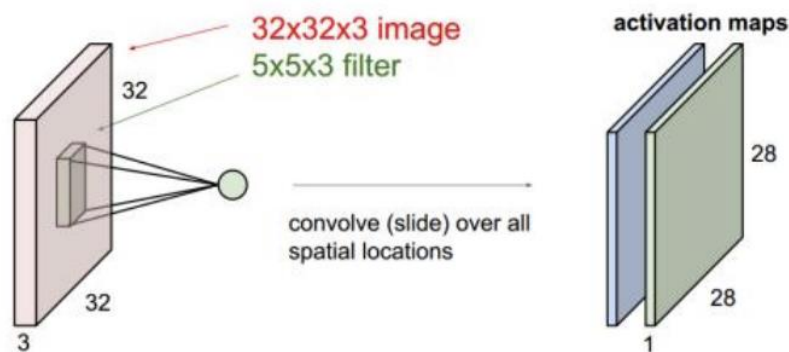


Рис.3.14 CNN 5 x 5

Процес навчання згорткових нейронних мереж (CNN) розпочинається зі створення великих наборів даних, які містять зображення, що перед тим були анотовані експертами або з використанням краудсорсингу. Кожне зображення в цих наборах має анотацію, що містить інформацію про розташування та клас об'єктів на ньому, такі як люди, транспортні засоби, будівлі або природні об'єкти.

Під час тренування CNN використовує ці анотації для того, щоб "навчитися" розпізнавати різні об'єкти під різними кутами, в різних умовах освітлення та в різноманітних середовищах. Шари мережі поступово "вчитимуться" розпізнавати все більш складні характеристики, починаючи від простих кольорових блоків і країв до більш складних патернів, які є унікальними для конкретних об'єктів.

Після завершення навчання CNN може аналізувати нові, раніше невідомі зображення. Коли таке зображення надходить на вхід мережі, вона аналізує його, використовуючи навчені фільтри для визначення та локалізації об'єктів на зображенні, що включає ідентифікацію категорії кожного об'єкта та його точне розташування.

### **3.3.3 Класифікація та локалізація об'єктів**

Після успішного виявлення об'єктів на зображенні, конволюційні нейронні мережі (CNN) переходять до наступного критично важливого етапу — класифікації та локалізації цих об'єктів. Цей процес є фундаментальним для багатьох застосувань, від автоматичного управління транспортними засобами до систем спостереження та безпеки.

CNN використовують навчені моделі для того, щоб розпізнати та класифікувати об'єкти відповідно до визначених категорій. Це можуть бути такі широкі категорії, як транспортні засоби, люди, або дерева, або більш специфічні, як автомобілі певної марки, пішоходи в різному одязі, або види рослин. Кожна категорія визначається на основі набору характеристик, які CNN вивчає під час тренувального процесу на позначених даних. Ці характеристики включають колір, форму, текстуру та інші візуальні ознаки, які допомагають мережі розрізнити одну категорію від іншої.

Одночасно з класифікацією, CNN також визначає точне розташування кожного об'єкта на зображенні. Це досягається за допомогою техніки, яка називається рамками об'єктів (bounding boxes). Рамки об'єктів - це віртуальні "коробки", які мережа накладає навколо кожного ідентифікованого об'єкта, точно

визначаючи його контури на зображенні(рисунок 3.15). Ці рамки не тільки показують, де саме на зображенні знаходиться об'єкт, але й дозволяють оцінити його розміри та орієнтацію.

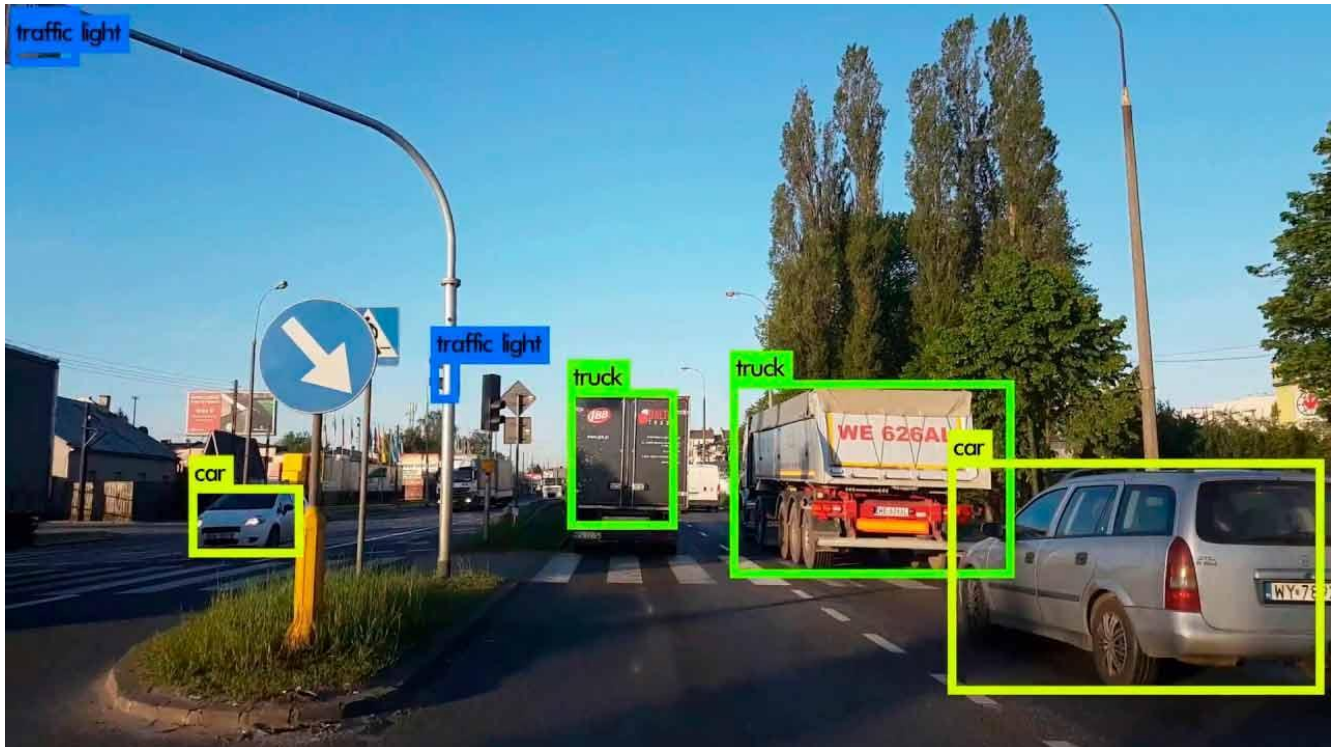


Рис.3.15 Рамки об'єктів

Точна локалізація об'єктів має вирішальне значення для багатьох практичних застосувань. У контексті навігації, наприклад, знання точного розташування об'єктів на дорозі допомагає системам безпілотних транспортних засобів уникати зіткнень. У безпекових системах, ідентифікація та локалізація можуть сприяти швидкому реагуванню на потенційні загрози, такі як невідомі особи в заборонених зонах або підозрілі предмети.

### **3.4 Адаптація ШІ до змінних умов польоту**

Адаптація штучного інтелекту до змінних умов польоту є одним із ключових аспектів для забезпечення ефективності та безпеки БПЛА під час виконання військових місій. ШІ системи можуть самостійно налаштовувати свою поведінку в

реакції на динамічні зовнішні умови, що включають погодні зміни, електронне перешкоджання, і навіть вороже протидію.

Динамічне налаштування політних параметрів за допомогою штучного інтелекту в безпілотних літальних апаратах забезпечує адаптивність та гнучкість в змінних умовах польоту. Цей процес передбачає використання складних алгоритмів машинного навчання, які здатні аналізувати великі обсяги даних і відповідно регулювати різні аспекти польоту. Детальний огляд цього процесу дозволяє краще зрозуміти, як ШІ може ефективно впливати на безпеку та продуктивність польотів БПЛА.

ШІ системи в БПЛА постійно збирають дані з датчиків на борту, включаючи метеорологічні датчики, датчики вібрації, акселерометри, гіроскопи та інші, які надають інформацію про поточні умови польоту. Ці дані можуть включати швидкість вітру, вологість, температуру, тиск, а також фізичні параметри руху літального апарата.

Зібрані дані аналізуються в реальному часі для виявлення будь-яких змін умов, які можуть вплинути на польотні характеристики БПЛА. Алгоритми машинного навчання, такі як нейронні мережі, використовуються для виявлення шаблонів та прогнозування потенційних проблем на основі історичних та поточних даних.

На основі аналізу, ШІ система автоматично регулює критичні параметри польоту, такі як швидкість, висота та маневреність. Наприклад, у вітряну погоду ШІ може знизити швидкість або змінити курс для забезпечення стабільності. У разі сильного дощу або туману система може збільшити висоту польоту для уникнення перешкод або скоригувати маршрут для обходу особливо проблемних зон.

Не менш важливим є адаптивність штучного інтелекту до ворожої протидії. Ця здатність ШІ дозволяє БПЛА ефективно реагувати на непередбачувані загрози, мінімізувати ризики та підтримувати успішне виконання місій навіть у високонапружених бойових умовах.

Для ефективного використання ШІ, система має інтегрувати та аналізувати дані з різноманітних джерел, таких як радари, сенсори, супутникові знімки та

розвідувальні доповіді. Це дозволяє отримати комплексне уявлення про поточні та потенційні маневри ворога.

Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє ШІ ідентифікувати та класифікувати військові дії, прогнозувати можливі рухи ворога та аналізувати аномалії, що можуть вказувати на нові тактичні зміни. Це знання є надзвичайно цінним для визначення відповідних відповідей і стратегічного планування.

Критичною здатністю ШІ є аналіз отриманої інформації в реальному часі для швидкого визначення та реагування на загрози. ШІ повинен вміти вирішувати, чи є надходження ракети або інше вороже діяння безпосередньою загрозою, та відповідно активувати маневри уникнення або контрзаходи. Такі маневри можуть включати зміну альтитуди, курсу або швидкості політу для мінімізації шансів влучання ворожого вогню.

У разі серйозних загроз, ШІ може бути програмований для автоматичного викликання додаткової підтримки. Це може включати в себе запит на підтримку з боку інших БПЛА або наземних військ, а також активацію систем електронного придушення або оборонних заходів для захисту літального апарату.

Адаптація штучного інтелекту (ШІ) до непередбачених ситуацій у контексті використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в військових умовах вимагає розробки здатності швидко реагувати на нові і невідомі виклики, які не були передбачені під час первісного навчання. Підкріплене навчання, як один із методів машинного навчання, відіграє ключову роль у наданні ШІ системам здатності адаптуватися через спроби та помилки, отримуючи винагороди за успішні дії та покарання за помилкові, що в кінцевому підсумку формує ефективну поведінку в змінних умовах.

Процес навчання ШІ включає аналіз великої кількості даних з датчиків на борту БПЛА, що вимірюють усе від погодних умов до фізичних параметрів літального апарату. Ці дані допомагають ШІ ідентифікувати зразки та аномалії, які можуть виникати під час польоту, і на основі цієї інформації алгоритм підлаштовує стратегію поведінки БПЛА. Наприклад, у випадку раптового урагану або підвищення рівня радіоелектронного перешкоджання ШІ може вирішити змінити

маршрут польоту або налаштувати системи комунікації, щоб зберегти функціональність і безпеку місії.

Крім того, розвиток і вдосконалення алгоритмів підкріпленого навчання дозволяє створювати сценарії симуляцій, які імітують широкий спектр потенційних умов польоту і загроз, надаючи ШІ можливість "досвідчувати" ці умови в контрольованому середовищі перед реальними місіями. Це не тільки забезпечує більшу гнучкість і пристосованість ШІ до реальних бойових умов, але й значно знижує ризик збоїв і помилок під час критичних операцій.

Однак, попри прогрес у розробці технологій, існує чимало викликів, зокрема щодо швидкості обробки даних та здатності ШІ адекватно реагувати на динамічно змінні умови безпосередньо під час польоту. Подальші дослідження та інновації у цій області є критично важливими для підвищення надійності та ефективності використання ШІ у військових БПЛА, враховуючи складність і непередбачуваність сучасного бойового середовища.

## ВИСНОВКИ

Штучний інтелект значно підвищує ефективність використання БПЛА, забезпечуючи високу точність, швидку реакцію на змінні умови та здатність до виконання складних завдань без безпосереднього людського керування. Ці технології виявилися особливо корисними у різноманітних військових сценаріях, зокрема у розвідці, спостереженні та навіть безпосередньо в бойових діях.

Застосування ШІ дозволяє системам БПЛА ефективно обробляти великі обсяги інформації, оптимізувати маршрути та тактику використання, що робить військові операції більш ефективними та безпечними. Проте, існують суттєві виклики, пов'язані з використанням ШІ, включаючи питання кібербезпеки, надійності алгоритмів у складних умовах, а також потенційні правові та етичні проблеми, пов'язані з автономністю військових дій.

Технічні інновації та постійне вдосконалення алгоритмів ШІ мають велике значення для подальшого розвитку цієї технології. Важливо зосередитися на покращенні машинного навчання, підвищенні стійкості систем до технічних збоїв та зменшенні залежності від людського втручання. Розуміння та подолання цих викликів може сприяти більш широкому впровадженню ШІ у військовій сфері, забезпечуючи значні стратегічні переваги на полі бою.

Підсумовуючи, використання штучного інтелекту у системах управління БПЛА відкриває нові можливості для військових операцій, однак вимагає уважного вивчення технічних, правових та етичних аспектів, щоб забезпечити їх ефективність і відповідність сучасним вимогам безпеки та законодавства.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Що таке згортова нейронна мережа, CNN і для чого вона використовується. [Електронний ресурс]: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/cnn.html>.
2. Що таке CNN (згорточні нейронні мережі)?. Unite.AI. [Електронний ресурс]: <https://www.unite.ai/uk/what-are-convolutional-neural-networks/>.
3. Аналіз досвіду застосування безпілотних літальних апаратів та визначення напрямку їх подальшого розвитку при веденні операцій. [Електронний ресурс]: [https://www.researchgate.net/publication/324974521\\_Analiz\\_dosvidu\\_zastosuvanna\\_bezpilotnih\\_litalnih\\_aparativ\\_ta\\_viznacenna\\_napramku\\_ih\\_podalsogo\\_rozvitku\\_pri\\_vedenni\\_merezecentricnih\\_operacij](https://www.researchgate.net/publication/324974521_Analiz_dosvidu_zastosuvanna_bezpilotnih_litalnih_aparativ_ta_viznacenna_napramku_ih_podalsogo_rozvitku_pri_vedenni_merezecentricnih_operacij).
4. Як працює ШІ?. [Електронний ресурс]: <https://itproger.com/ua/news/kak-rabotaet-ii-printsipi-raboti-sovremennogo-ai>.
5. Етика штучного інтелекту Вікіпедія. [Електронний ресурс]: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Етика\\_штучного\\_інтелекту](https://uk.wikipedia.org/wiki/Етика_штучного_інтелекту).
6. Що таке штучний інтелект: історія, види та складові. [Електронний ресурс]: <https://gigacloud.ua/blog/navchannja/scho-take-shtuchnij-intelekt-istorija-vidi-ta-skladovi>.
7. Синельников О. О., Савченко А. С. Методи та системи штучного інтелекту. 2017. 190 с.
8. Застосування штучного інтелекту – Вікіпедія. [Електронний ресурс]: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Застосування\\_штучного\\_інтелекту](https://uk.wikipedia.org/wiki/Застосування_штучного_інтелекту).
9. Штучний інтелект: основні принципи. [Електронний ресурс]: <https://brainberry.ua/uk/newsroom/blog/artificial-intelligence-fundamental-principles>.
10. Класифікація безпілотних літальних апаратів. [Електронний ресурс]: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/878899d8-b7a7-4481-af22-9835c0748ba0/content>.
11. Штучний інтелект та авіація. [Електронний ресурс]: <https://utcaviator.com/uk/iskusstvennyj-intellekt-i-aviatsiya>.
12. Штучний інтелект, лазерні системи зв'язку і робототехніка: якими будуть армії



майбутнього. [Електронний ресурс]:[https://zbroya.info/uk/blog/16438\\_shtuchnii-intelekt-lazernisistemi-zviazku-i-robototekhnika-iakimi-budut-armiyimaibutnogo/](https://zbroya.info/uk/blog/16438_shtuchnii-intelekt-lazernisistemi-zviazku-i-robototekhnika-iakimi-budut-armiyimaibutnogo/).

13. Революція штучного інтелекту та безпілотники: майбутнє та контр-рішення.

[Електронний ресурс]: <https://sentrycs.com/uk/the-counter-drone-blog/the-evolution-of-ai-in-drones-implications-and-adaptations-for-counter-drone-technology/>.

14. Згортова нейронна мережа – Вікіпедія. [Електронний ресурс]:

[https://uk.wikipedia.org/wiki/Згортова\\_нейронна\\_мережа](https://uk.wikipedia.org/wiki/Згортова_нейронна_мережа).