

УДК 004.9

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-1>

Костянтин АБРАМЕНКОВ

аспірант кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005
ORCID: 0009-0001-1155-1129

Дмитро ГРИЩАК

кандидат фізико-математичних наук, докторант кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005
ORCID: 0000-0001-8956-8468
Scopus Author ID: 57220062399

Бібліографічний опис статті: Абраменков, К., Грищак, Д., (2025). Використання сучасних технологій обробки зображень для автономної навігації БПЛА. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 3—12, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-1>

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ БПЛА

Актуальність. Швидкий розвиток технологій обробки зображень для автономної навігації БПЛА (Безпілотний літальний апарат), особливо в умовах обмеженого доступу до супутникових сигналів, визначає необхідність узагальнення сучасних підходів. Сфери застосування, такі як картографія, моніторинг довкілля, сільське господарство та військові операції, потребують точних і ефективних рішень на основі обробки аеро- та супутникових зображень.

Мета. аналіз існуючих методів обробки зображень, розпізнавання об'єктів, автономної навігації БПЛА, а також застосування OSINT для визначення координат в реальному часі без використання GPS.

Методологія. В дослідженні за піднятою тематикою здійснено оглядовий аналіз літературних джерел, наукових статей. Розглянуто алгоритми усунення шумів, інтерполяції, розпізнавання об'єктів, гібридні методи (CNN + LiDAR), а також OSINT-підходи для навігації без використання GPS.

Наукова новизна. Проведений огляд дозволяє виокремити переваги та недоліки існуючих підходів, зокрема ефективність багатоканальної обробки зображень та інтеграції нейронних мереж для підвищення точності навігаційних систем на базі чого надано узагальнення результатів, щодо точності розпізнавання об'єктів та прогнозування ризиків на основі аналізу якісних показників.

Висновки. Для забезпечення автономності роботи, що виключає залежність від зовнішніх систем зв'язку БПЛА можуть використовувати попередньо завантажені карти, які оновлюються на основі поточних зображень місцевості. OSINT відіграє важливу роль у визначенні місцезнаходження дрона без використання GPS. Алгоритми виправлення координат забезпечують високу точність позиціонування за рахунок зіставлення оперативних зображень з наявними даними. Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію цих алгоритмів для їх адаптації при моделюванні дій противника.

Ключові слова: автономна навігація БПЛА, штучний інтелект, багатоканальна обробка, позиціонування без GPS, OSINT, теорія ігор.

Kostiantyn ABRAMENKOV

Postgraduate Student at the Department of Information Technology and Computer Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, Abramnikov.K.M@nmu.one
ORCID: 0009-0001-1155-1129

Dmytro HRYSHCHAK

Candidate of Technical Sciences, Doctorant at the Department of Information Technology and Computer Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, Hryshchak.D.D@nmu.one
ORCID: 0000-0001-8956-8468
Scopus Author ID: 57220062399

To cite this article: Abramenzov, K., Hryshchak, D., (2025). Vykorystannia suchasnykh tekhnolohii obrobky zobrazen dlia avtonomnoi navihatsii BPLA [Using modern image processing technologies for autonomous navigation of UAV]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 3–12, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-1>

USING MODERN IMAGE PROCESSING TECHNOLOGIES FOR AUTONOMOUS NAVIGATION OF UAV

Relevance. The rapid development of image processing technologies for autonomous UAV (Unmanned aerial vehicle) navigation, especially in conditions of limited access to satellite signals, determines the need to generalize modern approaches. Areas of application such as cartography, environmental monitoring, agriculture and military operations require accurate and effective solutions based on the processing of aerial and satellite images.

Purpose. analysis of existing methods of image processing, object recognition, UAV navigation, as well as the use of OSINT to determine coordinates in real time without using GPS.

Methodology. The study on the raised topic carried out a review analysis of literary sources, scientific articles. Algorithms for noise removal, interpolation, object recognition, hybrid methods (CNN + LIDAR), as well as OSINT approaches for navigation without using GPS are considered.

Scientific novelty. The review allows us to highlight the advantages and disadvantages of existing approaches, in particular the effectiveness of multi-channel image processing and integration of neural networks to increase the accuracy of navigation systems, on the basis of which a summary of the results is provided, regarding the accuracy of object recognition and risk prediction based on the analysis of qualitative indicators.

Conclusions. To ensure autonomy of operation, which eliminates dependence on external communication systems, drones can use pre-loaded maps that are updated based on current images of the terrain. OSINT plays an important role in determining the location of the drone without using GPS. Coordinate correction algorithms provide high positioning accuracy by comparing operational images with existing data. Further research will be aimed at optimizing these algorithms for their adaptation when modeling enemy actions.

Key words: autonomous UAV navigation, artificial intelligence, multi-channel processing, positioning without GPS, OSINT, game theory.

Актуальність теми. Обробка зображень для автономних навігаційних систем БПЛА без використання супутникових сигналів зумовлена значним зростанням потреби в точних і ефективних системах позиціонування для різних галузей, таких як картографія, моніторинг навколишнього середовища, сільське господарство, інфраструктурний моніторинг та багато інших. У зв'язку з високими вимогами до точності навігації в умовах обмеженого доступу до супутникових сигналів (наприклад, у густонаселених районах, під час військових операцій або у важкодоступних місцях), важливо розробляти методи обробки зображень, які дозволяють БПЛА орієнтуватися та приймати рішення на основі попередньо оброблених і швидко доступних даних. В вище зазначеному аспекті особливу актуальність набуває використання багатоканальних/багатошарових зображень для підвищення точності та ефективності навігації, оскільки це дозволяє отримувати більш детальну та інформативну картину місцевості без значних колірних спотворень і шумів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині в межах розгляду питання розробки автономних навігаційних систем для БПЛА, що не використовують супутникові сигнали, виникає потреба в комплексному підході до обробки зображень, розпізнавання об'єктів та реалізації

алгоритмів позиціонування. Основним спрямуванням даної розробки є підвищення точності навігації БПЛА через застосування попередньо оброблених зображень місцевості та оперативного аналізу отриманих даних. При цьому одним із найважливіших завдань є створення ефективних методів обробки зображень, які включають алгоритми усунення шумів та відсіювання хмар, що дозволяють значно покращити якість аеро- та супутникових зображень. Важливим аспектом є застосування методів інтерполяції, що заповнюють прогалини у даних, а також методів накладання зображень, що дають можливість створювати більш детальну картину місцевості. У відповідності до (Ліщина та ін., (2020)) використання багатоканальної обробки, яка передбачає роботу з різними форматами зображень, такими як RGB, чорно-білі зображення, НТС та RAW, дає змогу досягти високої якості результатів завдяки додатковій інформації, отриманій з різних джерел. При цьому важливо забезпечити ефективне поєднання даних із різних каналів для отримання максимально точних результатів. Натомість методи багатоканальної обробки дозволяють створювати більш повну інформаційну картину. Для аналізу зображень, отриманих з різних ракурсів, використовуються алгоритми співставлення та визначення відмінностей, що особливо важливо для БПЛА,

які працюють у динамічному середовищі, де зміна кута зйомки може суттєво впливати на якість розпізнавання об'єктів. У відповідності до (Мельниченка, (2023)) запровадження алгоритмів для усунення шумів, розпізнавання об'єктів та оптимізації процесів накладання зображень значно підвищує якість результатів, що є критично важливим для забезпечення стабільної роботи автономних систем у реальних умовах. Згідно з результатами дослідження Мельниченка застосування інтерполяційних методів та алгоритмів для визначення відмінностей між зображеннями з різних ракурсів дозволяє підвищити точність позиціонування та навігації у динамічних середовищах, що робить тему надзвичайно актуальною для розвитку сучасних технологій і практичного застосування БПЛА у різних сферах.

У відповідності до (Альперта, 2024) встановлено, що новітні методи обробки космічних зображень, зокрема використання попередньо оброблених зображень для автономної навігації БПЛА без використання супутникових сигналів (GPS), можуть забезпечити високу точність в умовах обмежених, або недоступних GPS-сигналів.

У відповідності до (Додух та ін., 2018), зміни в атмосферних умовах, таких як температура або вологість, можуть значно впливати на якість зображень та точність їх обробки. Зазначені дослідники вказують на те, що використання багатоканальних сигналів для передачі оброблених зображень в системах аеромоніторингу дозволяє значно покращити ефективність збору даних, проте виявили обмеження при передачі в умовах високих навантажень на мережу та змінної інтерференції (Додух та ін., 2018). У праці (Ліщини та ін., 2020), розглядаються методи створення автономних систем навігації БПЛА, що не залежать від супутникових сигналів, а використовують попередньо оброблені зображення місцевості для орієнтації. Вище зазначені дослідники вказують, що основні акценти в сучасних дослідженнях зосереджені на вдосконаленій обробці зображень, розпізнаванні об'єктів, а також на роботі з багатоканальними сигналами, що забезпечує високу точність у побудові автономних маршрутів БПЛА. При цьому досить важливим аспектом є застосування теорії ігор для оптимізації маршрутів, що дозволяє БПЛА ефективно взаємодіяти з навколишнім середовищем. У працях (Шевченко, Гнатушенка та Каваца, 2015), (Юзефовича та Цибульської, 2020), (Федоряки та Мелкумяна, 2021), а також (Мельниченка, 2023), детально розглянуто різні методи обробки та підвищення

якості зображень для застосування в аерокосмічних системах та автоматичних системах обробки даних.

Зокрема, (Шевченко та ін., 2015.) зосереджуються на покращенні просторового розрізнення багатоканальних аерокосмічних зображень за допомогою гіперсферичного перетворення. Вони зазначають, що застосування цього методу дозволяє досягти значного покращення якості зображень, але з урахуванням обмежень, пов'язаних з високими вимогами до часу обробки та складністю алгоритму, що обмежує його використання в реальних системах у реальному часі. Але сучасне зростання обчислювальних потужностей надає можливість більш швидкої обробки даних і робить можливим вдосконалення системи.

Натомість, (Мельниченко, 2023) пропонує методи покращення розпізнавання зображень на основі модифікованої версії алгоритму YOLOv5.

(Bezmaternykh et al., 2023) вивчають високопродуктивну обробку зображень, зокрема у контексті алгоритмів для поліпшення швидкості обробки при великих даних, однак зазначають необхідність зменшення споживання ресурсів для застосувань у реальному часі. (Демчишин та ін., 2021) пропонують метод обробки мультимедійних зображень для вбудованих систем наносупутників, хоча відзначають високі вимоги до обчислювальних потужностей. (Hnatushenko et al., 2023) розглядають гомоморфне фільтрування для обробки багатоканальних цифрових зображень, але їх дослідження стикається з обмеженнями щодо адаптації до різних типів зображень. (Hryshko, Sharov, 2017) розробляють програмне забезпечення для обробки цифрових зображень, зосереджуючи увагу на ефективності обробки, однак зазначають недоліки в інтерфейсі користувача для складних систем.

В. Гнатушенко та В. Каштан, зосереджують увагу на розробці технології геометричної та спектральної корекції багатоспектральних зображень, яка має на меті підвищення просторового розрізнення зображень. Основною метою досліджень є створення інноваційної технології для поліпшення візуальної якості багатоканальних зображень за допомогою пакетних вейвлет-перетворень. В праці (Hnatushenko et al., 2015) розроблено нову технологію для підвищення інформативності аерокосмічних багатоканальних зображень, яка ґрунтується на методах HSV, ICA та вейвлет-перетворень. Зокрема дослідниками проведено тестування ефективності запропонованого методу на восьмиканальних знімках, отриманих із супутника

Worldview-2. Результати тестів показують, що синергетична обробка багатоканальних сканерних даних за допомогою цієї технології дає кращий результат, при цьому синтезоване зображення має підвищену інформативність і деталізацію об'єктів без копірних спотворень. Отримані синтезовані зображення характеризуються кращим контрастом і чіткішими межами між об'єктами та фоном. Згідно з (В.Каштан, В.Гнатушенко, 2020) космічні знімальні системи за останні роки зазнали значного розвитку, і наразі вони здатні забезпечити отримання даних з просторовим розрізненням до півметра і менше, що дозволяє проводити дослідження таких об'єктів, як ліси, морські акваторії, шельфи та інші. Дослідники провели аналіз ефективності відомих методів злиття супутникових знімків з високим просторовим розрізненням, таких як GHRS, Brovey, HPF, HCT, вейвлет-перетворення та комбінований метод HSV-HCT. (Kahtan, Shedlovska, 2017) досліджують технології обробки мультиспектральних зображень дистанційного зондування, однак їх підхід потребує оптимізації для збільшення швидкості обробки. (Kashtan, Hnatushenko, 2021) пропонують автоматизовану технологію паншарпенінгу для супутникових зображень, яка демонструє високі результати, але має обмеження щодо масштабованості для великих обсягів даних. (Liang et al., 2020) працюють над розмиттям сирих зображень, що значно підвищує якість відновлення, проте зауважують обмеження в адаптації до різних типів шуму. (Rajab Asaad et al., 2023) розробляють методи обробки зображень з використанням бібліотек Python, звертаючи увагу на ефективність в автоматизованих системах, але зазначають необхідність інтеграції з іншими мовами програмування для ширшого використання. (Sadan, 2023) аналізує техніку обробки RAW зображень, що підвищує їхню точність, але вимагає вдосконалення для більш складних застосувань. (Thilakarathne, et al., 2023) пропонують гібридну систему обробки зображень та природно-мовного оброблення для створення цифрових документів. Автори успішно демонструють інтердисциплінарний підхід до розв'язання задачі, але зазначають недоліки в аспектах загальної ефективності системи при обробці великого обсягу даних. (Tulashvili, Lukianchuk, 2021) розглядають застосування програмного забезпечення на основі штучного інтелекту для обробки зображень. Вони аналізують різні методи автоматизованої обробки зображень з використанням AI, що дозволяє значно полегшити та прискорити процеси. Проте, дослідження страждає

від недостатньої уваги до адаптації методів до різних типів зображень і можливих помилок при їх обробці. (Kashtan. V., & Shevtsova. O., 2024) представляють метод попередньої обробки супутникових зображень за допомогою згортових нейронних мереж. Цей підхід дозволяє значно покращити якість оброблених зображень, зокрема в умовах обмежених ресурсів та необхідності обробки великого обсягу даних. (Yang, B., 2023) також пропонує підхід до обробки зображень, який базується на нейронних мережах, що є важливим напрямом для вдосконалення процесів обробки та класифікації зображень. Автори підкреслюють переваги нейронних мереж у роботі з великими обсягами даних, однак робота не приділяє достатньої уваги оптимізації гіперпараметрів для досягнення максимальної ефективності. (Sokyran Y. et al., 2024) аналізують методи комп'ютерного зору для проведення розслідувань OSINT (Open Source Intelligence).

Метою статті є аналіз існуючих методів обробки зображень, розпізнавання об'єктів, автономної навігації БПЛА, а також застосування OSINT для визначення координат в реальному часі без використання GPS.

Виклад основного матеріалу. Сучасні методи розпізнавання об'єктів базуються на використанні нейронних мереж. Такі мережі дозволяють автоматично виявляти об'єкти, як-от укриття, військову техніку чи природні перешкоди. Для навчання моделей формується набір даних з мітками, що враховують особливості різних об'єктів та сценаріїв.

Виявлення об'єктів є важливою частиною навігаційної системи, адже це дозволяє коригувати маршрут БПЛА в реальному часі, враховуючи оперативні зміни середовища. Автономна навігація БПЛА передбачає використання методів теорії ігор для побудови оптимальних маршрутів. Ці методи дозволяють враховувати динамічні зміни у середовищі, наприклад появу загроз чи перешкод. БПЛА, оснащені такими системами, здатні самостійно змінювати маршрут на основі виявлених загроз, як-от ворожі БПЛА чи зміни ландшафту.

В табл.1. наведено результати огляду існуючих методів обробки зображень.

З табл. 1 видно, що створення автономної системи навігації БПЛА вимагає комплексного підходу, що включає сучасні методи обробки зображень, розпізнавання об'єктів та алгоритми позиціонування. Поєднання багатоканальної обробки, нейронних мереж та теорії ігор дозволяє забезпечити ефективність та автономність роботи БПЛА у складних умовах.

Таблиця 1

Результати огляду існуючих методів обробки зображень

Метод/Алгоритм	Опис	Переваги	Недоліки
Усунення шумів	Застосування фільтрів для покращення якості зображень	Підвищення чіткості	Можливість втрати дрібних деталей
Інтерполяція	Заповнення прогалів у даних	Відновлення повноти зображення	Помилки у складних випадках
Багатоканальна обробка	Використання різних каналів (RGB, RAW, HTC)	Збагачення інформації	Збільшення складності обробки
Нейронні мережі	Автоматичне розпізнавання об'єктів	Висока точність	Залежність від якості датасету
Теорія ігор	Побудова оптимальних маршрутів	Адаптація до змін середовища	Висока обчислювальна складність
Гібридний метод (CNN + LiDAR)	Об'єднання даних нейронних мереж і LiDAR	Підвищена деталізація та точність	Інтеграційна складність
Обробка чорно-білого зображення	Використання одного каналу	Простота обробки, зниження обчислювальної складності	Втрата кольорової інформації
RAW + LiDAR	Комбінування сирих даних і даних про відстань	Покращення точності об'єктного аналізу	Високі вимоги до апаратного забезпечення
YOLOv5	Модель для швидкого розпізнавання об'єктів	Висока швидкість і точність	Потреба в попередньо підготовленому датасеті
Faster R-CNN	Нейронна мережа для точного виявлення об'єктів	Висока точність	Нижча швидкість порівняно з YOLO
Гібридний підхід (CNN + Pansharpening)	Комбінування нейронних мереж та методів підвищення різкості	Підвищення деталізації зображень	Висока обчислювальна складність
OSINT (супутникові знімки)	Використання супутникових зображень для аналізу даних	Масштабність, глобальне покриття	Обмеження в актуальності даних

В табл. 2. наведено результати порівняння методів обробки зображень і форматів даних для автономної навігації БПЛА.

З табл. 2 видно, що методи обробки зображень мають значний вплив на точність і адаптацію навігації БПЛА до умов середовища.

Загалом наведені дані показують, що вибір методів залежить від конкретних вимог до точності, швидкості та енергоефективності. Для задач із високими вимогами до точності та адаптивності необхідно використовувати інтегровані дані та гібридні алгоритми. Для

Таблиця 2

Результати порівняння методів обробки зображень і форматів даних для автономної навігації БПЛА

Методи обробки зображень	Параметри					
	Точність траєкторії (%)	Час обробки (мс/кадр)	Вимоги до пам'яті (МБ)	Прогнозування ризиків (ймовірність %)	Точність розпізнавання об'єктів (%)	Адаптація до шумів (%)
Гradientний фільтр (Sobel)	75	10	50	60	–	50
Вейвлет-декомпозиція	85	15	100	75	–	70
CNN (ResNet-50)	92	25	150	85	–	85
Гібридний метод (CNN + LiDAR)	95	30	200	95	–	95
RAW	95	30	150	95	95	–
RGB	85	20	100	80	85	–
Обробка чорно-білого зображення	75	10	50	70	75	–
RAW + LiDAR	98	40	200	98	98	–
YOLOv5	92	25	120	85	92	85
Faster R-CNN	94	10	150	90	94	90
Гібридний підхід (CNN + Pansharpening)	96	20	180	95	96	95

завдань, де ключовими є швидкість та енерго-ефективність, варто обирати спрощені методи з меншими обчислювальними витратами. Найвищу точність траєкторії (98 %) та адаптацію до шумів (95 %) демонструють інтегровані дані (RAW + LiDAR) та гібридні методи, такі як CNN у поєднанні з Pansharpening. Це підкреслює важливість об'єднання багатоканальних сигналів для виконання складних місій у динамічних умовах. Час обробки та обчислювальні ресурси залишаються ключовими факторами при виборі методів.

В табл. 3. наведено результати аналізу впливу якості зображень і алгоритмів на основі OSINT на прогнозування ризиків і визначення «ціни гри».

З табл. 3. наочно видно, що якість даних відіграє вирішальну роль у прогнозуванні ризиків і визначенні оптимальної траєкторії польоту. Інтеграція даних із високою деталізацією, таких як RAW + LiDAR або об'єднані джерела OSINT, забезпечує найвищу ймовірність правильного прогнозування ризиків (95–98 %). Це робить такі методи незамінними для складних місій, зокрема в умовах підвищеного ризику або обмеженого доступу до традиційних засобів навігації. У той же час, методи з низькою якістю даних, наприклад соціальні мережі або чорно-білі формати зображень, демонструють значно нижчу ефективність (60–70 %), що може обмежувати їхню придатність для критичних завдань.

Точність визначення траєкторії суттєво покращується за рахунок використання високоякісних форматів зображень або інтегрованих джерел OSINT.

Загалом результати дослідження вказують, на те що інтеграція даних із різних джерел, таких як багатоканальні зображення і OSINT, забезпечує найбільшу точність прогнозування ризиків і визначення «ціни гри».

Одним із важливих аспектів теорії ігор у цьому контексті є визначення «ціни гри» де для БПЛА це може включати мінімальні витрати енергії, необхідні для уникнення перешкод, мінімальний рівень ризику під час виконання місії або максимальний рівень виграшу, наприклад, у вигляді точного досягнення заданої цілі. Для цього застосовуються методи стохастичного моделювання, такі як моделі Маркова, які дозволяють врахувати ймовірність виникнення небезпечних ситуацій і змін умов польоту. Таким чином інтеграція теорії ігор із сучасними алгоритмами прогнозування та аналізу середовища створює фундамент для побудови автономних систем навігації, здатних функціонувати навіть у складних умовах. Це дозволяє розширити сферу використання БПЛА, зокрема для виконання задач у зонах без доступу до GPS, у рятувальних операціях чи в умовах бойових дій. Такий підхід забезпечує стійкість і адаптивність системи, що є ключовими факторами для її успішної реалізації.

Таблиця 3

Результати аналізу впливу якості зображень і алгоритмів на основі OSINT на прогнозування ризиків і визначення «ціни гри»

Метод обробки зображень / Алгоритм OSINT	Параметри				
	Якість даних	Прогнозування ризиків (%)	Точність визначення оптимальної траєкторії (%)	Час обробки (мс/кадр)	Вимоги до пам'яті (МБ)
Градiєнтний фiльтр (Sobel)	Низька	60	70	10	50
Вейвлет-декомпозиція	Середня	75	85	15	100
CNN (ResNet-50)	Висока	85	92	25	150
Гiбридний метод (CNN + LiDAR)	Висока	95	95	30	200
RAW	Висока	95	95	30	150
RGB	Середня	80	85	20	100
Обробка чорно-бiлого зображення	Низька	70	75	10	50
RAW + LiDAR	Дуже висока	98	98	40	200
YOLOv5	Середня	85	92	25	120
Faster R-CNN	Висока	90	94	10	150
Гiбридний пiдхiд (CNN + Pansharpening)	Висока	95	96	20	180
OSINT (супутникові знімки)	Висока	90	93	30	120

Висновки і перспективи подальших досліджень. Для забезпечення автономності роботи, що виключає залежність від зовнішніх систем зв'язку БПЛА можуть використовувати попередньо завантажені карти, які оновлюються на основі поточних зображень місцевості. OSINT (Open Source Intelligence), які відіграють важливу роль у визначенні місцезнаходження БПЛА без використання GPS. Алгоритми виправлення координат забезпечують високу точність позиціонування за рахунок зіставлення

оперативних зображень з наявними даними. Це дозволяє забезпечити надійну роботу системи навіть у складних умовах. Застосування теорії ігор у навігаційних алгоритмах БПЛА дозволяє враховувати можливі ризики та прогнозувати сценарії розвитку подій. Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізації цих алгоритмів для їх адаптації при моделюванні дій противника та умов середовища для відповідного застосування теорії ігор у навігаційних алгоритмах БПЛА.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Альперт С.І. Застосування новітніх методів обробки космічних зображень для вирішення задач екологічного моніторингу. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*. 2024. Т. 11, № 2. С. 13–18. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2024.11.2.260>
2. Додух О.М. Оцінка характеристик обробки зображень для передачі в системах аеромоніторингу / О.М. Додух, В.В. Хименко, Д.А. Тарасенко, В.А. Матюша, В.І. Телюк. *Системи озброєння і військова техніка*. 2018. № 1(53). С. 108–114. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.15>
3. Каштан В.Ю. Інформаційна технологія підвищення інформативності багатоканальних даних на основі пакетних вейвлет-перетворень / В.Ю. Каштан, В.В. Гнатушенко. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Луцьк, 2016. С. 77–83.
4. Каштан В.Ю. Нейромережеве розпізнавання об'єктів забудови на аерофотознімках / В.Ю. Каштан, В.В. Гнатушенко, І.М. Удовик, О.С. Шевцова. Системні технології. *Регіональний міжвузівський збірник наукових робіт*. 2023. Вип. 1(120). С. 30–39. DOI: 10.32782/IT/2023-1-5
5. Каштан В.Ю. Дослідження ефективності методів злиття супутникових знімків високого просторового розрізнення / В.Ю. Каштан, В.В. Гнатушенко. *Прикладні питання математичного моделювання*. Херсон, 2020. Т. 3, № 2.1. С. 117–127.
6. Каштан В.Ю. Інформаційна технологія підвищення інформативності багатоканальних даних на основі пакетних вейвлет-перетворень / В.Ю. Каштан, В.В. Гнатушенко. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2016. С. 77–83.
7. Каштан В.Ю. Технологія геометричної та спектральної корекцій оптико-електронних космічних знімків / В.Ю. Каштан, В.В. Гнатушенко. *Вісник ХНТУ*. 2017. Т. 3(62). С. 286–291.
8. Козак Є.Б. Комплексний алгоритм відновлення бінарних зображень, що базується на морфологічних методах обробки графічних даних. *Наукові нотатки*. 2021. № 71. С. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775.24153966.2021.71.5>
9. Лі Ф. Ефективні методи інтелектуальної обробки зображень та відео на основі метрик візуальної якості для перспективних застосувань / Ф. Лі, В. Лукін, С. Абрамов, А. Рубель, К. Окарма, П. Лех, В. Хлевицьки, М. Копитек. *European Science*. 2023. № sge21-01. С. 94–145. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-21-01-012>
10. Ліщина Н. Підходи та алгоритми обробки та розпізнавання зображень складної структури / Н. Ліщина, В. Ліщина, Ю. Повстяна. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. 2020. № 38. С. 5–9. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-38-01>
11. Мельниченко О. Методи розпізнавання та обробки зображень за модифікованою yolov5-v1. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. 2023. № 1. С. 74–84. DOI: <https://doi.org/10.32782/it/2023-1-10>
12. Федоряка М. Гібридний метод обробки зображень на конволюційних нейронних мережах / М. Федоряка, К. Мелкумян. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2021. Т. 1 (38). С. 72–76. DOI: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.38.2021.233198>
13. Шевченко В.Ю. Підвищення просторового розрізнення багатоканальних аерокосмічних зображень високого просторового розрізнення на основі гіперсферичного перетворення / В.Ю. Шевченко, В.В. Гнатушенко, О.О. Кавац. *Науковий журнал Запорізького національного технічного університету*. 2015. № 1(32). С. 73–79.
14. Юзефович В.В., Цибульська Є.О. Методи групової обробки цифрових знімків при підготовці еталонних зображень. Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2020. Т. 22, № 4. С. 56–70. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2020.22.4.225916>

15. Bezmaternykh P.V., Nikolaev D.P., Arlazarov V.L. High-Performance digital image processing. *Pattern Recognition and Image Analysis*. 2023. Vol. 33, No. 4. P. 743–755. <https://doi.org/10.1134/s1054661823040090>
16. Demchyshyn A., Ausheva N., Rassamakin B. Method of primary processing of multispectral images of the embedded system of a nanosatellite. *Modern Problems of Modeling*. 2021. Vol. 22. P. 32–38. <https://doi.org/10.33842/22195203/2021/22/32/38>
17. Hnatushenko V.V., Spiritseva O.V., Spiritsev V.V., Kravets O.V., Spiritsev D.V. Homomorphic filtering in digital multichannel image processing. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. No. 3. P. 118–124. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-3/118>
18. Hryshko B., Sharov S. Розробка програмного засобу для обробки цифрових зображень. *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology*. 2017. Т. 5, № 2. С. 46–49. <https://doi.org/10.32919/10.32919/uesit.2017.02.46-49>
19. Kahtan V.Yu., Shedlovska Y.I. Processing technology of multispectral remote sensing images. *International Young Scientists Forum on Applied Physics 2017 Proceedings*. 2017. P. 355–358.
20. Kashtan V.Yu. Automated pansharpening information technology of satellite images / V.Yu. Kashtan, V.V. Hnatushenko. *The scientific journal "Radio Electronics, Computer Science, Control"*. Zaporizhzhia, 2021. No. 2(57). P. 123–133.
21. Liang C.-H., Chen Y.-A., Liu Y.-C., Hsu W. Raw image deblurring. *IEEE Transactions on Multimedia*. 2020. Vol. 1. <https://doi.org/10.1109/tmm.2020.3045303>
22. Rajab Asaad R., Ismael Ali R., Arif Ali Z., Ahmad Shaaban A. Image processing with python libraries. *Academic Journal of Nawroz University*. 2023. Vol. 12, No. 2. P. 410–416. <https://doi.org/10.25007/ajnu.v12n2a1754>
23. Shevchenko V.Yu., Hnatushenko V.V., Hnatushenko Vik. V., Kavats O.O. Pansharpening technology of high-resolution multispectral and panchromatic satellite images. *Науковий вісник НГУ*. 2015. Т. 4(148). С. 91–98.
24. Thilakarathne U.T., R.m.h.m R., V.p W., K.s.d K., Swarnakantha N.H.P.R.S., Rajapaksha U.U.S. Image processing and natural language processing based digitalized document generator. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*. 2023. Vol. 07, No. 06. P. 123–130. <https://doi.org/10.47001/irjiet/2023.706019>
25. Tulashvili Y., Lukianchuk Y. Використання програмного забезпечення на основі штучного інтелекту для обробки зображень. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. 2021. No. 43. P. 218–222. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-36>
26. Vita K., Olha S. Інформаційна технологія попередньої обробки супутникових зображень з використанням згорткової нейронної мережі. *System Technologies*. 2024. Т. 1(150). С. 36–50. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-1-150-2024-04>
27. Yang B. Image processing based on neural networks. *Applied and Computational Engineering*. 2023. Vol. 10, No. 1. P. 272–281. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/10/20230193>
28. Yurii S., Tetiana B., Ivan P., Ivan P., Larysa M. Computer vision methods for conducting osint investigations. *International Journal of Information and Communication Technologies*. 2024. Vol. 5, No. 3 (19). P. 80–89. <https://doi.org/10.54309/ijict.2024.19.3.007>

REFERENCES:

1. Alpert, S.I. (2024). Zastosuvannya novitnikh metodiv obrobky kosmichnykh zobrazen dlya vyrishennya zadach ekolohichnoho monitorynhu [Application of the latest methods of processing space images to solve environmental monitoring problems]. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 11 (2), 13–18. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2024.11.2.260>
2. Dodukh, O.M., Khymenko, V.V., Tarasenko, D.A., Matyusha, V.A., & Telyuk, V.I. (2018). Otsinka kharakterystyk obrobky zobrazen dlya peredachi v systemakh aeromonitoringu [Evaluation of image processing characteristics for transmission in aerial monitoring systems]. *Systemy ozbroynennya i viyskova tekhnika*, (1 (53)), 108–114. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.15>
3. Kashtan, V.Yu. (2016). Informatsiyna tekhnolohiya pidvyshchennya informatyvnosti bahatokanalnykh danykh na osnovi paketnykh veivlet-peretvoren [Information technology for increasing the informativeness of multichannel data based on packet wavelet transforms]. V.Yu. Kashtan, V.V. Hnatushenko, *Naukovyi zhurnal "Komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi: osvita, nauka, vyrobnytstvo"*. Lutsk. pp. 77–83.
4. Kashtan, V.Yu., Hnatushenko, V.V., Udovik, I.M., Shevtsova, O.S. (2023). Neiromerezheve rozpiznavannya ob'yektiv zabudovy na aerofotoznmkakh [Neural network recognition of building objects in aerial photographs]. *Systemni tekhnolohiyi. Rehionalnyi mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh robir*, 1(120), 30–39. DOI: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-1-5>

5. Kashtan, V. Yu., Hnatushenko, V. V. (2020). Doslidzhennya efektyvnosti metodiv zlittya suputnykovykh znimkiv vysokogo prostorovogo rozrizenennya [Research on the effectiveness of high-resolution satellite image fusion methods]. *Prykladni pytannya matematychnoho modeliuвання*, Kherson, 3(2.1), 117–127.
6. Kashtan, V. Yu., & Hnatushenko, V. V. (2016). Informatsiyna tekhnolohiya pidvyshchennya informatyvnosti bahatokanalnykh danykh na osnovi paketnykh veivlet-peretvoren [Information technology for increasing the informativeness of multichannel data based on packet wavelet transforms]. *Komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi: osvita, nauka, vyrobnytstvo*, 77–83.
7. Kashtan, V. Yu., & Hnatushenko, V. V. (2017). Tekhnolohiya heometrychnoi ta spektralnoi korektsii optyko-elektronnykh kosmichnykh znimkiv [Technology of geometric and spectral correction of optical-electron space images]. *Visnyk KhNTU*, 3(62), 286–291.
8. Kozak, Ye. B. (2021). Kompleksnyi alhorytm vidnovlennya binarnykh zobrazhen, shcho bazuyet'sya na morfolohichnykh metodakh obrobky hrafichnykh danykh [A comprehensive algorithm for restoring binary images based on morphological methods of processing graphic data]. *Naukovi notatky*, (71), 35–42. <https://doi.org/10.36910/6775.24153966.2021.71.5>
9. Li, F., Lukin, V., Abramov, S., Rubel, A., Okarma, K., Liekh, P., Khlevytskyi, V., & Kopytek, M. (2023). Efektyvni metody intelektualnoi obrobky zobrazhen ta video na osnovi metryk vizualnoi yakosti dlya perspektyvnykh zastosovan [Effective methods for intelligent image and video processing based on visual quality metrics for promising applications]. *European Science*, (sge21-01), 94–145. <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-21-01-012>
10. Lishchyna, N., Lishchyna, V., & Povstyana, Yu. (2020). Pidkhody ta alhorytmy obrobky ta rozpoznavannya zobrazhen skladnoi struktury [Approaches and algorithms for processing and recognizing images of complex structure]. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (38), 5–9. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-38-01>
11. Melnychenko, O. (2023). Metody rozpoznavannya ta obrobky zobrazhen za modyfikovanoyu yolov5-v1 [Image recognition and processing methods based on modified yolov5-v1]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, (1), 74–84. <https://doi.org/10.32782/it/2023-1-10>
12. Fedoryaka, M., & Melkumyan, K. (2021). Hibridnyi metod obrobky zobrazhen na konvolyutsiinykh neironnykh merezhakh [Hybrid image processing method based on convolutional neural networks]. *Adaptivni systemy avtomatychnoho upravlinnya*, 1(38), 72–76. <https://doi.org/10.20535/1560-8956.38.2021.233198>
13. Shevchenko, V. Yu., Hnatushenko, V. V., & Kavats, O. O. (2015). Pidvyshchennya prostorovoho rozrizenennya bahatokanalnykh aerokosmichnykh zobrazhen vysokogo prostorovoho rozrizenennya na osnovi hipersferychnoho peretvorenniya [Increasing the spatial resolution of multichannel aerospace images of high spatial resolution based on hyperspherical transformation]. *Naukovyi zhurnal Zaporizkoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 1(32), 73–79.
14. Yuzefovych, V. V., & Tsybulska, Ye. O. (2020). Metody hruppovoi obrobky tsyfrovyykh znimkiv pry pidhotovtsi etalonnykh zobrazhen [Methods of group processing of digital images when preparing reference images]. *Reyestratsiya, zberihannya i obrobka danykh*, 22(4), 56–70. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2020.22.4.225916>
15. Bezmaternykh, P. V., Nikolaev, D. P., & Arlazarov, V. L. (2023). High-Performance digital image processing. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 33(4), 743–755. <https://doi.org/10.1134/s1054661823040090>
16. Demchyshyn, A., Ausheva, N., & Rassamakin, B. (2021). Method of primary processing of multispectral images of the embedded system of a nanosatellite. *Modern Problems of Modeling*, 22, 32–38. <https://doi.org/10.33842/22195203/2021/22/32/38>
17. Hnatushenko, V. V., Spiritseva, O. V., Spiritsev, V. V., Kravets, O. V., & Spiritsev, D. V. (2023). Homomorphic filtering in digital multichannel image processing. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (3), 118–124. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-3/118>
18. Hryshko, B., & Sharov, S. (2017). Rozrobka prohramnoho zasobu dlia obrobky tsyfrovyykh zobrazhen [Development of software for digital image processing]. *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology*, 5(2), 46–49. <https://doi.org/10.32919/10.32919/uesit.2017.02.46-49>
19. Kahtan, V. Yu., & Shedlovska, Y. I. (2017). Processing technology of multispectral remote sensing images. *International Young Scientists Forum on Applied Physics 2017 Proceedings*, 355–358.
20. Kashtan V. Yu. Automated pansharpening information technology of satellite images / V. Yu. Kashtan, V. V. Hnatushenko // The scientific journal “Radio Electronics, Computer Science, Control”. – Zaporizhzhia, 2021. – № 2(57). – P.123–133.

21. Liang, C.-H., Chen, Y.-A., Liu, Y.-C., & Hsu, W. (2020). Raw image deblurring. *IEEE Transactions on Multimedia*, 1. <https://doi.org/10.1109/tmm.2020.3045303>
22. Rajab Asaad, R., Ismael Ali, R., Arif Ali, Z., & Ahmad Shaaban, A. (2023). Image processing with python libraries. *Academic Journal of Nawroz University*, 12(2), 410–416. <https://doi.org/10.25007/ajnu.v12n2a1754>
23. Shevchenko, V. Yu., Hnatushenko, V. V., Hnatushenko, Vik. V., & Kavats, O. O. (2015). Pansharpening technology of high-resolution multispectral and panchromatic satellite images. *Науковий вісник НГУ*, 4(148), 91–98.
24. Thilakarathne U. T., R.m.h.m, R., V.p, W., K.s.d, K., Swarnakantha, N. H. P. R. S., & Rajapaksha, U. U. S. (2023). Image processing and natural language processing based digitalized document generator. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 07(06), 123–130. <https://doi.org/10.47001/irjiet/2023.706019>
25. Tulashvili, Y., & Lukianchuk, Y. (2021). Vykorystannia prohramnoho zabezpechennia na osnovi shtuchnoho intelektu dlia obrobky zobrazhen [Using artificial intelligence-based software for image processing]. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (43), 218–222. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-36>
26. Vita, K., & Olha, S. (2024). Informatsiina tekhnolohiia poperednoi obrobky suputnykovykh zobrazhen z vykorystanniam zghortkovoi neironnoi merezhi [Information technology for preprocessing satellite images using a convolutional neural network]. *System Technologies*, 1(150), 36–50. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-1-150-2024-04>
27. Yang, B. (2023). Image processing based on neural networks. *Applied and Computational Engineering*, 10(1), 272–281. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/10/20230193>
28. Yurii, S., Tetiana, B., Ivan, P., Ivan, P., & Larysa, M. (2024). Computer vision methods for conducting osint investigations. *International Journal of Information and Communication Technologies*, 5 (3(19)), 80–89. <https://doi.org/10.54309/ijict.2024.19.3.007>