# МАТЕРІАЛИ ЗАНЯТТЯ (НАУКОВО-МЕТОДИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ)

**Тема 4. Заняття 9. Основи використання методів глибокого навчання для аналізу графічної інформації.**

**Питання, що вивчаються:**

1. Конволюційні методи аналізу даних.
2. Основи аналізу графічної інформації з використанням методів глибокого навчання.

**Самостійна робота:**

1. Методи аугментації набору даних.

## I. Вступ: Контекст, еволюція та роль у сучасній війні

Сучасне поле бою характеризується безпрецедентним обсягом даних, що генеруються сенсорами. Розвідувальні, спостережні та рекогносцирувальні (ISR) платформи— від комерційних супутників до тактичних БПЛА— продукують терабайти графічної інформації (IMINT) щодня.1 Цей "вибух даних" давно перевищив когнітивні та часові можливості людських аналітиків.1 Саме в цих умовах методи штучного інтелекту (ШІ), зокрема глибоке навчання (Deep Learning, DL), перетворилися з академічної концепції на критично важливий інструмент ведення війни.

Історично, здатність ШІ до аналізу зображень залишалася обмеженою до 2012 року. Цей рік став переломним, коли архітектура **AlexNet** (розроблена Алексом Крижевським та ін.) 3 здобула перемогу у змаганні ImageNet 5, продемонструвавши кардинальне зниження рівня помилок у розпізнаванні зображень (з 26% до 15%).5 Цей успіх, що став можливим завдяки використанню графічних процесорів (GPU) 6 та нових архітектурних рішень 3, започаткував "революцію глибокого навчання".

Повномасштабне вторгнення рф в Україну стало першим конфліктом високої інтенсивності, де обидві сторони активно застосовують ШІ.7 Війна в Україні розглядається міжнародними експертами як "жива лабораторія для військового ШІ" (a living lab for AI warfare).8 Глибоке навчання стало ключовим фактором у прискоренні циклу **"sensor-to-shooter"** (від сенсора до стрільця), автоматизуючи виявлення цілей 10, оцінку бойових пошкоджень (BDA) та підтримуючи прийняття рішень у системах командування та управління (C2).11

Для військового аналітика розуміння фундаментальних принципів глибокого навчання— це вже не додаткова, а базова компетенція. Вона дозволяє не лише ефективно використовувати наявні інструменти (як-от Clarity чи Avengers 12), але й коректно формулювати вимоги до нових систем, розуміти їхні обмеження та протидіяти ворожим засобам маскування і введення в оману.

## II. Основна частина: Теоретичні основи

### 1. Питання 1: Конволюційні методи аналізу даних (CNN)

#### 1.1. Сутність Конволюційної Нейронної Мережі (CNN)

Конволюційна нейронна мережа (Convolutional Neural Network, CNN або ConvNet) 5— це клас штучних нейронних мереж, архітектура яких спеціально оптимізована для роботи з даними, що мають сіткову топологію, як-от зображення (2D сітка пікселів) або відео (3D сітка).

Ключова ідея CNN полягає у **ієрархічному вивченні ознак** (hierarchical feature learning). На відміну від традиційного машинного зору, де інженер *вручну* визначав ознаки для пошуку (наприклад, "шукай прямі лінії під кутом 90 градусів" для детекції будівель), CNN *автоматично* вчиться виявляти релевантні патерни з даних.15

Цей процес ієрархічний:

* **Нижні шари** (ближчі до входу) вчаться розпізнавати прості ознаки: краї, градієнти, кольори, текстури.15
* **Середні шари** комбінують ці прості ознаки у складніші: кути, форми, частини об'єктів (наприклад, "колесо", "гармата", "трак").
* **Верхні шари** (ближчі до виходу) комбінують частини в повноцінні об'єкти (наприклад, "танк", "БМП", "вантажівка").

#### 1.2. Ключові компоненти та механізми CNN

Архітектура CNN складається з набору специфічних шарів. Розглянемо їхні функції.

##### Шар згортки (Convolution Layer)

Це фундаментальний блок CNN.15 Його завдання— виявлення локальних ознак. Він працює за допомогою **фільтра** (також "ядро" або "kernel")— невеликої матриці вагових коефіцієнтів (наприклад, $3 \times 3$ або $5 \times 5$).17

Механізм роботи 130:

1. Фільтр ковзає по вхідному зображенню з певним кроком (stride).
2. На кожній позиції він виконує по-елементне множення своїх ваг на відповідні пікселі зображення, що потрапили у його "вікно".
3. Результати множення підсумовуються в одне число.
4. Сукупність цих чисел формує нову матрицю, яка називається **картою ознак (feature map)**.15

Кожен фільтр спеціалізується на пошуку *однієї* специфічної ознаки (наприклад, вертикальної лінії). Шар згортки зазвичай має *багато* фільтрів (наприклад, 32 або 64), кожен з яких шукає свій патерн. Ваги цих фільтрів— це саме ті параметри, які мережа "вивчає" під час тренування.

##### Шар пулінгу (Pooling Layer)

Після шару згортки часто йде шар пулінгу (також "субдискретизація").18 Його головна мета— **зменшення просторової розмірності** (ширини та висоти) карт ознак.20

**Переваги:**

1. **Зменшення обчислень:** Менше даних для наступних шарів.
2. **Інваріантність до зсуву:** Дозволяє моделі бути менш чутливою до *точного* розташування ознаки. Їй важливо *чи* є ознака в певному регіоні, а не *де саме* в ньому.19

Найпоширенішим є **Max Pooling**.20 Він ділить карту ознак на непересічні вікна (наприклад, $2 \times 2$) і для кожного вікна обирає лише *максимальне* значення.

##### Функція активації (Activation Function)

Після згортки або пулінгу застосовується функція активації. Її завдання— **внести нелінійність** у модель.21 Без нелінійності вся глибока мережа з математичної точки зору згорнулася б до одного лінійного шару, нездатного вирішувати складні задачі.

ReLU (Rectified Linear Unit):

Це стандартна, найбільш поширена активація в CNN.22 Її формула надзвичайно проста: $f(x) = max(0, x)$.22

* Якщо вхід $x$ позитивний, вихід дорівнює $x$.
* Якщо вхід $x$ негативний, вихід дорівнює $0$.

Переваги ReLU 22:

1. **Обчислювальна ефективність:** Набагато швидша за сигмоїду чи $tanh$, які потребують експоненціальних обчислень.
2. **Вирішення проблеми "згасаючого градієнта":** Для позитивних значень градієнт (похідна) дорівнює 1, що дозволяє градієнтам ефективно поширюватися назад через багато шарів, уможливлюючи навчання дуже глибоких мереж.

Існує проблема "вмираючого ReLU" (Dying ReLU), коли нейрон "застрягає" на нульовому виході.23 Її вирішують варіації, наприклад, **Leaky ReLU**, з формулою $f(x) = max(0.01x, x)$.23

##### Нормалізація (Batch Normalization)

Batch Normalization (BN) 25— це техніка, що стабілізує та значно прискорює процес навчання.27 Вона стала стандартом у більшості сучасних архітектур.29

**Механізм роботи:** BN-шар нормалізує виходи попереднього шару (активації) *для кожної міні-пачки (mini-batch)* даних під час навчання.25 Він зсуває розподіл активацій так, щоб він мав середнє значення $0$ та стандартне відхилення $1$.28 Потім він застосовує два параметри, що навчаються ($\gamma$ і $\beta$), які дозволяють мережі "відкалібрувати" цей розподіл.25

Переваги 27:

1. **Вирішує "внутрішній зсув коваріат" (Internal Covariate Shift)**.26
2. **Прискорює навчання** та дозволяє використовувати вищі швидкості навчання (learning rates).
3. **Діє як регуляризатор**, зменшуючи перенавчання (іноді замінюючи Dropout).

##### Повнозв'язний шар (Fully Connected / Dense Layer)

Після того, як стек шарів згортки та пулінгу витягнув ознаки, результуюча 3D-матриця "вирівнюється" (Flatten) у довгий 1D-вектор.31 Цей вектор подається на вхід одного або кількох повнозв'язних (Dense) шарів. Це вже класичні шари нейронної мережі, де кожен нейрон з'єднаний з кожним нейроном попереднього шару. Їхнє завдання— виконати фінальну **класифікацію** на основі вивчених високо-рівневих ознак.

#### 1.3. Еволюція архітектур CNN: Від LeNet до EfficientNet

Розвиток CNN— це історія вирішення проблем, що дозволяло будувати все глибші та ефективніші мережі.

* **LeNet-5 (1998):** "Піонер". Розроблена Яном ЛеКуном для розпізнавання рукописних цифр.32 Вперше запропонувала базову структуру: CONV -> POOL -> CONV -> POOL -> FC -> FC.35 Довела життєздатність концепції.
* **AlexNet (2012):** "Революціонер". Виграла ImageNet.3 Ключові інновації 33:
  1. **Глибина:** 8 шарів (вважалося "глибокою" на той час).
  2. **Використання GPU:** Вперше довела, що GPU є ключем до навчання глибоких мереж.6
  3. **ReLU:** Перше масштабне застосування ReLU замість $tanh$.36
  4. **Data Augmentation / Dropout:** Використання технік регуляризації для боротьби з перенавчанням.36
* **VGG-16 (2014):** "Архітектор". Довела, що *глибина* та *уніфікованість* є вирішальними.37 Ключова інновація: використання *виключно малих фільтрів* ($3 \times 3$) 37, але у великій кількості та у глибоких стеках. Архітектура дуже проста, але "важка" (багато параметрів: ~138 млн).37 Досі популярна як "feature extractor".
* **ResNet (2015):** "Вирішувач проблем". Дозволила тренувати *надглибокі* мережі (100+ шарів).29 Ключова інновація: **Residual Connection (залишковий зв'язок)**.39
  + **Проблема:** Дуже глибокі мережі страждали від "деградації" (точність падала зі збільшенням глибини) та "згасаючих градієнтів".38
  + **Рішення:** "Обхідний шлях" (shortcut) 40, який додає вхід $x$ до виходу блоку $f(x)$ (отримуючи $f(x) + x$).39 Це дозволяє градієнтам протікати напряму через глибокі шари і полегшує мережі навчання *тотожної* функції (просто передавати вхід далі), якщо глибші шари не потрібні.41
* **EfficientNet (2019):** "Оптимізатор". Задав питання: як масштабувати CNN (робити їх більшими) *правильно*?.42 Ключова інновація: **Compound Scaling (Комбіноване масштабування)**.44
  + **Рішення:** Замість того, щоб довільно збільшувати *лише* глибину (як ResNet), *лише* ширину (кількість каналів) або *лише* роздільчу здатність, EfficientNet запропонувала збалансовано масштабувати *всі три* параметри одночасно за допомогою єдиного коефіцієнта $\phi$.45
  + **Результат:** SOTA-точність при значно меншій кількості параметрів та обчислень (FLOPS).47 Це *критично важливо* для військових застосувань, особливо для **Edge AI**— запуску моделей на борту БПЛА чи мобільних пристроїв з обмеженими ресурсами.48

Нижче наведено порівняльну таблицю ключових архітектур:

| **Архітектура** | **Рік** | **Ключова Інновація** | **Глибина (шари)** | **Параметри (прибл.)** | **Вплив на військову аналітику** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **LeNet-5** [32] | 1998 | Доказ концепції CNN (Conv+Pool) | 5 | 60 тис. | Історична основа |
| **AlexNet** 3 | 2012 | Використання GPU, ReLU, Dropout | 8 | 60 млн | Запуск "революції" глибокого навчання |
| **VGG-16** 37 | 2014 | Уніфіковані малі ($3 \times 3$) фільтри, велика глибина | 16 | 138 млн | Популярний "feature extractor" для передачі навчання |
| **ResNet-50** 38 | 2015 | Residual Connections (Обхідні зв'язки) | 50 | 26 млн | Дозволило тренувати *надглибокі* мережі для складних завдань |
| **EfficientNet-B0** 47 | 2019 | Compound Scaling (Комбіноване масштабування) | - | 5.3 млн | SOTA-ефективність. Ідеально для Edge AI (БПЛА) |

### 2. Питання 2: Основи аналізу графічної інформації з використанням методів глибокого навчання

#### 2.1. Вимоги до військових наборів графічних даних

Успіх будь-якої моделі глибокого навчання визначається не стільки архітектурою, скільки **якістю та обсягом даних**, на яких вона тренувалася.49 У військовій сфері дані є стратегічним активом.50

* **Розмір та Різноманітність:** Моделям потрібні величезні обсяги даних.2 Один БПЛА ВПС США може генерувати 70 терабайт даних за 14 годин.2 Однак важливіша за обсяг— **різноманітність (diversity)**. Набір даних (dataset) має включати цілі:
  + Під різними кутами та ракурсами.
  + У різний час доби (день, ніч, сутінки).
  + За різних погодних умов (сонце, хмари, дощ, туман).
  + На різноманітних фонах (ліс, поле, місто, пустеля).
  + З різними рівнями оклюзії (частково сховані, під маскувальними сітками 52).
  + З різних сенсорів (оптичні (EO), інфрачервоні (IR), радарні (SAR) 52).
* **Якість та Мітки (Labeling):** Це найскладніший та найдорожчий етап.2 Дані мають бути "очищені, трансформовані та розмічені".2 До 80% часу розробки ШІ йде саме на підготовку даних.2
  + **Мітки (анотації)** мають бути точними, послідовними та виконаними експертами (аналітиками). Недостатньо розмітити об'єкт як "танк". Потрібна детальна класифікація: "Танк Т-72Б3, башта повернута на 30 градусів, пошкоджень немає".
  + Це створює "вузьке місце" (bottleneck), оскільки вимагає тисяч годин роботи висококваліфікованих аналітиків.54
* **Безпека та Цілісність:** Військові набори даних є надзвичайно чутливими.
  + **Захист:** Дані мають зберігатися та оброблятися у захищених середовищах (напр., JWICS), відповідно до протоколів (напр., NIST SP 800-53) 55 та політик DoD щодо метаданих.56
  + **Цілісність:** Існує загроза **"отруєння даних" (Data Poisoning)**.57 Це тип атаки, коли противник цілеспрямовано вносить у тренувальний набір пошкоджені дані (наприклад, зображення БМП з міткою "цивільна вантажівка" – "label flipping"), щоб саботувати модель зсередини, змушуючи її робити критичні помилки на полі бою.57

#### 2.2. Проблема "Data Gap" та роль Синтетичних даних (SDG)

Проблема полягає в тому, що отримати достатньо *реальних* тренувальних даних для рідкісних, але критичних сценаріїв (наприклад, новітня система РЕБ противника, запуск балістичної ракети) майже неможливо.53 Це називається "data gap" (прогалина в даних).

Рішенням є **Генерація Синтетичних Даних (Synthetic Data Generation - SDG)**.2 Це процес створення фотореалістичних (або сенсорно-реалістичних) даних за допомогою 3D-симуляторів та ігрових рушіїв (напр., Unreal Engine).59

Переваги SDG для військових 59:

1. **Подолання дефіциту:** Можна згенерувати мільйони зображень рідкісних цілей.
2. **Ідеальні мітки:** Дані генеруються з *ідеальними* автоматичними мітками (bounding box, сегментація, тип цілі).60
3. **Симуляція сенсорів:** Можливість генерувати дані не лише у видимому спектрі (EO), але й в інфрачервоному (IR) та радарному (SAR), що є критичним для всепогодних систем.59
4. **Безпека:** Відсутність ризику витоку реальних секретних даних.

Армія США активно інвестує в SDG для тренування ШІ-моделей для різних сенсорів (EO, SAR, ELINT) 60, щоб зменшити залежність від збору та ручної розмітки реальних даних.53

## III. Практичний блок: Військові кейси та застосування

### 3.1. Ключові завдання військової аналітики для CNN

Глибоке навчання автоматизує та прискорює чотири ключові завдання:

1. **Класифікація супутникових знімків (GEOINT):**
   * **Завдання:** Аналіз великих ділянок супутникових або аерофотознімків 61 для виявлення змін, класифікації типів місцевості або ідентифікації об'єктів інфраструктури (напр., "військова база", "аеродром", "ППО").
   * **Сучасний підхід (2024+):** AI/ML є основою сучасної GEOINT.62 Це включає не лише CNN, але й **Vision Transformers (ViT)** та **мультимодальні моделі** (Language-Vision Models) 63, які дозволяють аналітику ставити запитання моделі *природною мовою* ("Покажи всі нові укріплення вздовж цієї лінії фронту").63
2. **Автоматичне розпізнавання цілей (ATR - Automatic Target Recognition):**
   * **Завдання:** Автоматичне виявлення, розпізнавання (напр., "танк") та ідентифікація (напр., "Т-90М") цілей.64
   * **Сенсори:** ATR застосовується до даних з оптичних (EO), тепловізійних (FLIR/IR) 52 та радарних (SAR) сенсорів.66
   * **Складність:** Висока варіативність умов, протидія (маскування, хибні цілі), погодні умови.52
   * **Моделі:** Використовуються двоетапні детектори (як **Faster R-CNN** 68) або високоефективні одноетапні (як **YOLO** та його модифікації— YOLOv8, YOLOatr).69 Дослідження 2024 року показують високу точність (F1-score > 91%) у виявленні військової техніки з БПЛА за допомогою таких моделей.69
3. **Оцінка наслідків ударів (BDA - Battle Damage Assessment):**
   * **Завдання:** Оцінка ступеня пошкодження цілі після вогневого ураження.72 Це критичний компонент циклу прийняття рішень (наприклад, для рекомендації про повторний удар).72
   * **Метод:** CNN-моделі (зокрема, сіамські мережі) тренуються на *парах* зображень: **"до"** та **"після"** удару.73 Мережа вчиться виявляти суттєві зміни (руйнування), ігноруючи несуттєві (зміна освітлення, тіні).
   * **Сучасні дослідження (2024):** Акцент на BDA за супутниковими даними надвисокої роздільчої здатності (sub-meter) 74 та всепогодних SAR-знімках.76
4. **Виявлення цілей у реальному часі (БПЛА):**
   * **Завдання:** Аналіз відеопотоку з БПЛА в реальному часі для негайної передачі цілевказання.77
   * **Виклик:** Це завдання **Edge AI**. Модель має бути: 1) **Легкою** (малою за розміром), 2) **Швидкою** (високий FPS), 3) **Енергоефективною**, щоб працювати на бортовому комп'ютері БПЛА.78
   * **Моделі:** Домінують високоефективні архітектури, як **YOLOv5** 77 та **YOLOv8** 71, які забезпечують найкращий компроміс між швидкістю та точністю для мобільних платформ.

### 3.2. Досвід війни в Україні (Case Studies)

Застосування ШІ в Україні— це не теорія, а щоденна бойова практика, що реалізується через синергію міжнародної підтримки, державних ініціатив та волонтерських проектів.

* **Міжнародна підтримка (Приклад: Palantir):**
  + Американська компанія Palantir Technologies надає Україні своє ПЗ на основі ШІ.80 CEO Алекс Карп заявив, що їхні системи відповідальні за "більшість цілевказань в Україні".80
  + Платформа аналізує та *зводить воєдино* дані з різних джерел: комерційні супутникові знімки (Maxar, Planet), відео з БПЛА, дані OSINT (соцмережі) та звіти з землі.10 ШІ пропонує командирам варіанти дій, радикально скорочуючи час на аналіз та прийняття рішень.
* **Державні інновації (Приклад: Brave1):**
  + Український оборонний кластер Brave1 став інкубатором для десятків mil-tech стартапів.82
  + **Платформа "Avengers":** Розробка Центру інновацій МОУ. Це ШІ-платформа, що автоматично аналізує відеопотоки з дронів та камер.83 Станом на вересень 2024 року, "Avengers" допомагає Силам Оборони виявляти **12,000 одиниць ворожої техніки щотижня**.13 Платформа інтегрована у єдину систему ситуаційної обізнаності **Delta**.83
  + **Програма "Clarity":** Продукт, що отримав грант від Brave1.12 Це ШІ-ПЗ, що встановлюється на ноутбук аналітика.12 Воно "розшифровує" відео та фото з БПЛА за секунди, автоматично знаходить техніку та піхоту, прив'язує цілі до координат (геотеггінг) та генерує ортофотоплани.12 За даними розробників, Clarity **економить аналітикам до 90% часу**.12 ПЗ вже використовують понад 250 операторів та аналітиків у провідних підрозділах (напр., "Ахіллес", "Неміда", "Рубіж").89
* **Системи C2 та OSINT:**
  + ШІ-детекції інтегруються у системи управління вогнем. Платформи **"Кропива"** (система C2 рівня НАТО 92) та **GIS Arta** (т.зв. "Uber для артилерії" 94) використовують дані з БПЛА (часто оброблені ШІ) для миттєвого розрахунку та передачі завдань на найближчу доступну вогневу позицію.96
  + **OSINT-аналіз:** Спільноти (напр., OSINT for Ukraine 98) та розвідки використовують ШІ для аналізу величезних масивів відкритих даних (Telegram, Twitter, супутники).99 Методи DL застосовуються для автоматичної геолокації відео 101, відстеження переміщень техніки 102 та боротьби з дезінформацією.100

### 3.3. Приклади реалізації CNN у Python (TensorFlow, PyTorch)

Для практичної реалізації CNN найчастіше використовуються два фреймворки: TensorFlow (з високо-рівневим API Keras) та PyTorch.

* Приклад 1: TensorFlow / Keras.131
  + Keras відомий своєю простотою та швидкістю прототипування. Побудова моделі нагадує складання конструктора LEGO.
  + *Фрагмент коду (з анотаціями):*

Python  
# Імпорт необхідних бібліотек  
import tensorflow as tf  
from tensorflow.keras import datasets, layers, models  
  
# Завантаження та підготовка даних CIFAR-10 [131]  
# CIFAR-10 - це стандартний набір з 60,000 зображень 32x32 у 10 класах  
(train\_images, train\_labels), (test\_images, test\_labels) = datasets.cifar10.load\_data()  
# Нормалізація пікселів з діапазону до   
train\_images, test\_images = train\_images / 255.0   
  
# Побудова моделі [131, 133, 134]  
# models.Sequential() - це лінійний стек шарів  
model = models.Sequential()  
  
# Блок 1: "Бачимо" прості ознаки  
# model.add(Conv2D(...)): Це наш Шар Згортки [135]  
# 32 - к-сть ядер (фільтрів), (3, 3) - розмір ядра, 'relu' - Функція Активації [133]  
model.add(layers.Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', input\_shape=(32, 32, 3)))  
# model.add(MaxPooling2D(...)): Це наш Шар Пулінгу [133]  
model.add(layers.MaxPooling2D((2, 2)))  
  
# Блок 2: "Бачимо" складніші ознаки (комбінації простих)  
model.add(layers.Conv2D(64, (3, 3), activation='relu'))  
model.add(layers.MaxPooling2D((2, 2)))  
model.add(layers.Conv2D(64, (3, 3), activation='relu'))  
  
# Блок 3: Класифікація (Повнозв'язні шари)  
model.add(layers.Flatten()) # Вирівнювання 3D карт ознак у 1D вектор  
model.add(layers.Dense(64, activation='relu')) # Повнозв'язний шар [136]  
model.add(layers.Dense(10)) # Вихідний шар (10 класів)  
  
# Компіляція та навчання моделі [133]  
model.compile(optimizer='adam',  
 loss=tf.keras.losses.SparseCategoricalCrossentropy(from\_logits=True),  
 metrics=['accuracy'])  
  
# Запуск процесу навчання  
model.fit(train\_images, train\_labels, epochs=10,   
 validation\_data=(test\_images, test\_labels))

* Приклад 2: PyTorch.137
  + PyTorch є більш "пітонічним" і гнучким, вимагає явного визначення класу моделі. Він домінує у дослідницькій спільноті.
  + *Фрагмент коду (з анотаціями):*

Python  
# Імпорт необхідних бібліотек  
import torch  
import torch.nn as nn  
import torch.nn.functional as F  
import torch.optim as optim  
import torchvision  
import torchvision.transforms as transforms  
  
# Завантаження та підготовка даних CIFAR-10 [137]  
transform = transforms.Compose(  
  
 transforms.Normalize((0.5, 0.5, 0.5), (0.5, 0.5, 0.5))])   
  
trainset = torchvision.datasets.CIFAR10(root='./data', train=True, download=True, transform=transform)  
trainloader = torch.utils.data.DataLoader(trainset, batch\_size=32, shuffle=True)  
  
# Побудова моделі: визначаємо клас, що успадковує nn.Module [137, 138, 141]  
class Net(nn.Module):  
 def \_\_init\_\_(self):  
 super().\_\_init\_\_()  
 # Визначення шарів в \_\_init\_\_ [138, 140]  
 # Блок 1  
 # (in\_channels, out\_channels, kernel\_size) [140]  
 self.conv1 = nn.Conv2d(3, 32, 3)   
 self.pool = nn.MaxPool2d(2, 2) # (kernel\_size, stride) [140]  
 # Блок 2  
 self.conv2 = nn.Conv2d(32, 64, 3)  
 self.conv3 = nn.Conv2d(64, 64, 3)  
 # Блок 3: Класифікація  
 # Потрібно розрахувати вхідний розмір для nn.Linear (залежить від виходу conv-шарів)  
 self.fc1 = nn.Linear(64 \* 4 \* 4, 64) # Повнозв'язний шар [138]  
 self.fc2 = nn.Linear(64, 10)  
  
 # Визначення потоку даних у функції forward() [138, 141]  
 def forward(self, x):  
 # Блок 1  
 x = self.pool(F.relu(self.conv1(x))) # Conv -> ReLU -> Pool  
 # Блок 2  
 x = self.pool(F.relu(self.conv2(x)))  
 x = F.relu(self.conv3(x)) # Розмір (N, 64, 4, 4)  
  
 # Блок 3  
 x = torch.flatten(x, 1) # Вирівнювання (Flatten)  
 x = F.relu(self.fc1(x))  
 x = self.fc2(x)  
 return x  
  
net = Net() # Створення екземпляру мережі  
  
# Визначення функції втрат та оптимізатора [137, 142]  
criterion = nn.CrossEntropyLoss()  
optimizer = optim.Adam(net.parameters(), lr=0.001)  
  
# Цикл навчання [137]  
for epoch in range(10): # 10 проходів по всьому датасету  
 for i, data in enumerate(trainloader, 0):  
 inputs, labels = data  
 optimizer.zero\_grad() # Очищення градієнтів  
 outputs = net(inputs) # Прямий прохід  
 loss = criterion(outputs, labels) # Розрахунок втрат  
 loss.backward() # Зворотний прохід (Backpropagation)  
 optimizer.step() # Оновлення ваг

## IV. Самостійна робота: Методи аугментації набору даних

### 4.1. Проблема: Перенавчання (Overfitting) та "Крихкість" (Brittleness) моделей

Однією з найбільших проблем при тренуванні глибоких нейронних мереж є **перенавчання (Overfitting)**.104

* **Що це?** Це ситуація, коли модель надто добре "запам'ятовує" 104 конкретні приклади з тренувального набору, але втрачає здатність до **узагальнення** 104 на нових, небачених даних. Модель показує 100% точності на тренуванні, але провалюється у реальних умовах.51
* **"Крихкість" (Brittleness):** Як наслідок, модель стає "крихкою". Навчена на ідеальних, чистих знімках з датасету, вона "ламається" (дає збій), коли стикається з реаліями поля бою: зображення з БПЛА розмите через рух, ціль знята в сутінках (зміна освітлення), частково прикрита деревом (оклюзія) або замаскована.51
* **Причина:** Недостатня різноманітність (diversity) тренувального набору.51

### 4.2. Рішення: Аугментація даних (Data Augmentation)

**Аугментація даних**— це набір технік для **штучного збільшення** 106 та урізноманітнення 51 тренувального набору шляхом застосування *випадкових*, але реалістичних, перетворень до існуючих зображень.104

Ключовий принцип аугментації полягає не просто у "збільшенні кількості даних". Це— **ін'єкція апріорних знань (domain knowledge) про предметну область у модель.** Ми вчимо модель, які варіації зображення є *несуттєвими* для класифікації.

* *Наприклад:* Якщо ми *випадково обертаємо* 104 зображення танка і кажемо моделі: "Це *той самий* танк", ми вчимо її **інваріантності до обертання**. Якщо ми *випадково змінюємо яскравість* 107 і кажемо: "Це *той самий* танк", ми вчимо її **інваріантності до освітлення**.

### 4.3. Класичні методи аугментації

Методи аугментації діляться на дві великі групи:

**1. Геометричні перетворення (Зміна позиції)** 108:

* **Віддзеркалення (Flipping):** RandomHorizontalFlip (випадкове горизонтальне віддзеркалення).104 Майже завжди корисне. (Вертикальне зазвичай не використовують для об'єктів на землі, але воно є припустимим для супутникових знімків, де "верх" і "низ" умовні).
* **Обертання (Rotation):** RandomRotation(20) (випадковий поворот на кут до 20 градусів).104 Критично важливо для знімків з БПЛА та супутників, де ціль може бути під будь-яким кутом відносно камери.
* **Масштабування (Scaling / Zoom) та Кадрування (Crop):** RandomCrop (випадкове кадрування).104 Імітує різну відстань до цілі.
* **Зсув (Translation / Shift):** Незначний зсув об'єкта вліво/вправо або вгору/вниз. Імітує неідеальне центрування цілі оператором.

**2. Фотометричні перетворення (Зміна пікселів)** 108:

* **Зміна кольору/яскравості (Color Jitter):** ColorJitter 104 – випадкова зміна яскравості, контрасту, насиченості.107 Це *ключовий* метод для імітації різних погодних умов та часу доби (світанок, день, сутінки).
* **Додавання шуму (Noise):** GaussianNoise.105 Робить модель стійкою до шуму сенсорів камери (особливо в умовах низької освітленості або високого ISO).
* **Розмиття (Blurring):** GaussianBlur.107 Імітує розфокусування камери або **розмиття в русі (motion blur)**— критично важливо для даних зі швидких БПЛА або при вібрації.

### 4.4. Просунуті методи (Симуляція реальних умов)

**1. Випадкове стирання (Random Erasing)** 51:

* **Принцип:** Під час тренування у випадковому місці зображення "вирізається" прямокутний блок, який заповнюється випадковим шумом або середнім значенням пікселів.
* **Військове значення:** Це змушує модель не покладатися на *одну* найпомітнішу ознаку (напр., гармату танка), а вчитися розпізнавати об'єкт за *сукупністю* всіх його ознак. Це пряма симуляція **оклюзії** (коли ціль частково закрита деревом, будівлею, або **маскувальною сіткою**).105

**2. Композиція зображень (Image Compositing)** 111:

* **Принцип:** Об'єкт (напр., танк), вирізаний з одного зображення, вставляється на різноманітні фони (напр., ліс, поле, дорога).
* **Військове значення:** Дослідження arXiv (лютий 2025) 111 щодо детекції військових літаків 112 показало, що цей, відносно простий, метод дав **кращий приріст точності** (mAP), ніж складні генеративні моделі, як Stable Diffusion XL.111 Це демонструє, що *різноманітність фону (контексту)* є надзвичайно важливим фактором для стійкості моделі.

**3. Генеративні методи (GANs / Diffusion):**

* Використання генеративно-змагальних мереж (GANs) 113 або дифузійних моделей (Stable Diffusion) 112 для генерації повністю нових, синтетичних, але реалістичних зображень цілей. Це потужний, але обчислювально дорогий підхід.

### 4.5. Практичні вправи (Концептуальні запитання для аналітиків)

Вправа 1 (Стійкість до умов):

Ваша модель CNN (навчена на датасеті YOLO) чудово розпізнає танки противника на чітких денних знімках з БПЛА, але має високий відсоток пропусків цілі (False Negatives) в сутінках та під час швидкого прольоту БПЛА над ціллю. Які два типи аугментацій ви б додали у першу чергу для донавчання моделі, щоб вирішити ці проблеми? Обґрунтуйте.

* (Очікувана відповідь: 1. **Фотометрична (Color Jitter)** 104 зі значним випадковим зниженням яскравості та контрастності 107 для симуляції умов низької освітленості (сутінків). 2. **Фотометрична (Blurring)** 107, зокрема GaussianBlur або MotionBlur 115, для симуляції розмиття, яке виникає при швидкому русі камери).

Вправа 2 (Боротьба з маскуванням):

Противник почав активно використовувати стандартні маскувальні сітки, які частково приховують техніку. Ваша модель детекції, яка звикла бачити цілі цілком, перестала їх розпізнавати (оклюзія). Який один метод аугментації ви б негайно застосували для донавчання моделі? Поясніть механізм його дії.

* (Очікувана відповідь: **Випадкове стирання (Random Erasing)**.105 Пояснення механізму: Цей метод змусить модель вчитися розпізнавати техніку не за однією домінуючою ознакою (яка може бути прихована сіткою), а за *сукупністю її часткових* ознак (напр., лише по частині башти, характерній формі гусениць чи вихлопній системі), що є саме тим, що відбувається при частковому маскуванні 105).

## V. Висновки: Стратегічне значення та перспективи розвитку

Ефективність глибокого навчання у поточній війні:

Аналіз застосування ШІ у війні рф проти України демонструє, що глибоке навчання перестало бути футуристичною концепцією і стало розгорнутою бойовою технологією.10 Ефективність доведена на практиці: ШІ-системи, як Clarity та Avengers, виконують аналіз розвідданих за секунди, на що людина-аналітик витрачала години.12 Ця автоматизація та прискорення 10 безпосередньо трансформуються у бойову ефективність, замикаючи "kill chain" через інтеграцію з C2-системами (Delta, GIS Arta) 11 з безпрецедентною швидкістю.

ШІ як компонент цифрової трансформації ЗСУ:

Впровадження ШІ є наріжним каменем ширшої цифрової трансформації Збройних Сил України.85 Це частина фундаментального переходу від пострадянської моделі до мережево-центричної (network-centric) 11, data-driven армії.50 Завдяки унікальній синергії потужного ІТ-сектору 7, державної підтримки (Brave1) 82 та безцінного досвіду реального бойового застосування 8, Україна має потенціал стати світовим лідером у сфері military-tech ШІ.118

Ключові виклики та обмеження (2024-2025):

Незважаючи на успіхи, існують системні виклики:

1. **Стратегічний:** Відсутність єдиної, затвердженої довгострокової стратегії розвитку військового ШІ.119
2. **Організаційний:** Ефективна інтеграція нових технологічних підрозділів (напр., Сили безпілотних систем) 119 у існуючі бойові структури та процеси.
3. **Технічний:** Постійний "брак якісних даних" 49 для навчання моделей на нові загрози, засоби маскування та протидії ворожому РЕБ.
4. **Етичний та правовий:** Поступовий рух до автономних систем 12 піднімає складні питання щодо збереження "людини в циклі" (Human-in-the-Loop) 102 та відповідності нових систем нормам міжнародного гуманітарного права (МГП).121

**Напрямки подальшого розвитку (Перспективи):**

1. **Мультимодальний ШІ (Multimodal AI):** Перехід від аналізу *лише* зображень до моделей, які *одночасно* аналізують зображення (IMINT), радіоперехоплення (SIGINT), текстові звіти (OSINT) 63 для створення єдиної, повної та багатошарової картини поля бою.
2. **Edge AI (ШІ "на краю"):** Подальша мініатюризація та оптимізація моделей (наслідуючи принцип EfficientNet 48) для їх роботи безпосередньо **на борту БПЛА**.78 Це усуває потребу в постійному каналі зв'язку (робить дрон стійким до РЕБ) і є необхідною умовою для створення автономних ударних систем та "роїв дронів".12
3. **Пояснюваний ШІ (Explainable AI - XAI):** Поточні CNN часто є "чорними скриньками". Для критичних рішень (цілевказання) аналітикам потрібні моделі, які можуть *пояснити*, *чому* вони ідентифікували об'єкт як Т-90 (напр., "я бачу характерну форму башти та комплекс 'Штора'"). Це підвищує довіру, прискорює верифікацію та допомагає виявляти помилки моделі.

Україна зараз веде війну *сьогоднішнього* дня за допомогою ШІ (human-centric102). Але водночас вона є "лабораторією" 8 для *завтрашньої* війни – війни автономних систем, роїв дронів та алгоритмічного протистояння.8 Підготовка військових аналітиків, здатних оперувати цими інструментами, є прямою інвестицією у технологічну перевагу та майбутню перемогу.

## VI. Джерела (Ключові, 2022–2025 рр.)

**Військова аналітика та Застосування в Україні:**

* Center for Strategic and International Studies (CSIS). (2024). *Analysis of AI in the Ukraine War*. 10
* National Defense Magazine. (2023-2024). *Ukraine: A Living Lab for AI Warfare*. 8
* Time Magazine. (2023-2024). *Palantir: The Future of Warfare in Ukraine*. 80
* Міністерство оборони України (MOD.GOV.UA). (2024). *AI detects 12,000 enemy targets weekly*. 13
* The Defender & DEV.UA. (2024-2025). *Clarity AI: Ukrainian Military Tech*. 12
* International Centre for Defence and Security (ICDS). (2024). *Russia’s War in Ukraine: Artificial Intelligence in Defence of Ukraine*. 7

**Технічні та наукові статті:**

* arXiv (Cornell University). (2024-2025). *Preprints on Deep Learning for BDA, Data Augmentation, and UAV Target Detection*. 47
* CEUR-WS.org. (2024). *Proceedings on YOLO and Faster R-CNN for UAV Military Target Recognition*. 69
* MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute). (2022-2024). *Journals on Remote Sensing, BDA, and YOLO applications*. 66

**Стратегії та Вимоги до даних:**

* U.S. Department of Defense (DoD). (2020). *DoD Data Strategy*. 50
* Center for Security and Emerging Technology (CSET), Georgetown University. (2023). *Reports on AI Data and Military Applications*. 2
* U.S. Army SBIR. (2024). *Topics on Sensor Synthetic Data Generation*. 53
* Military Systems & Technology. (2024). *Automated Synthetic Data Generation for AI Model Development*. 59

#### Джерела

1. deep learning | darpa, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.darpa.mil/sites/default/files/attachment/2025-07/darpa-vignette-deep-learning.pdf>
2. Messier than oil: Assessing data advantage in military AI - CSET, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/Messier-than-Oil-Brief-1.pdf>
3. AlexNet - Wikipedia, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/AlexNet>
4. 5 Popular CNN Architectures Clearly Explained and Visualized - Towards Data Science, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://towardsdatascience.com/5-most-well-known-cnn-architectures-visualized-af76f1f0065e/>
5. Як працює згорткова нейромережа: просте пояснення CNN - Speka, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://speka.ua/artificial-intelligence/yak-pracyuje-zgortkova-neironna-mereza-proste-poyasnennya-9er7j1>
6. The Recipe for an AI Revolution: How ImageNet, AlexNet and GPUs Changed AI Forever, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.turingpost.com/p/cvhistory6>
7. Russia's War in Ukraine: Artificial Intelligence in Defence of Ukraine, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://icds.ee/en/russias-war-in-ukraine-artificial-intelligence-in-defence-of-ukraine/>
8. Ukraine A Living Lab for AI Warfare - National Defense Magazine, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2023/3/24/ukraine-a-living-lab-for-ai-warfare>
9. (PDF) Survival of the Smartest? Defense AI in Ukraine - ResearchGate, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/382373157_Survival_of_the_Smartest_Defense_AI_in_Ukraine>
10. Technological Evolution on the Battlefield - CSIS, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.csis.org/analysis/chapter-9-technological-evolution-battlefield>
11. Does Ukraine Already Have Functional CJADC2 Technology? - CSIS, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.csis.org/analysis/does-ukraine-already-have-functional-cjadc2-technology>
12. Ukrainian Clarity AI speeds up intelligence analysis on the front line - Defender Media, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://thedefender.media/en/2025/09/clarity-ai-reconaissance/>
13. ЗСУ виявляють 12 тисяч цілей щотижня за допомогою ШІ, - Міноборони - РБК-Україна, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.rbc.ua/rus/news/zsu-viyavlyayut-12-tisyach-tsiley-shchotizhnya-1727106437.html>
14. CNN Architectures: LeNet, AlexNet, VGG, GoogLeNet, ResNet - معتز خالد سعد | Motaz Saad, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://mksaad.wordpress.com/2019/07/20/cnn-architectures-lenet-alexnet-vgg-googlenet-resnet/>
15. Convolutional Neural Networks for Dummies | by PrathamModi - Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/@prathammodi001/convolutional-neural-networks-for-dummies-a-step-by-step-cnn-tutorial-e68f464d608f>
16. Comparison of CNN's architecture GoogleNet, AlexNet, VGG-16, Lenet -5, Resnet-50 in Arabic handwriting pattern recognition, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://kinetik.umm.ac.id/index.php/kinetik/article/download/1667/124124347/124127542>
17. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://ela.kpi.ua/bitstreams/437d5f7c-b788-4f09-9c40-cb78e118e69c/download>
18. What is pooling? | CNN's #3 - YouTube, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://m.youtube.com/watch?v=KKmCnwGzSv8>
19. Pooling: Overview - Unsupervised Feature Learning and Deep Learning Tutorial, доступ отримано листопада 3, 2025, <http://deeplearning.stanford.edu/tutorial/supervised/Pooling/>
20. Довідник по Machine Learning — Pooling Layers in CNN | База знань IT - IT Wiki, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://itwiki.dev/data-science/ml-reference/ml-glossary/pooling-layers-in-cnn>
21. Функції активації: Ступінчаста, лінійна, сигмоїда, ReLU та Tanh - robot\_dreams, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://robotdreams.cc/uk/blog/327-funkciji-aktivaciji-stupinchasta-liniyna-sigmojida-relu-ta-tanh>
22. Яка формула для функції активації, такої як Rectified Linear Unit, для введення нелінійності в модель? - EITCA Academy, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://uk.eitca.org/artificial-intelligence/eitc-ai-adl-advanced-deep-learning/advanced-computer-vision/convolutional-neural-networks-for-image-recognition/what-is-the-formula-for-an-activation-function-such-as-rectified-linear-unit-to-introduce-non-linearity-into-the-model/>
23. Довідник по Machine Learning — Rectified Linear Unit (ReLU) | База знань IT - IT Wiki, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://itwiki.dev/data-science/ml-reference/ml-glossary/rectified-linear-unit-relu>
24. Нейронні мережі: функції активації | Machine Learning - Google for Developers, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/neural-networks/activation-functions?hl=uk>
25. Batch normalization - Wikipedia, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Batch_normalization>
26. Batch Normalization - Довідник по Machine Learning - IT Wiki, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://itwiki.dev/data-science/ml-reference/ml-glossary/batch-normalization>
27. What is Batch Normalization In Deep Learning? - GeeksforGeeks, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/deep-learning/what-is-batch-normalization-in-deep-learning/>
28. Introduction to Batch Normalization: Understanding the Basics - Analytics Vidhya, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/03/introduction-to-batch-normalization/>
29. 8.5. Batch Normalization — Dive into Deep Learning 1.0.3 documentation, доступ отримано листопада 3, 2025, <http://d2l.ai/chapter_convolutional-modern/batch-norm.html>
30. Batch Normalization in Neural Networks | by Yash Agrawal - Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/@yagrawal.ya/batch-normalization-in-neural-networks-5c71e02eb45b>
31. Convolutional Neural Network (CNN) Tutorial - Kaggle, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.kaggle.com/code/kanncaa1/convolutional-neural-network-cnn-tutorial>
32. The Architecture of Lenet-5 - Analytics Vidhya, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/03/the-architecture-of-lenet-5/>
33. Types of Convolutional Neural Networks: LeNet, AlexNet, VGG-16 Net, ResNet and Inception Net | by Bhavesh Singh Bisht | Analytics Vidhya | Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/analytics-vidhya/types-of-convolutional-neural-networks-lenet-alexnet-vgg-16-net-resnet-and-inception-net-759e5f197580>
34. LeNet 5 Architecture Explained. In the 1990s, Yann LeCun, Leon Bottou… | by Siddhesh Bangar | Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/@siddheshb008/lenet-5-architecture-explained-3b559cb2d52b>
35. VGG and LeNet-5 Architectures: Key Differences and Real-World Applications, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://arunangshudas.com/blog/vgg-and-lenet-5-architectures-applications/>
36. AlexNet: Revolutionizing Deep Learning in Image Classification - Viso Suite, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://viso.ai/deep-learning/alexnet/>
37. CNN Architectures: LeNet, AlexNet, VGG, GoogLeNet, ResNet and more… | by Siddharth Das | Analytics Vidhya | Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/analytics-vidhya/cnns-architectures-lenet-alexnet-vgg-googlenet-resnet-and-more-666091488df5>
38. What is the difference between using VGG or ResNet for transfer learning in CNN models?, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-using-VGG-or-ResNet-for-transfer-learning-in-CNN-models>
39. Residual neural network - Wikipedia, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Residual_neural_network>
40. 8.6. Residual Networks (ResNet) and ResNeXt - Dive into Deep Learning, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://d2l.ai/chapter_convolutional-modern/resnet.html>
41. What is Residual Connection? - Towards Data Science, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://towardsdatascience.com/what-is-residual-connection-efb07cab0d55/>
42. From LeNet to EfficientNet: The evolution of CNNs | Towards Data Science, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://towardsdatascience.com/from-lenet-to-efficientnet-the-evolution-of-cnns-3a57eb34672f/>
43. EfficientNet from Google — Optimally Scaling CNN model architectures with “compound scaling” | by Less Wright, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://lessw.medium.com/efficientnet-from-google-optimally-scaling-cnn-model-architectures-with-compound-scaling-e094d84d19d4>
44. EfficientNet. Revolutionizing Deep Learning… | by Sandaruwan Herath | Data Science and Machine Learning | Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/image-processing-with-python/efficientnet-a835427acf8b>
45. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://proceedings.mlr.press/v97/tan19a.html>
46. What is EfficientNet? The Ultimate Guide. - Roboflow Blog, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://blog.roboflow.com/what-is-efficientnet/>
47. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks - arXiv, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://arxiv.org/pdf/1905.11946>
48. EfficientNet: Boost CNN Accuracy with Less Compute - Viso Suite, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://viso.ai/deep-learning/efficientnet/>
49. The Battle with Data - Marine Corps University, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.usmcu.edu/Outreach/Marine-Corps-University-Press/Expeditions-with-MCUP-digital-journal/The-Battle-with-Data/>
50. DOD Data Strategy, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://media.defense.gov/2020/Oct/08/2002514180/-1/-1/0/DOD-DATA-STRATEGY.PDF>
51. Data Augmentation Techniques for Improved Image Classification - arXiv, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://arxiv.org/html/2502.18691v1>
52. CNN-Based Target Recognition and Identification for Infrared Imaging in Defense Systems, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6539764/>
53. Synthetic Environments for Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) in Multi-Domain Operations - DTIC, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/citations/trecms/AD1135395>
54. Overcoming the Labeled Training Data Bottleneck: A Route to Specialized AI, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://cyberdefensereview.army.mil/CDR-Content/Articles/Article-View/Article/3856012/overcoming-the-labeled-training-data-bottleneck-a-route-to-specialized-ai/>
55. Military Data Classification: Security Levels and Their Importance - Deasy Labs: Efficient Metadata Solutions for Scalable AI Workflows, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.deasylabs.com/blog/military-data-classification-security-levels-and-their-importance>
56. Department of Defense Metadata Guidance - Chief Digital and Artificial Intelligence Office, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.ai.mil/Portals/137/Documents/Resources%20Page/DoD%20Metadata%20Guidance.pdf>
57. Data Poisoning as a Covert Weapon: Securing U.S. Military Superiority in AI-Driven Warfare, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://lieber.westpoint.edu/data-poisoning-covert-weapon-securing-us-military-superiority-ai-driven-warfare/>
58. Exploring Synthetic Data for Artificial Intelligence and Autonomous Systems - UNIDIR, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://unidir.org/wp-content/uploads/2023/11/UNIDIR_Exploring_Synthetic_Data_for_Artificial_Intelligence_and_Autonomous_Systems_A_Primer.pdf>
59. How to Use Automated Synthetic Data Generation in AI Model Development for Object Detection. | Military Systems and Technology, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.militarysystems-tech.com/articles/how-use-automated-synthetic-data-generation-ai-model-development-object-detection>
60. Sensor Synthetic Data Generation - Army SBIR, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://armysbir.army.mil/topics/sensor-synthetic-data-generation/>
61. Utilization Of Geospatial Intelligence (Geoint) In The Intelligence Cycle To Support The Role Of State Intelligence In Indonesia - Security Intelligence Terrorism Journal (SITJ), доступ отримано листопада 3, 2025, <https://sitjournal.com/sitj/article/download/65/49/393>
62. GEOINT Production on the Unclassified Domain: Progression of the Tradecraft, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.lineofdeparture.army.mil/Journals/Warrant-Officer-Journal/Archive/July-September-2024/GEOINT-Production/>
63. GEOINT 2024 - Kitware Inc., доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.kitware.com/geoint-2024/>
64. Image and Video Processing in Defense and Military (2025) - Logic Fruit Technologies, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.logic-fruit.com/blog/video-processing/image-video-processing-in-defense-military/>
65. Automatic target recognition using deep convolutional neural networks - SPIE Digital Library, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10648/106480I/Automatic-target-recognition-using-deep-convolutional-neural-networks/10.1117/12.2304643.short>
66. A Lightweight Fully Convolutional Neural Network for SAR Automatic Target Recognition, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/15/3029>
67. Multiview Deep Feature Learning Network for SAR Automatic Target Recognition - MDPI, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/8/1455>
68. (PDF) ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХNEURAL NETWORKS FOR OBJECT RECOGNITION IN IMAGES COMPARATIVE ANALYSIS - ResearchGate, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/396576312_PORIVNALNIJ_ANALIZ_NEJRONNIH_MEREZ_ROZPIZNAVANNA_OB'EKTIV_NA_ZOBRAZENNAHNEURAL_NETWORKS_FOR_OBJECT_RECOGNITION_IN_IMAGES_COMPARATIVE_ANALYSIS>
69. Detection of military targets from images using deep learning models - CEUR-WS.org, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://ceur-ws.org/Vol-3963/paper2.pdf>
70. CNN-Based Target Recognition and Identification for Infrared Imaging in Defense Systems, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.semanticscholar.org/paper/CNN-Based-Target-Recognition-and-Identification-for-d%27Acremont-Fablet/4404ddf10ba3a507a1400c1bd3c8d88bef5ee5e8>
71. Real-time and Intelligent Moving Targets Tracking based on UAV Remote Sensing Video Camera and Brain-like Computing Chips, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-1-2024/235/2024/isprs-archives-XLVIII-1-2024-235-2024.pdf>
72. Methodology for Combat Assessment - Joint Chiefs of Staff, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/training/jts/cjcsi_3162_02.pdf?ver=2019-03-13-092459-350>
73. Ground Target Detection and Damage Assessment by Patrol Missiles Based on YOLO-VGGNet - MDPI, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/19/9484>
74. [2410.04802] Building Damage Assessment in Conflict Zones: A Deep Learning Approach Using Geospatial Sub-Meter Resolution Data - arXiv, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://arxiv.org/abs/2410.04802>
75. Building Damage Assessment in Conflict Zones: A Deep Learning Approach Using Geospatial Sub-Meter Resolution Data This work has received funding from the ESA “Space in Response to Humanitarian Crises” program (ESA Contract 4000142151/23/NL/EG/an). We also thank Nil Pedro Angli of ESA, Bruno Aster and Elena Lorusso - arXiv, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://arxiv.org/html/2410.04802v1>
76. Open Access Battle Damage Detection via Pixel-Wise T-Test on Sentinel-1 Imagery - arXiv, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://arxiv.org/html/2405.06323v1>
77. Real-Time Object Detection from UAV Inspection Videos by Combining YOLOv5s and DeepStream - MDPI, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/12/3862>
78. Real-Time Target Detection Method for UAV Embedded Platform, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://pure.nwpu.edu.cn/en/publications/real-time-target-detection-method-for-uav-embedded-platform/>
79. Real-Time Search and Rescue with Drones: A Deep Learning Approach for Small-Object Detection Based on YOLO - MDPI, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.mdpi.com/2504-446X/9/8/514>
80. How Tech Giants Turned Ukraine Into an AI War Lab - Time Magazine, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://time.com/6691662/ai-ukraine-war-palantir/>
81. VIEWPOINT: AI for War and Peacetime: A Ukrainian Perspective, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2024/11/1/viewpoint-ai-for-war-and-peacetime-a-ukrainian-perspective>
82. Brave1 - Wikipedia, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Brave1>
83. За допомогою ШІ українські військові щотижня виявляють 12 тисяч цілей, – Міноборони, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.ukr.net/news/details/technologies/106948009.html>
84. Ukraine's Defence Tech Ecosystem: Real-Time Coordination and AI Targeting in Action, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://digitalstate.gov.ua/news/tech/2-sekundy-i-tsil-vyiavleno-iak-pratsiuye-tsyfrova-ekosystema-zsu>
85. Українські військові виявляють 12 тисяч цілей щотижня завдяки штучному інтелекту — Катерина Черногоренко - Міністерство оборони України, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://mod.gov.ua/news/ukrayinski-vijskovi-viyavlyayut-12-tisyach-czilej-shhotizhnya-zavdyaki-shtuchnomu-intelektu-katerina-chernogorenko>
86. Українські військові виявляють 12 000 цілей щотижня завдяки ШІ-платформі Avengers, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://dev.ua/news/ukrainski-viiskovi-vyiavliaiut-12-000-tsilei-shchotyzhnia-zavdiaky-shi-platformi-avengers-1727105653>
87. Kateryna Chernohorenko: 12 000 enemy targets are detected by the Ukrainian military weekly with the help of artificial intelligence, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://mod.gov.ua/en/news/12-000-enemy-targets-are-detected-by-the-ukrainian-military-weekly>
88. Ukrainian "Clarity" AI tool detects Russian military equipment in photos and videos, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2025/09/09/7530013/>
89. Ukraine Deploys 'Clarity' AI to Spot Russian Targets in Seconds - Military AI, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://militaryai.ai/ukraine-deploys-clarity-ai/>
90. Ukraine pioneers AI tool to outpace Russia on the battlefield - Ukrainian World Congress, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.ukrainianworldcongress.org/ukraine-pioneers-ai-tool-to-outpace-russia-on-the-battlefield/>
91. Meet Clarity: Ukrainian AI to Hunt Russian Forces in Seconds, Not Hours - UNITED24 Media, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://united24media.com/latest-news/meet-clarity-ukrainian-ai-to-hunt-russian-forces-in-seconds-not-hours-11493>
92. бойова система управління тактичної ланки “кропива” - Конструкторське бюро "ЛОГІКА", доступ отримано листопада 3, 2025, <https://logika.ua/automation-systems/>
93. Крапива (программное обеспечение) - Geochronic, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://geochronic.ru/index.php?title=%D0%9A%D1%80%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D0%B2%D0%B0_(%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)>
94. GIS Arta - Wikipedia, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/GIS_Arta>
95. How Ukraine's “Uber for Artillery” is Leading the Software War Against Russia, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.newamerica.org/future-frontlines/blogs/how-ukraines-uber-for-artillery-is-leading-the-software-war-against-russia/>
96. The war in ukraine - Line of Departure - Army.mil, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.lineofdeparture.army.mil/Portals/144/PDF/Journals/Pulse-of-Army-Medicine/fight-in-ukraine.pdf>
97. "Uber For Artillery" - What is Ukraine's GIS Arta System? - The Moloch, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://themoloch.com/conflict/uber-for-artillery-what-is-ukraines-gis-arta-system/>
98. OSINT For Ukraine, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://osintforukraine.com/>
99. Integrating Earth observation IMINT with OSINT data to create added-value multisource intelligence information: A case study of the Ukraine–Russia war - Security and Defence Quarterly, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://securityanddefence.pl/Integrating-Earth-observation-IMINT-with-OSINT-data-to-create-added-value-multisource,170901,0,2.html>
100. Artificial Intelligence, OSINT and Russia's Information Landscape, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://cetas.turing.ac.uk/publications/artificial-intelligence-osint-and-russias-information-landscape>
101. integration of open-source intelligence (OSINT) with deep learning-based geolocation inference | Cyber-Defence Campus, доступ отримано листопада 3, 2025, <http://cyber-defence-campus.github.io/projects/projects_topics/topic_2023_68/>
102. Roles and Implications of AI in the Russian-Ukrainian Conflict - CNAS, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.cnas.org/publications/commentary/roles-and-implications-of-ai-in-the-russian-ukrainian-conflict>
103. OSINT – or BULLSHINT? Exploring Open-Source Intelligence tweets about the Russo-Ukrainian War - arXiv, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://arxiv.org/html/2508.03599v1>
104. Practical Guide to Data Augmentation for CNN Model Training | by Gen. Devin DL. - Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/@tubelwj/practical-guide-to-data-augmentation-for-cnn-model-training-5b7cc9baeed1>
105. A Review of Data Augmentation Methods of Remote Sensing Image Target Recognition, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/3/827>
106. Image data augmentation techniques based on deep learning: A survey - AIMS Press, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.aimspress.com/article/id/666975c9ba35de25885f12b7>
107. МЕТОД ЕКСПОНЕНЦІЙНОЇ АУГМЕНТАЦІЇ ДАНИХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ - Львівська політехніка, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2025/may/39107/maket25066219052025ves-192-205.pdf>
108. доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/lunit/photometric-data-augmentation-in-projection-radiography-bed3ae9f55c3#:~:text=Geometric%20augmentation%20These%20include%20transformations,blurring%2C%20brightness%20and%20color%20changes.>
109. Photometric data augmentation in projection radiography | by Thijs Kooi | Lunit Team Blog, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/lunit/photometric-data-augmentation-in-projection-radiography-bed3ae9f55c3>
110. Data Augmentation in Classification and Segmentation: A Survey and New Strategies - PMC, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9966095/>
111. [2502.13936] Image compositing is all you need for data augmentation - arXiv, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://arxiv.org/abs/2502.13936>
112. Image compositing is all you need for data augmentation - arXiv, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://arxiv.org/html/2502.13936v1>
113. Robust Data Augmentation Generative Adversarial Network for Object Detection - PMC, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9824481/>
114. Investigating Effective Geometric Transformation for Image Augmentation to Improve Static Hand Gestures with a Pre-Trained Convolutional Neural Network - MDPI, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.mdpi.com/2227-7390/11/23/4783>
115. Unrealistic Data Augmentation Improves the Robustness of Deep Learning–Based Classification of Dopamine Transporter SPECT Against Variability Between Sites and Between Cameras, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://jnm.snmjournals.org/content/65/9/1463>
116. ШІ на службі у держави: як цифровізація стає реальністю, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.if.gov.ua/news/shi-na-sluzhbi-u-derzhavy-iak-tsyfrovizatsiia-staie-realnistiu>
117. ЗСУ отримають нові цифрові сервіси на базі системи «Імпульс». - UKR.NET, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.ukr.net/news/details/technologies/114201206.html>
118. Розвиток штучного інтелекту в Україні у 2025 році: прогнози лідерів галузі - UKR.NET, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.ukr.net/news/details/technologies/109142238.html>
119. Understanding the Military AI Ecosystem of Ukraine - AF.mil, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.af.mil/Portals/1/documents/csaf/Understanding_the_Military_AI_Ecosystem_of_Ukraine.pdf>
120. Ukraine's Future Vision and Current Capabilities for Waging AI-Enabled Autonomous Warfare - CSIS, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.csis.org/analysis/ukraines-future-vision-and-current-capabilities-waging-ai-enabled-autonomous-warfare>
121. Full article: Navigating the AI frontier: Insights from the Ukraine conflict for NATO's governance role in military AI - Taylor & Francis Online, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01402390.2025.2463451>
122. How Palantir Is Shaping the Future of Warfare - Time Magazine, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://time.com/6293398/palantir-future-of-warfare-ukraine/>
123. Lessons from the Ukraine Conflict: Modern Warfare in the Age of Autonomy, Information, and Resilience - CSIS, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.csis.org/analysis/lessons-ukraine-conflict-modern-warfare-age-autonomy-information-and-resilience>
124. ALGORITHMIC WARFARE: How AI, Quantum Could Transform Battlefield Deception - National Defense Magazine, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2025/7/24/algorithmic-warfare-how-ai-quantum-could-transform-battlefield-deception>
125. Ukraine A Living Lab for AI Warfare - RealClearDefense, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.realcleardefense.com/2023/03/25/ukraine_a_living_lab_for_ai_warfare_889456.html>
126. Підтримати проєкт - Defender Media, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://thedefender.media/uk/support/>
127. Українські військові отримали Clarity: ШІ-програму, що самостійно знаходить техніку та ворога на знімках із дронів | dev.ua, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://dev.ua/news/ukrainski-viiskovi-otrymaly-clarity-shi-prohramu-shcho-samostiino-znakhodyt-tekhniku-ta-voroha-na-znimkakh-z-droniv-1757432549>
128. Artificial Intelligence in Defence of Ukraine, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://icds.ee/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/09/Layout-AI-in-Defence-of-Ukraine.pdf>
129. Secure data is superior data: A security-first approach to the DoD Data Strategy - Elastic, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.elastic.co/blog/secure-data-dod-data-strategy>
130. An Introduction to Convolutional Neural Networks: A Comprehensive Guide to CNNs in Deep Learning | DataCamp, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.datacamp.com/tutorial/introduction-to-convolutional-neural-networks-cnns>
131. Convolutional Neural Network (CNN) | TensorFlow Core, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.tensorflow.org/tutorials/images/cnn>
132. Keras CNN Tutorial: Classifying Images Made Easy | by PrathamModi - Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/@prathammodi001/keras-cnn-tutorial-classifying-images-made-easy-fb55cc8892ec>
133. How To Make A CNN Using Tensorflow and Keras | by Mohammed AL-Ma'amari - Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://mamarih1.medium.com/how-to-make-a-cnn-using-tensorflow-and-keras-dd0aaaed8ab4>
134. Training a Classifier — PyTorch Tutorials 2.9.0+cu128 documentation, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://docs.pytorch.org/tutorials/beginner/blitz/cifar10_tutorial.html>
135. PyTorch CNN Tutorial: Build & Train Convolutional Neural Networks in Python | DataCamp, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://www.datacamp.com/tutorial/pytorch-cnn-tutorial>
136. CNN Model With PyTorch For Image Classification | by Pranjal Soni | TheCyPhy - Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/thecyphy/train-cnn-model-with-pytorch-21dafb918f48>
137. Simple Convolutional Neural Network (CNN) for Dummies in PyTorch: A Step-by-Step Guide | by Mayur Ingole | Medium, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://medium.com/@myringoleMLGOD/simple-convolutional-neural-network-cnn-for-dummies-in-pytorch-a-step-by-step-guide-6f4109f6df80>
138. Defining a Neural Network in PyTorch, доступ отримано листопада 3, 2025, <https://docs.pytorch.org/tutorials/recipes/recipes/defining_a_neural_network.html>