

І. М. Тупиця¹
Б. М. Іващук¹
Ю. П. Волков¹
М. В. Пархоменко¹
О. Г. Галепа¹

АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В ІНТЕРЕСАХ СИСТЕМИ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ

¹Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба

Суттєве зростання трафіку даних, що формуються з використанням безпілотних авіаційних систем і передаються до станції керування та контролю, викликало зростання вимог, які висувуються до процесу збору та обробки даних повітряної розвідки. До основних з них відносяться оперативність обробки даних аеромоніторингу та достовірність даних повітряної розвідки. В зв'язку з чим, актуальним є питання інтеграції в процес обробки розвідувальної інформації технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту. Формуються вимоги до моделі комп'ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки, основні серед яких такі: забезпечення автоматизованого виявлення та класифікації об'єктів інтересу на цифрових зображеннях (відеокадрах); забезпечення необхідного рівня оперативності обробки даних повітряної розвідки; забезпечення можливості трансформації моделі комп'ютерного зору; забезпечення необхідного рівня достовірності даних повітряної розвідки в умовах застосування БпАС; врахування професійних компетентностей фахівців зі збору та обробки розвідувальної інформації; простота алгоритмічної реалізації; оперативність формування моделі.

Розробляється алгоритм формування моделі комп'ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки для підвищення оперативності оброблення даних аеромоніторингу в умовах забезпечення необхідного рівня їхньої достовірності. Відмінною рисою запропонованого алгоритму є врахування рівня підготовки оператора та обчислювальних потужностей безпілотного авіаційного комплексу (станції керування та контролю) для формування моделі комп'ютерного зору. Це дозволяє вибрати один з двох підходів для тренування моделі (автономний, використання ресурсів відкритих веб-платформ), що також дозволяє створити умови для підвищення оперативності обробки даних аеромоніторингу в умовах забезпечення необхідного рівня їхньої достовірності. Подальші наукові дослідження будуть спрямовані на оцінку ефективності використання запропонованого підходу з позиції підвищення автономності безпілотних авіаційних систем в інтересах системи повітряної розвідки.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, повітряна розвідка, об'єкт інтересу, цифрове зображення, оперативність, достовірність, штучний інтелект, комп'ютерний зір.

Вступ

Стрімка цифровізація розвідувальної інформації, в умовах застосування засобів аеромоніторингу супроводжується отриманням великих обсягів відеоданих, що формуються бортовими сенсорами комплексів повітряної розвідки [1]—[4]. Це викликає зростання вимог, що висувуються до процесу обробки відео ресурсу (поточкового відео, цифрових зображень), основними серед яких є оперативність обробки великих масивів даних в умовах забезпечення їхньої достовірності [5], [6]. В зв'язку з чим виникає дисбаланс між фізіологічними спроможностями операторів цільового спорядження (фахівців груп та центрів розвідувальної інформації) та великими обсягами даних аеромоніторингу, що підлягають обробленню [7], [8]. Тому актуальним постає питання пошуку шляхів підвищення оперативності обробки даних аеромоніторингу в умовах забезпечення необхідного рівня їхньої достовірності.

З цією метою пропонується дослідити можливість створення умов для інтеграції в процес обробки даних повітряної розвідки (ДПР) технологій та моделей комп'ютерного зору (КЗ). Сьогодні

зазначені моделі активно використовуються в «розумних» містах світу “Smart City” [9]—[11]. Так моделі комп’ютерного зору, що дозволяють виявляти обличчя, дозволили ситуаційним центрам відомчих структур підвищити оперативність пошуку порушників, зловмисників [12], [13]. В свою чергу, використання моделей оптичного розпізнавання номерів транспортних засобів дозволило підвищити оперативність їх пошуку в міському середовищі [14], [15]. Це дозволило створити умови для зниження рівня злочинності та, як наслідок, прогресу концепції «Безпечного міста» (“Safety City”) [16], [17]. Також ще одним з напрямків використання моделей КЗ в інтересах суспільства є моніторинг трафіку автотранспорту як на місцях для паркування, так і дорогах [18], [19]. Варто зазначити, що наразі зусилля багатьох вчених спрямовані на формування моделей в залежності від задачі, що вирішується [20]—[23]. Проте, інформація щодо застосування зазначеного напрямку в умовах застосування засобів аеромоніторингу (безпілотних авіаційних систем (БпАС)) є досить обмеженою. Так, нещодавно турецька компанія “Baykar”, що спеціалізується на розробці та виробництві БпАС анонсувала черговий зразок безпілотного літального апарату (БпЛА) лінійки TB2, основною відмінною рисою якого є інтеграція технологій комп’ютерного зору та штучного інтелекту до складу безпілотних авіаційних комплексів [24]—[27]. Це дозволило суттєво розширити функціональні можливості БпАК зазначеного типу та створити умови для автономного вирішення окремих задач.

1. Підвищення стійкості бортових систем навігації, яке досягається завдяки інтеграції в процес навігації технологій візуального орієнтування та візуальної навігації в умовах застосування хвостової камери [25]. Це дозволило створити умови для підвищення стійкості навігаційних систем до зовнішнього деструктивного впливу та автономного здійснення посадки на злітно-посадкову смугу.

2. Інтеграція технологій комп’ютерного зору та штучного інтелекту в процес обробки даних повітряної розвідки, що формуються комплексом сенсорів повітряної розвідки (Gimbal) [26], [27]. Це дозволило підвищити оперативність виявлення об’єктів інтересу (ОІ).

Варто зазначити, що в досліджуваному напрямку активно працюють провідні компанії світу [28]—[30]. Проте комерційна, технологічна та інформаційна скритність зазначеного напрямку вимагають розвитку зазначених інструментів на вітчизняному ринку.

Метою роботи є розробка алгоритму формування моделі комп’ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки для підвищення оперативності обробки даних аеромоніторингу в умовах забезпечення необхідного рівня їхньої достовірності.

Формування вимог до моделі комп’ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки в умовах застосування безпілотних авіаційних систем

З метою розробки алгоритму формування моделі комп’ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки спочатку необхідно сформулювати вимоги, яким вона повинна відповідати (рис. 1).

1. Забезпечувати *автоматизоване виявлення та класифікацію об’єктів інтересу в процесі ведення повітряної розвідки на цифрових зображеннях* (відеокадрах) (вимога 1 на рис. 1). Масив цифрових зображень (відео кадрів), що формують дані повітряної розвідки в загальному випадку задається таким виразом:

$$U(m) = \{u_1, \dots, u_i, \dots, u_m\}, i = \overline{1, m},$$

де $U(m)$ — набір даних повітряної розвідки, що формуються цифровими оптико-електронними системами повітряної розвідки БпАС, $i = \overline{1, m}$; m — кількість цифрових зображень; u_i — i -те цифрове зображення набору ДПР $U(m)$.

Тоді набір класів ОІ описується таким виразом:

$$K(\eta) = \{k_1; \dots; k_\chi; \dots; k_\eta\}, k = \overline{1, \eta}, \quad (1)$$

де $K(\eta)$ — набір класів ОІ, що підлягають виявленню та розпізнаванню в процесі ведення повітряної розвідки; k_χ — χ -й клас ОІ набору $K(\eta)$; η — потужність набору (кількість) класів ОІ.

2. Забезпечувати *необхідний рівень оперативності обробки даних повітряної розвідки* (вимога 2 на рис. 1), що задається таким виразом:

$$T_{lat}^{od} \leq T_{lat, req}^{od}, \quad (2)$$

де T_{lat}^{od} — часові затримки, що виникають в процесі обробки ДПР (цифрового зображення, відео-кадру); $T_{lat_{req}}^{od}$ — необхідний рівень часових затримок в процесі обробки ДПР.

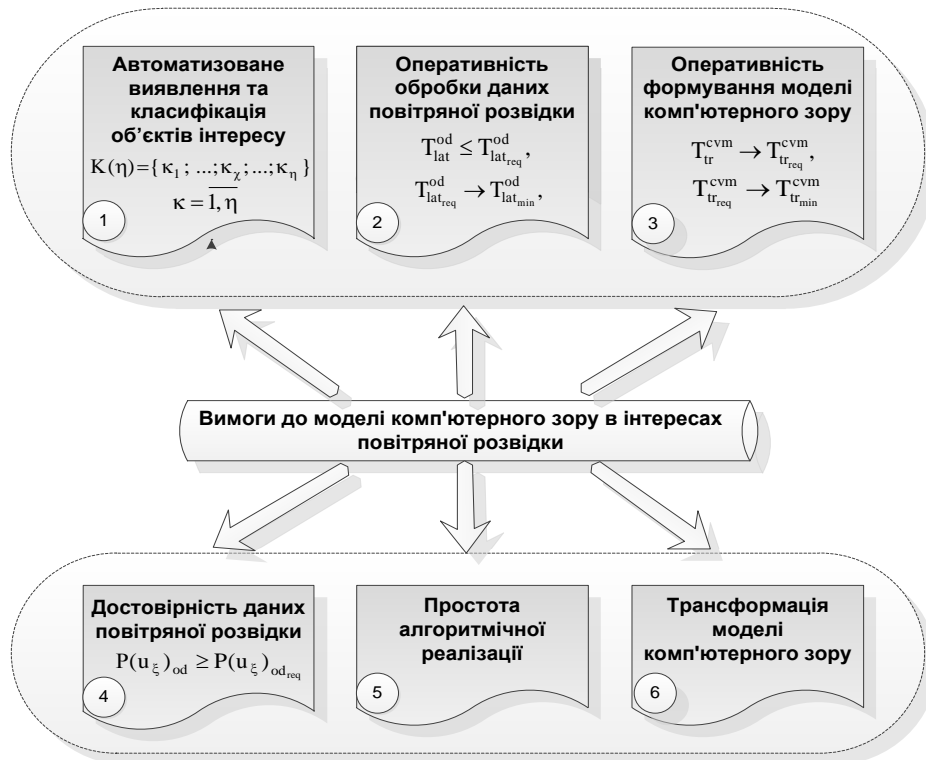


Рис. 1. Схема формування вимог до моделі комп'ютерного зору в інтересах повітряної розвідки

Вимога, що задається виразом (2), передбачає виконання такої умови:

$$T_{lat_{req}}^{od} \rightarrow T_{lat_{min}}^{od}, \quad (3)$$

де $T_{lat_{min}}^{od}$ — мінімальні часові затримки, що виникають в процесі обробки ДПР.

Виконання вимог, що задаються виразами (2) та (3) передбачає створення умов для інтеграції моделі КЗ у склад БпАК (станція керування та контролю (СКК), безпілотний літальний апарат) для обробки ДПР у реальному масштабі часу.

3. Забезпечувати *можливість трансформації (постійного удосконалення) моделі КЗ у відповідності до завдань розвідувальних місій*; типу БпЛА, його тактико-технічних характеристик; функціональних можливостей цільового спорядження — комплексу сенсорів повітряної розвідки, що використовується (вимога 6 на рис. 1). Це вимагає оперативної адаптації моделей КЗ до вищезазначених факторів, тобто забезпечення необхідного рівня оперативності підготовки (формування) моделі КЗ (вимога 3 на рис. 1). Вимога задається таким виразом:

$$T_{tr}^{cvm} \rightarrow T_{tr_{req}}^{cvm}, \quad (4)$$

де T_{tr}^{cvm} — час тренування моделі КЗ в інтересах системи повітряної розвідки; $T_{tr_{req}}^{cvm}$ — необхідний час тренування моделі КЗ.

Відповідно вимога, що задається виразом (4), передбачає наближення необхідного значення часу тренування моделі КЗ до мінімального (тобто $T_{tr_{req}}^{cvm} \rightarrow T_{tr_{min}}^{cvm}$) особливо це стосується розвідувальних місій, метою яких є виявлення, розпізнавання та супроводження динамічних об'єктів інтересу.

4. Забезпечувати *необхідний рівень достовірності даних повітряної розвідки в умовах застосування БпАС* (вимога 4 на рис. 1). Це означає, що модель КЗ повинна забезпечувати необхідний рівень (точність) виявлення та розпізнавання ОІ, тобто повинна виконуватися така умова:

$$P(u_ξ)_{od} \geq P(u_ξ)_{od_{req}}, \quad (5)$$

де $P(u_{\xi})_{od}$ — ймовірність виявлення ОІ на цифровому зображенні (відео кадрі) u_{ξ} ; $P(u_{\xi})_{od_{req}}$ — необхідне значення ймовірності виявлення та розпізнавання ОІ на цифровому зображенні u_{ξ}

5. *Враховувати професійні компетентності фахівців зі збору та обробки розвідувальної інформації.* Це означає, що в умовах обмежених професійних здібностей операторів зовнішнього цільового спорядження та фахівців з дешифрування ДПР в розробці та використанні сучасних прогресивних технологій, необхідно забезпечити такі умови, за яких реалізація (формування) моделей буде передбачати використання кількох рядків коду, тобто простоту реалізації зазначеного підходу (вимога 5 на рис. 1).

Далі пропонується, враховуючи вищезазначені вимоги, розробити алгоритм формування моделі комп'ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки.

Алгоритм формування моделі комп'ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки

Загальний вигляд алгоритму формування моделі комп'ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки, з урахуванням вищезазначених вимог, показаний на рис. 2 та складається з таких етапів:

1. Початковий етап: врахування особливостей формування даних повітряної розвідки (електромагнітний спектр цифрових оптикоелектронних систем, роздільна здатність бортових розвідувальних систем, умови ведення повітряної розвідки (висота, швидкість польоту).

2. Другий етап: формування вимог системи повітряної розвідки (визначається набір класів об'єктів інтересу), що задаються виразом (1).

3. Третій етап: врахування вимог до процесу формування моделі комп'ютерного зору, місця її інтеграції в системі повітряної розвідки (СКК БПЛА, на борту БПЛА). З цією метою враховуються обчислювальні потужності бортового обладнання та СКК БПЛА, професійні компетентності персоналу (оператора БПЛА, гімбаліста) та кількісні показники, що визначають ефективність ведення повітряної розвідки (вирази (2)—(5)). На цьому етапі визначається набір даних, що використовується для формування моделі, здійснюється його анування.

4. Четвертий етап: визначення ресурсів, які використовуються в процесі формування моделі КЗ.

При цьому враховуються особливості, визначені на попередньому кроці. На цьому етапі можливі такі варіанти формування моделі комп'ютерного зору:

– якщо модель створюється в умовах обмежених обчислювальних ресурсів СКК, професійних знань та навичок персоналу в галузі інформаційних технологій, то актуальним постає питання

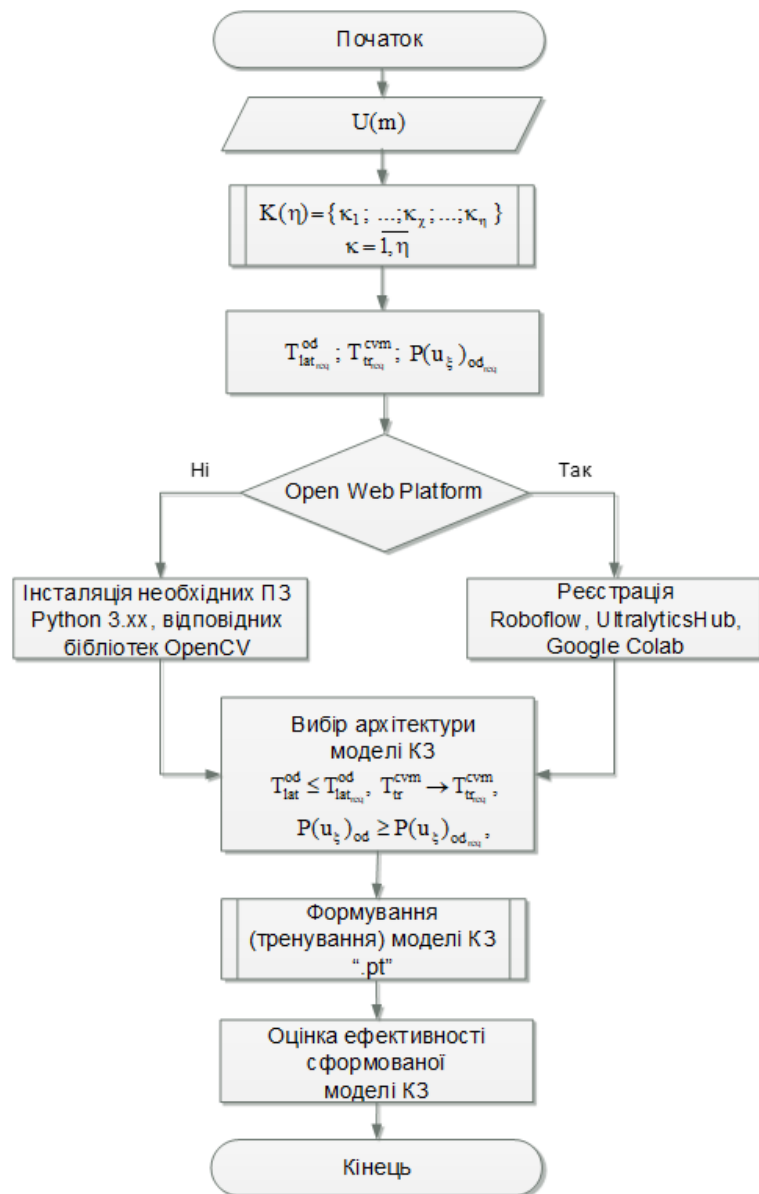


Рис. 2. Алгоритм формування моделі комп'ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки

використання ресурсів відкритих веб-платформ. Але при цьому варто враховувати основну вимогу цього напрямку — доступ до глобальної мережі Інтернет. Проста реєстрація персоналу на відкритих веб-платформах типу Roboflow, UltralyticsHub, Google Colab відкриє широкі функціональні можливості щодо створення моделі КЗ та дозволить створити умови для оперативного формування моделі без комерційних вимог та шляхом використання кількох рядків коду;

– другий напрямок: автономність в процесі формування моделі КЗ (використання обчислювальних ресурсів СКК). Зазначений напрямок передбачає додаткову інсталяцію необхідних програмних засобів (бібліотеки OpenCV, PyTorch) та окремого програмного середовища (наприклад, IDLE). Це дозволяє створити умови для підвищення достовірності даних повітряної розвідки шляхом використання для формування моделі набору даних, отриманого в реальних умовах.

5. П'ятий етап: вибір архітектури моделі КЗ (в умовах використання платформи UltralyticsHub це вибір версії алгоритму YOLO), який пропонується використовувати для формування моделі. На цьому етапі відбувається балансування між показниками достовірності ДІР та оперативністю їхньої обробки з метою врахування особливостей інтеграції моделі в систему повітряної розвідки.

6. Наступний етап: тренування моделі КЗ з використанням визначених обчислювальних ресурсів (СКК, Google Colab), в результаті чого формується файл PyTorch (типу “.pt”) з метою подальшої інтеграції у складі БпАС.

7. Завершальний етап: оцінка ефективності розробленої моделі з позиції забезпечення необхідного рівня оперативності обробки (виявлення та розпізнавання) об'єктів інтересу в умовах забезпечення необхідного рівня достовірності ДІР. З цією метою використовуються кількісні показники, що задаються виразами (2)—(4). Також з метою оцінки достовірності моделі КЗ використовується відповідний комплекс кількісних метрик (mAP, Recall, Precision).

Висновки

З метою підвищення оперативності обробки даних аеромоніторингу в умовах забезпечення необхідного рівня їхньої достовірності запропоновано алгоритм формування моделі комп'ютерного зору в інтересах системи повітряної розвідки. Зазначений алгоритм враховує вимоги, що висувуються до системи повітряної розвідки в сучасних реаліях, а саме: забезпечення автоматизованого виявлення та класифікації об'єктів інтересу на цифрових зображеннях (відеокадрах); забезпечення необхідного рівня оперативності обробки даних повітряної розвідки; забезпечення можливості трансформації моделі комп'ютерного зору; забезпечення необхідного рівня достовірності даних повітряної розвідки в умовах застосування БпАС; врахування професійних компетентностей фахівців зі збору та обробки розвідувальної інформації; простота алгоритмічної реалізації; оперативність формування моделі.

Відмінною рисою запропонованого алгоритму є врахування рівня підготовки оператора та обчислювальних потужностей безпілотного авіаційного комплексу (станції керування та контролю) для формування моделі комп'ютерного зору. Це дозволяє вибрати один з двох підходів для тренування моделі (автономний, використання ресурсів відкритих веб-платформ), що також дозволяє створити умови для підвищення оперативності обробки даних аеромоніторингу в умовах забезпечення необхідного рівня їхньої достовірності.

Подальші наукові дослідження будуть спрямовані на оцінювання ефективності використання запропонованого підходу з позиції підвищення автономності безпілотних авіаційних систем в інтересах системи повітряної розвідки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] A. Telili, I. Farhat, W. Hamidouche, and H. Amirpour, “ODVISTA: An Omnidirectional Video Dataset for Super-Resolution and Quality Enhancement Tasks,” *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2024, pp. 131-136. <http://doi.org/10.1109/ICIP51287.2024.10647612>.

[2] X. Li, and J. Wu, “Developing a More Reliable Framework for Extracting Traffic Data From a UAV Video,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 11, pp. 12272-12283, 2023. <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3290827>.

[3] Ю. В. Стасев, І. М. Тупиця, і М. В. Пархоменко. «Метод додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення відеоданих.» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 67-76, 2022. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-67-76>.

[4] Y. Liang, T. Jia, X. Liu, and H. Zhang, “Image Compression Algorithm Based on Region of Interest Extraction for Unmanned Aerial Vehicles Communication,” *IEEE 8th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*, 2025, pp. 648-652. <https://doi.org/10.1109/ITOEC63606.2025.10967764>.

- [5] D. Karlov, I. Tupitsya, and M. Parkhomenko, Methodology of increasing the reliability of video information in infocommunication networks aerosegment. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2022. No. 3. P. 120–132. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-3-12>.
- [6] D. Karlov, I. Tupitsya, M. Parkhomenko, O. Musienko, and A. Lekakh, “Compression Coding Method Using Internal Restructuring of Information,” *Space. International Journal of Computing*, vol. 21, no. 3, pp. 360-368, 2022. <https://doi.org/10.47839/ijc.21.3.2692>.
- [7] I. Tupitsya, I. Deinezhenko, Ye. Kryzhanivskiy, M. Parkhomenko, Yu. Volkov, and G. Eidelstein, “Method of Automating the Process of Object Detection to Increase the Efficiency of Deciphering Aerial Reconnaissance Data,” *Information Processing Systems*, № 2 (173), pp. 63-73, 2023. <https://doi.org/10.30748/soi.2023.173.08>.
- [8] I. Tupitsya, V. Kryvonos, S. Kibitkin, L. Ivashchuk, and A. Bielivtsov, “The Conceptual Model of the Automation of Deciphering Aerial Reconnaissance Data Using Artificial Intelligence System Technologies,” *Systems of Arms and Military Equipment*, № 1 (73), pp. 76-82, 2023. <https://doi.org/10.30748/soi.2023.73.09>.
- [9] P. Y. Ingle, Y. Kim, and Y.-G. Kim, “DVS: A Drone Video Synopsis towards Storing and Analyzing Drone Surveillance Data in Smart Cities,” *Systems*, vol. 10, no. 5, 10(5), pp. 170, 2022. <https://doi.org/10.3390/systems10050170>.
- [10] A. Gohari, A. Ahmad, R. Rahim, A. Supa’at, S. Razak, and M. Gismalla, “Involvement of Surveillance Drones in Smart Cities: A Systematic Review,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 56611-56628, 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3177904>.
- [11] M. Bakirci, and I. Bayraktar, “Integrating UAV-Based Aerial Monitoring and SSD for Enhanced Traffic Management in Smart Cities,” *Mediterranean Smart Cities Conference (MSCC)*, 2024, pp. 1-6. <http://doi.org/10.1109/MSCC62288.2024.10696996>.
- [12] S. Shilaskar, V. Shelke, S. Bhatlawande, P. Shinde, and K. Shintre, “Robust Criminal Identification System for Recognition of Obscure and Hidden Faces,” *2nd International Conference on Futuristic Technologies (INCOfT)*, 2023, pp. 1-6. <http://doi.org/10.1109/INCOfT60753.2023.10425451>.
- [13] S. Divya, J. T, and A. V. A. Geo, “Innovative Approaches to Criminal Identification Using Real Time Facial Recognition,” *6th International Conference on Mobile Computing and Sustainable Informatics (ICMCSI)*, 2025, pp. 1694-1700. <http://doi.org/10.1109/ICMCSI64620.2025.10883092>.
- [14] S. N. Rafek, S. N. K. Kamarudin, and Y. Mahmud, “Deep Learning-Based Car Plate Number Recognition (CPR) in Videos Stream,” *5th International Conference on Artificial Intelligence and Data Sciences (AiDAS)*, 2024, pp. 538-543. <http://doi.org/10.1109/AiDAS63860.2024.10730590>.
- [15] W. Furong, L. Yixing, and H. Long, “An Image SVD Compression Algorithm for UAV Based on Region of Interest,” *International Conference on Autonomous Unmanned Systems (ICAUS 2022), Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 1010. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0479-2_301.
- [16] M. Bakirci, and I. Bayraktar, “Comparative Performance of YOLOv9 and YOLOv10 for Vehicle Detection Towards Real-Time Traffic Surveillance with UAVs,” *21st International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*, 2024, pp. 1-6. <http://doi.org/10.1109/CCE62852.2024.10771048>.
- [17] F. A. Amarcha, A. Chehri, A. Jakimi, M. Bouya, R. Ahl Laamara, and R. Saadane, “Drones Optimization for Public Transportation Safety: Enhancing Surveillance and Efficiency in Smart Cities,” *IEEE World Forum on Public Safety Technology (WFPST)*, pp. 153-158, 2024. <http://doi.org/10.1109/WFPST58552.2024.00023>.
- [18] A. Singh, and R. K. Tiwari, “AIGuard: Criminal Tracking in CCTV Footage Using MTCNN and ResNet,” *14th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, 2024, pp. 31-35. <http://doi.org/10.1109/Confluence60223.2024.10463292>.
- [19] R. Srinivasan, D. Rajeswari, A. Arivarasi, and A. Govindasamy, “Real-Time Vehicle Classification and License Plate Recognition via Deformable Convolution-Based Yolo V8 Network,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 24, no. 23, pp. 39771-39778, 2024. <http://doi.org/10.1109/JSEN.2024.3453498>.
- [20] I. Valova, T. Kaneva, and N. Valov, “Conceptual Model of a Parking System with Automatic License Plate Recognition,” *IEEE 30th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, 2024, pp. 168-173. <http://doi.org/10.1109/SIITME63973.2024.10814907>.
- [21] I. Tupitsya, V. Kryvonos, I. Gavura, and D. Vasiekin, “Software and hardware module for automated detection and recognition of interest objects to increase the level of processing efficiency and reliability of aerial reconnaissance data,” *Automation of Technological and Business Processes*, № 16 (1), pp. 61-71, 2024. <https://doi.org/10.15673/atbp.v16i1.2773>.
- [22] H. Aljazeera, A. C. Nath, and W. Hardt, “German License Plate Recognition System Using the YoloV8 Model and EasyOCR,” *IEEE CPMT Symposium Japan (ICSJ)*, pp. 176-179, 2024. <http://doi.org/10.1109/ICSJ62869.2024.10804754>.
- [23] M. Bakirci, and I. Bayraktar, “The Cutting-Edge YOLO11 for Advanced Aircraft Detection in Synthetic Aperture Radar (SAR) Imagery,” *8th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies (ISAS)*, 2024, pp. 1-6. <http://doi.org/10.1109/ISAS64331.2024.10845222>.
- [24] *The updated Bayraktar TB2T-AI attack drone has artificial intelligence. Hi-tech*, web site. [Electronic resource]. Available: <https://hi-tech.ua/en/the-updated-bayraktar-tb2t-ai-attack-drone-has-artificial-intelligence>. Accessed: 25.02.2025.
- [25] *The new version of the Bayraktar TB2T-AI has a turbo engine and improved AI. Dev*, web site. [Electronic resource]. Available: <https://dev.ua/en/news/rozumnyi-bairaktar-1740389540>. Accessed: 24.02.2025.
- [26] *Powered by artificial intelligence and a turbo engine, Bayraktar TB2T-AI UCAV takes to the skies. Baykartech*, web site. URL: <https://baykartech.com/en/press/powered-by-artificial-intelligence-and-a-turbo-engine-bayraktar-tb2t-ai-ucav-takes-to-the-skies>. Accessed: 24.02.2025.
- [27] *Artificial intelligence. Baykartech*, web site. [Electronic resource]. Available: <https://baykartech.com/en/artificial-intelligence>. Accessed: 10.03.2025.
- [28] *UAS Solutions for the Modern World. Trakkasystems*, web site. [Electronic resource]. Available: https://trakkasystems.com/unmanned/?utm_source=mv&utm_medium=search&utm_campaign=intent&customer_id=546-629-9909&gad_source=1&gclid=Cj0KCCQjwiLLABhCEARISAJYS6ulbleTxISgIVgC3YJEJzhAjlb6AvXq4Fg9cBb39YGfIPsOQXIRS1QuwaAmNjEALw_wcB&gclid=aw.ds. Accessed: 24.03.2025.
- [29] *The Top 29 Drone Companies in 2025. TheDroneu*, web site. [Electronic resource]. Available: <https://www.thedroneu.com/blog/top-drone-companies/>. Accessed: 24.03.2025.

[30] *Secure Revolutionary ISR Advantages. Avinc*, web site. [Electronic resource]. Available: <https://www.avinc.com/uas>. Accessed: 24.03.2025.

Рекомендована кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 28.04.2025

Тупиця Іван Михайлович — д-р філософії, старший викладач кафедри експлуатації та застосування безпілотних авіаційних систем та комплексів повітряної розвідки, e-mail: ivan20081982@gmail.com ;

Іващук Богдан Миколайович — канд. техн. наук, доцент, начальник інженерно-авіаційного факультету;

Волков Юрій Павлович — канд. техн. наук, заступник начальника інженерно-авіаційного факультету;

Пархоменко Максим Вікторович — канд. техн. наук, доцент кафедри бойового застосування та експлуатації автоматизованих систем управління;

Галена Олександр Григорович — викладач кафедри експлуатації та застосування безпілотних авіаційних систем та комплексів повітряної розвідки

I. M. Tupitsya¹
B. M. Ivashchuk¹
Yu. P. Volkov¹
M. V. Parkhomenko¹
O. H. Halepa¹

Algorithm for Forming a Computer Vision Model in the Interests of an Air Reconnaissance System

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The significant growth of data traffic generated using unmanned aircraft systems and transmitted to the command and control station has increased the requirements for collecting and processing of aerial reconnaissance data. Main requirements include the efficiency of processing aerial monitoring data and the reliability of aerial reconnaissance data. In this regard, the issue of integrating the computer vision and artificial intelligence technologies into the process of processing intelligence information is relevant. Requirements are formed for a computer vision model in the interests of the aerial reconnaissance system, the main ones are the following: provision of automated detection and classification of objects of interest in digital images (video frames); provision of the required level of efficiency of aerial reconnaissance data processing; guaranteeing the possibility of transforming the computer vision model; ensuring the necessary level of reliability of aerial reconnaissance data in the conditions of using UAVs; taking into account the professional competencies of specialists in collecting and processing intelligence information; simplicity of algorithmic implementation; efficiency of model formation.

The algorithm for the formation of a computer vision model is developed in the interest of the air reconnaissance system to increase the efficiency of processing air monitoring data in the conditions of providing the required level of reliability. A distinctive feature of the proposed algorithm is considering the level of operator training and computing power of the unmanned aviation complex (command and control station) to form a computer vision model. This allows to choose one of two approaches to training the model (autonomous, using the resources of open web platforms), which, in turn, allows to create conditions for increasing the efficiency of processing air monitoring data in the conditions of providing the required level of reliability. Further scientific research will be directed for the assessment of the effectiveness of using the proposed approach to increase the autonomy of unmanned aviation systems in the interests of the air reconnaissance system.

Keywords: unmanned aerial vehicle, air reconnaissance, object of interest, digital image, efficiency, reliability, artificial intelligence, computer vision.

Tupitsya Ivan M. — PhD, Senior Lecturer of the Chair of Operation and Application of Unmanned Aviation Systems and Air Reconnaissance Complexes, e-mail: ivan20081982@gmail.com ;

Ivashchuk Bohdan M. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Aviation Engineering;

Volkov Yuri P. — Cand. Sc. (Eng.), Deputy Head of the Department of Aviation Engineering;

Parkhomenko Maksim V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Combat Application and Operation of Automated Control Systems;

Halepa Oleksandr Hr. — Lecturer of the Chair of Operation and Application of Unmanned Aviation Systems and Air Reconnaissance Complexes