

DOI: [10.18372/2410-7840.21.13767](https://doi.org/10.18372/2410-7840.21.13767)  
 УДК 519.254:007.51(045)

## СПОСІБ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПОШУКУ ЦІЛЮВИХ ОБ'ЄКТІВ НА ВІДЕО З БПЛА В РЕЖИМІ ПОСТ-ОБРОБКИ

*Пилип Приставка, Дмитро Гісь, Артем Чирков*

*Актуальними питаннями у сфері управління є питання отримання даних, необхідних для прийняття коректного і своєчасного управлінського рішення. Зокрема для військових або рятувальних задач у ролі таких даних можуть виступати результати проведення повітряної розвідки – відеодані з камери безпілотної повітряної судна (БПЛА), отримані під час польоту над територією, що представляє інтерес. В такому випадку, як показує практика, суттєвою проблемою є значний обсяг отримуваних даних, що ускладнює їх обробку операторами (експертами) у ручному режимі. При цьому завдання забезпечення доступності цільових даних також повинні вирішуватись. Отже, актуальною задачею є забезпечення прийнятнього балансу між доступністю цільових даних (відеоданих – результатів проведення повітряної розвідки), оперативністю та якістю їх обробки. В даній публікації для вирішення зазначеної задачі пропонується спосіб автоматизованого пошуку цільових об'єктів на відеоданих з розвідувальних БПЛА в режимі пост-обробки із використанням адаптивного метода пошуку підозрілих об'єктів у якості автоматичної частини.*

**Ключові слова:** *розвідувальні БПЛА, цільові об'єкти, пошук об'єктів, доступність даних, обробка розвідувальних даних.*

**Вступ.** Збір та обробка розвідувальних даних – необхідні та важливі етапи деяких класів задач, наприклад, військових місій та аварійно-пошукових операцій. Повітряна розвідка є одним зі способів ведення розвідки, причому, як показує практика, ефективним [1]. Її особливістю є значний обсяг отримуваних цільових даних (потік відеокадрів з камери БПЛА), що а) суттєво ускладнює процес їх обробки, б) ставить питання забезпечення доступності цільових даних для оператора, що є особливо актуальним для зазначених вище класів задач. З цього факту очевидно випливає необхідність знаходження практично прийнятного балансу між забезпеченням доступності цільових даних та оптимізацією процесу їх обробки (зокрема, шляхом автоматизації).

**Аналіз існуючих підходів.** Проаналізувавши відкриті джерела (українські й іноземні) – наукові публікації, документацію існуючих розвідувальних БПЛА, веб-сайти їх виробників та/або продавців, тематичні виставки [2]-[8] – можливо зробити наступний висновок: основними векторами розвитку на даний момент є:

- 1) підвищення характеристик, пов'язаних з апаратною частиною (дальність польоту, відеокамера і подібні);
- 2) розширення функціональних можливостей (має місце для систем управління боєм);
- 3) оптимізація окремих інженерних рішень (канал зв'язку – апаратна частина, використовувані операційні системи тощо).

Що стосується існуючих систем з реалізованою можливістю автоматичної (автоматизованої) обробки відеоданих, у відкритих джерелах є інформація про «Project Maven» – БПЛА, який представляє собою розробку Google на замовлення Міністерства оборони США. Його особливістю є використання нейронних мереж для автоматичного пошуку цільових об'єктів на відео з камери БПЛА, що, відповідно, потребує наявності навчальної вибірки значного обсягу (як показує практика використання нейронних мереж – не менше 5...10 тис. прикладів для кожного класу цільових об'єктів), формування якої є окремою трудомісткою і, у випадку військової розвідки, небезпечною задачею.

Результати аналізу інших існуючих класів методів автоматичного пошуку об'єктів на відеоданих наступні. Клас методів Template Matching також потребує базу еталонів; крім цього, деякі методи [9]-[10] не є робастними до шуму, а деякі [11] не забезпечують достатньої швидкодії. Підходи на основі особливих точок і класифікатора [12] вимагають наявності навчальної вибірки та мають етап попереднього навчання. Використання методів сегментації [13]-[17] потребують ручного задання параметрів; крім цього, деякі з них мають неприйнятно низьку швидкодію, деякі не дають прийнятних результатів на зашумлених відеокадрах або на текстурованих областях. Клас методів Active Shape [18], статистичні методи розпізнавання [19], методи, основані на імітації акцентування уваги людиною [20] також потребують навчальної вибірки та мають етап попереднього навчання.

В [21] наводиться опис експериментального зразка автоматизованої системи пошуку цільових об'єктів із використанням БпЛА, яка забезпечує автоматичне формування списку підозрілих об'єктів, вибір з нього об'єкта(-ів), що представляє(-ють) інтерес. Ядром зазначеної системи фактично є метод [22] автоматичного пошуку підозрілих об'єктів на відео з камери БпЛА (далі по тексту – метод), який призначений для пошуку об'єктів, що виділяються на фоні і зустрічаються нечасто, не потребує навчальної вибірки для навчання (самонавчається на перших кадрах відео) [22]. Зазначений метод представляє окремий інтерес. Зокрема, він може бути використаний для обробки відео – в т.ч. в офлайн-режимі – окремо від відповідного БпЛА.

Суть метода [22] наступна. Вводяться такі позначення:  $V$  – відео (послідовність кадрів);  $V_k$  –  $k$ -й кадр,  $V = \{V_k, k = \overline{1, K}\}$ ;  $P_i^{(k)}, i = \overline{1, I_k}$  – патч (від англ. “patch” – в англійській літературі з теорії розпізнавання образів так називають прямокутну частину кадру) розміром  $N_p \times M_p$  пікселів (або  $P_i, i = \overline{1, I}$  – патч без прив'язки до конкретного кадру);  $P_i = \{p_{n,m}^{(i)}; n = \overline{1, N_p}, m = \overline{1, M_p}\}$ ;  $p_{n,m}^{(i)} \in \{0, 1, 2, \dots, 255\}$  – пікселі патча  $P_i$ . Інформацію на відео-кадрах пропонується ділити на три типи:

–  $T$  – множина однорідних фрагментів, що характеризують цілісні образи, з відносно малою варіабельністю та які часто зустрічаються – такими фрагментами є текстури: трава, вода, пісок тощо;

–  $F$  – множина неоднорідних фрагментів, що характеризують цілісні образи, з відносно великою варіабельністю та які зустрічаються часто – такими фрагментами можуть бути забудови, деякі сільськогосподарські культури тощо;

–  $S^*$  – цільові об'єкти, які виділяються на фоні інших об'єктів і зустрічаються нечасто.

Таким чином, метод [22], на відміну від проаналізованих методів [9]-[20], а) не потребує навчальної вибірки (бази еталонів), оскільки реалізує пошук об'єктів не конкретних класів, а всіх підозрілих (такими вважаються об'єкти, які виділяються на фоні інших і зустрічаються нечасто), б) самонавчається на перших відеокадрах (отже, не потребує окремого етапу попереднього навчання).

В якості ознак для розпізнавання у методі [22] пропонується використовувати одновимірні гістограми, які обчислюються для кожного патча  $P_i$ .

Для завдань повітряної розвідки окремою задачею є отримання розвідувальних відеоданих в умовах радіоелектронної протидії. Одним із можливих способів її вирішення є виконання польоту БпЛА в режимі радіотипі з подальшою обробкою отриманих відеоданих після приземлення [1], що з більшою ймовірністю забезпечить їх доступність для оператора, але суттєво знизить [1] ступінь оперативності їх отримання. При цьому актуальним питанням залишається автоматизація процесу обробки, що зумовлюється значним обсягом відеоданих.

**Метою роботи** є автоматизація процесу пошуку цільових об'єктів на відео з БпЛА в режимі пост-обробки.

**Постановка задачі.** З урахуванням того факту, що автоматизація процесу обробки відео потенційно може підвищити швидкість обробки, але практично не може покращити результати в порівнянні з роботою експерта предметної області (оператора), постановка задачі даної публікації формулюється наступним чином: запропонувати такий спосіб автоматизованого пошуку цільових об'єктів на відео з БпЛА шляхом пост-обробки зазначених відеоданих, який би забезпечував прийнятний баланс доступності цільових даних, оперативності та якості їх обробки.

**Викладення основного матеріалу.** Пропонується наступний спосіб пост-обробки відеоданих з камери БпЛА (рис. 1).

Суть запропонованого способу полягає у заміні процесу повністю ручного перегляду відеоданих оператором процесом автоматичного пошуку потенційно цільових об'єктів із використанням метода [22] з подальшим переглядом отриманого списку об'єктів оператором. Основною перевагою такого способу є можливість паралельної автоматичної обробки декількох відео (оператор при цьому переглядає сформований загальний список).

Алгоритм обробки відеоданих наступний:

- задати параметри метода [22];
- безпосередньо застосувати метод для пост-обробки відеоданих (можливо, в декілька потоків);
- переглянути отримані патчі у ручному режимі;
- якщо кількість неправильних спрацювань розцінена оператором як значна – повторити спосіб з іншим набором параметрів метода.

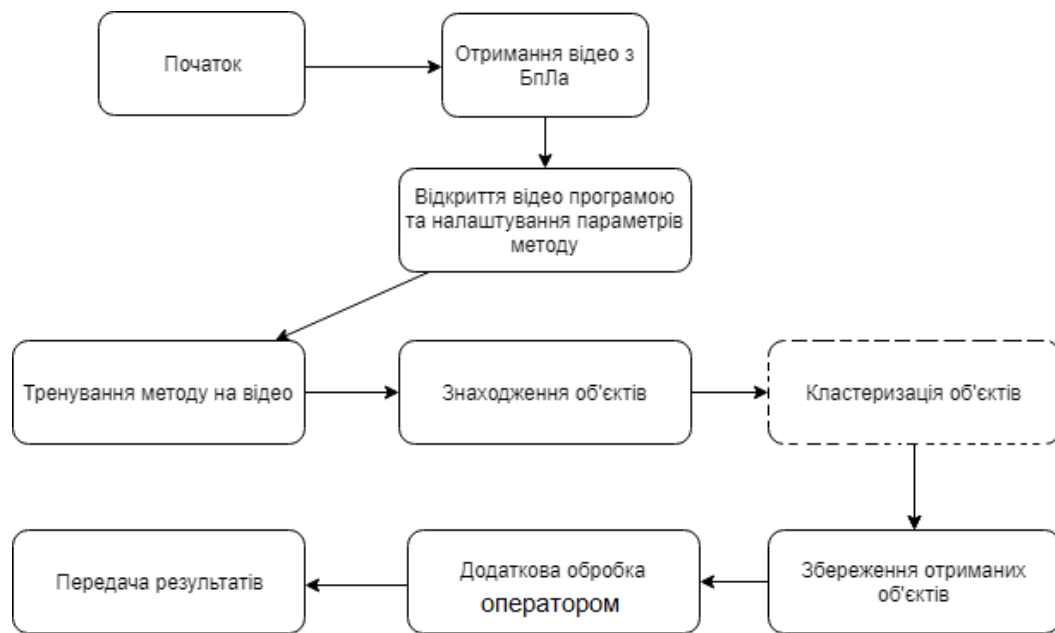


Рис. 1. Схематичне зображення запропонованого способу автоматизованої пост-обробки відеоданих з БпЛА

*Програмне забезпечення.* На основі запропонованого способу автоматизованого пошуку цільових об'єктів на відео з БпЛА та запропонованого алгоритму обробки відеоданих було розроблено програмне забезпечення (ПЗ) – їх реалізацію. Розроблене ПЗ має таку функціональність:

- Задання параметрів для метода [22] пошуку цільових об'єктів.
- Обробка відеоданих у декілька потоків.
- Можливість призупинення та продовження обробки.
- Моніторинг процесу роботи (самонавчання, пошук, збереження) – окремо по кожному відео та глобально по всім відео.

```

[DllImport(_DLL_PATH,
    CallingConvention = CallingConvention.Cdecl,
    CharSet = CharSet.Unicode,
    EntryPoint = "histDetectorDetect")]
unsafe static extern void* histDetectorDetect(void* histDetector, byte[] frameData, int lenData, out int targetCount);
  
```

Рис. 2. Лістинг програмного коду – приклад оголошення функції на C#, реалізація якої міститься в динамічній бібліотеці \*.dll

Діаграму класів наведено на схемі (рис. 3).  
Опис класів:

- Roi – місце розташування патча на кадрі;
- Target – цільова інформація: містить об'єкт Roi і допоміжні дані відносно патча – рівень підозрілості (SuspicionLevel);
- PatchInfo – дані про патч: власне патч (зображення), номер кадру і цільова інформація з Target. У термінах теорії програмування фактично є декоратором для Target;

Метод [22] реалізовано на мові програмування C++. Інтерфейсну частину ПЗ – на мові програмування C#. Використання програмного коду на C++ у програмному коді на C# виконується стандартним способом, а саме:

- Код, написаний на C++, компілюється як динамічна бібліотека \*.dll.
- Для взаємодії managed-коду (C#) з unmanaged-кодом (C++) використовується механізм Platform Invoke (рис. 2).
- В результаті стає можливим використання функцій, реалізованих на C++, у кодї на C#. При компіляції останнього компілятор видасть виконуваний файл \*.exe, який за наявності відповідної бібліотеки \*.dll запускається безпосередньо.

- PatchMakerOptions – параметри метода [22];
- VideoTrackerOptions – налаштування для обробки відео;
- VideoViewer – відповідає за перегляд відео (є реалізацією IEnumerable<Mat>, що полегшує взаємодію з кадрами з відео);
- VideoViewerEnumerator – допоміжний клас;

- VideoPatchMaker – основний об’єкт, у якому відбувається основна робота по обробці відео;
- ProcessState – стан обробки відео (пауза, стоп та «у роботі»);

- WorkState – стадія обробки (Тренування, Detecting, Saving);
- ProgressByState – об’єкт для стеження за процесом (містить статус процесу обробки для відповідного WorkState).

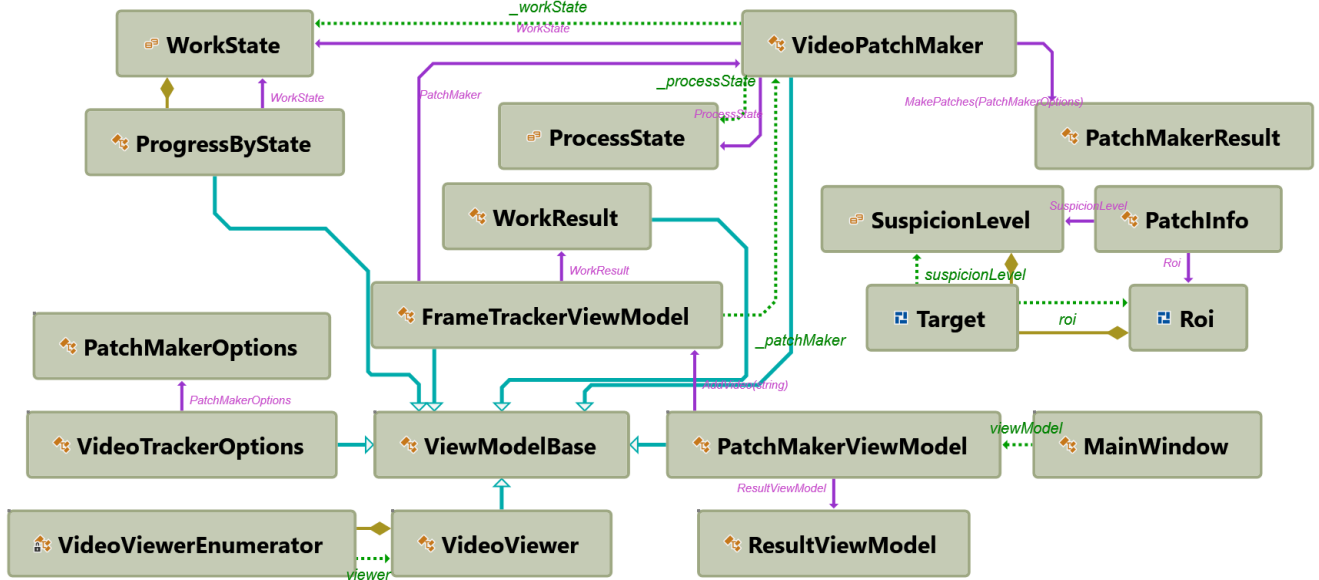


Рис. 3. Діаграма класів розробленого ПЗ

Інші класи на схемі є допоміжними.

*Приклад роботи ПЗ.* Приклад роботи ПЗ наведено на рис. 4 (рис. взято з [1], результати обробки тестових відео із застосуванням розробленого ПЗ аналогічні).

*Кількісні характеристики запропонованого способу обробки відео.* Перевірка запропонованого способу за кількісними критеріями проводилась на анотованій (розміченій) базі відео. Методика проведення тестування: на кожному кадрі метод визначає набір підозрілих (цільових) областей, кожна з яких порівнюється з розміткою. Якщо площа перекриття знайденої області та розмітки значна – результат вважається коректним (true positive), інакше – некоректним. Застосували зазначену

методику до всіх кадрів тестової вибірки, отримуються значення:  $TP_{об}$  – загальна кількість коректно знайдених цільових об’єктів,  $TP_{nam}$  – загальна кількість коректних патчів,  $N_{об}$  – загальна кількість цільових об’єктів у тестовій вибірці,  $N_{nam}$  – загальна кількість отриманих за допомогою метода ПЦО патчів. Далі обчислюються стандартні для computer vision характеристики Precision (Pr) і Recall (R) за наступними формулами:

$$Pr = \frac{TP_{nam}}{N_{nam}}, R = \frac{TP_{об}}{N_{об}}$$

В табл. 1 наведено результати перевірки запропонованого способу із використанням зазначеної методики.

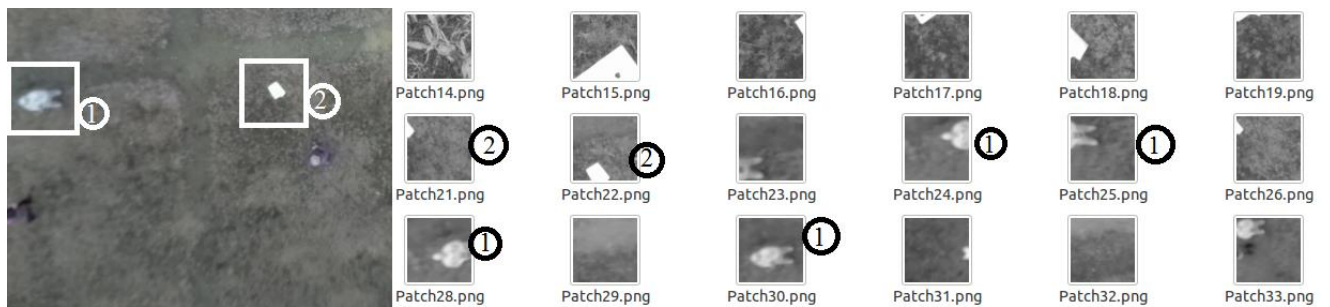


Рис. 4. Приклад частини відеокадру, список цільових патчів, знайдених на відповідному відео [1]

Таблиця 1  
Кількісні характеристики якості роботи метода

	$TP_{об}$	$TP_{нам}$	$N_{об}$	$N_{нам}$	Pr, %	R, %
М	28	934	38	12639	7,39%	73,68%

Значення  $Pr = 7,39\%$  є практично прийнятним з урахуванням напівавтоматичного характеру запропонованого способу. Відносно низьке значення R пов'язано з особливістю тестових даних –

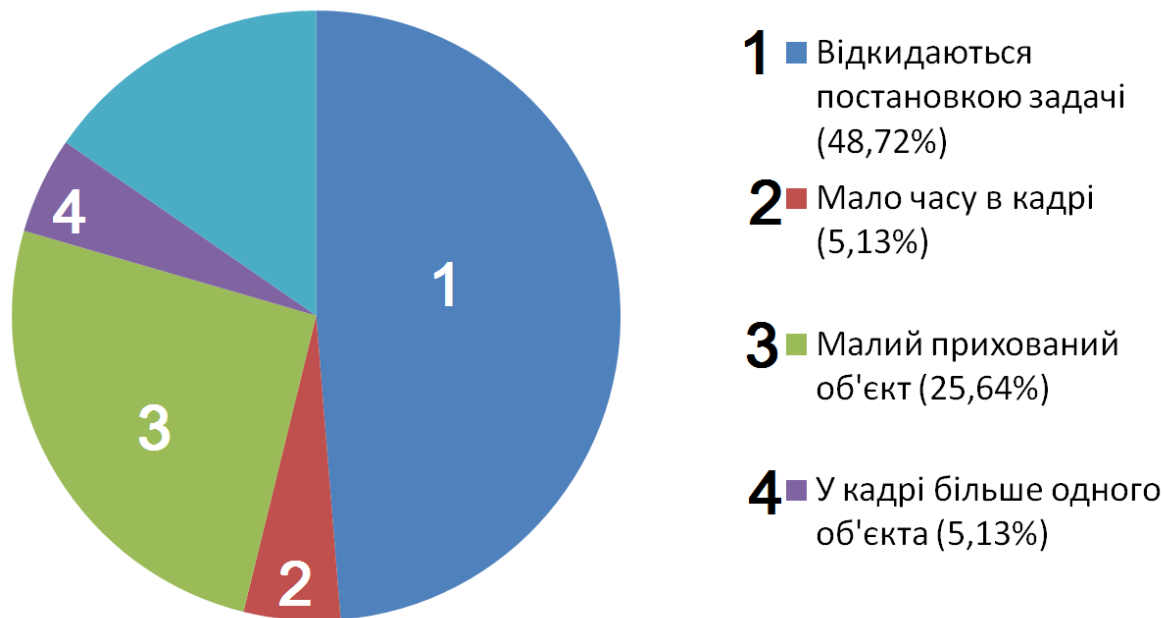


Рис. 5. Деталізація причин незнаходження цільового об'єкта методом

**Висновки.** Запропоновано спосіб автоматизованого пошуку цільових об'єктів на відеоданих з камери БПЛА в режимі пост-обробки із використанням відповідного адаптивного математичного метода [22]. В результаті апробації запропонованого способу на анотованій тестовій вибірці (базі відео) зроблено висновок про його практичну прийнятність у термінах постановки задачі даної публікації. Процент неправильних спрацювань  $(1 - Pr)$  також є прийнятним з урахуванням напівавтоматичного характеру запропонованого способу, але потенційно може бути зменшеним.

Крім цього, запропонований спосіб може забезпечити прийнятний рівень інформаційної безпеки процесу ведення повітряної розвідки – шляхом забезпечення доступності цільових даних при одночасному підвищенні ступеня автоматизації процесу їх обробки (що може підвищити якість отримуваних результатів і швидкість їх отримання, оскільки відповідні розвідувальні комплекси є ергатичними).

**Подальші дослідження** можуть бути направлені на розвиток запропонованого способу,

наприклад, частина незнайдених об'єктів знаходиться на перших відеокадрах, на яких метод само-навчається, – або з особливістю анотації (розмітки). На діаграмі (рис. 5) деталізовано зазначені особливості.

Таким чином, з 10 ( $N_{об} - TP_{об}$ ) цільових об'єктів, не знайдених на тестових відео, 7–8 об'єктів не було знайдено через особливості тестових даних.

наприклад, у бік зменшення процента неправильних спрацювань шляхом застосування до списку отриманих патчів алгоритма(-ів) кластеризації та/або класифікації (див. рис. 1).

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1]. А. Чирков, П. Приставка, "Методологія безпечної передачі цільових відеоданих з літального апарата в умовах обмеженого часу сеансу зв'язку", *Безпека інформації (Ukrainian Scientific Journal of Information Security)*, 24(1), С. 13-16, 2018. doi:10.18372/2225-5036.24.12608.
- [2]. ComBat Vision. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://combat.vision/>.
- [3]. Warmate. WB Electronics. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://wb.com.pl/warmate-en/?lang=en>.
- [4]. Warmate (БПЛА). Вікіпедія. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Warmate\\_\(%D0%91%D0%9F%D0%9B%D0%90\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Warmate_(%D0%91%D0%9F%D0%9B%D0%90)).
- [5]. Defence Software. Command and Control. Interoperability. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://systematic.com/defence/>.

- [6]. Warfighter Information Network-Tactical (WIN-T) - General Dynamics Mission Systems. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gdmis-sionsystems.com/c4isr/warfighter-information-network-tactical-win-t/>.
- [7]. Force XXI Battle Command Brigade and Below (FBCB2). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/cb40/aeb3ca16cec0a0008c21409ebb9ff008084c.pdf>.
- [8]. Matrix UAV. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://muav.com.ua/>.
- [9]. D. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features", In: *Proc. of the 7<sup>th</sup> IEEE International Conference on Computer Vision*, Greece, September 1999. <https://dx.doi.org/10.1109%2FICCV.1999.790410>.
- [10]. H. Bay, T. Tuytelaars, L. Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features", *Computer Vision – ECCV 2006. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3951, 2006. [https://doi.org/10.1007/11744023\\_32](https://doi.org/10.1007/11744023_32).
- [11]. F. Alsaade, "Fast and Accurate Template Matching Algorithm Based on Image Pyramid and Sum of Absolute Difference Similarity Measure", *Research Journal of Information Technology*, vol. 4, issue 4, pp. 204-211, 2012. <http://dx.doi.org/10.3923/rjit.2012.204.211>.
- [12]. P. Viola, M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features", *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*, USA, 2001. doi:10.1109/CVPR.2001.990517.
- [13]. N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 9, iss. 1, pp. 62-66, 1979.
- [14]. J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, volume PAMI-8, iss. 6, pp. 679-698. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>.
- [15]. S. Lloyd, "Least squares quantization in PCM", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 28, iss. 2, pp. 129-137. <https://doi.org/10.1109/IT.1982.1056489>.
- [16]. L. Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, A. Yuille, "DeepLab: Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets, Atrous Convolution, and Fully Connected CRFs". <https://arxiv.org/abs/1606.00915>.
- [17]. G. Papandreou, L. Chen, K. Murphy, A. Yuille, "Weakly- and Semi-Supervised Learning of a DCNN for Semantic Image Segmentation". <https://arxiv.org/abs/1502.02734>.
- [18]. T. Cootes, C. Taylor, D. Cooper, J. Graham, "Active Shape Models – Their Training and Application", *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 61, iss. 1, pp. 38-59. <https://doi.org/10.1006/cviu.1995.1004>.
- [19]. А. Горелик, В. Скрипкин, *Методы распознавания. Учеб. пособие. 2-е изд.* М.: Высш. шк., 1984.  
S. Gotovac, V. Papić, Ž. Marušić, "Analysis of saliency object detection algorithms for search and rescue operations", *2016 24th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, Split, Croatia, September 2016. <https://doi.org/10.1109/SOFTCOM.2016.7772118>.
- [20]. П. Приставка, В. Сорокопуд, А. Чирков, "Експериментальний зразок автоматизованої системи пошуку підозрілих об'єктів на відео з безпілотного повітряного судна", *Системи озброєння і військова техніка*, 50(2), С. 26-32, 2017.
- [21]. А. Чирков, П. Приставка, "Метод пошуку підозрілих об'єктів на відео з камери літального апарата на основі гістограмних оцінок", *Наукоємні технології*, 38(2), С. 210-219, 2018. doi:10.18372/2310-5461.38.12827.

#### СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОИСКА ЦЕЛЕВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕО С БПЛА В РЕЖИМЕ ПОСТ-ОБРАБОТКИ

Актуальными вопросами в сфере управления являются вопросы получения необходимых для принятия своевременного и корректного управленческого решения данных. В частности, для военных задач и спасательных операций в качестве таких данных могут выступать результаты проведения воздушной разведки – видеоданные с камеры беспилотного воздушного судна (БПЛА), полученные во время полёта над территорией, представляющей интерес. В этом случае, как показывает практика, существенной проблемой является значительный объём получаемых данных, что усложняет их обработку операторами (экспертами) в ручном режиме. При этом вопросы обеспечения доступности целевых данных также должны быть решены. Таким образом, актуальной задачей является обеспечение приемлемого баланса между доступностью целевых данных (видеоданных – результатов проведения воздушной разведки), оперативностью и качеством их обработки. В данной публикации для решения указанной задачи предлагается способ автоматизированного поиска целевых объектов на видеоданных с разведывательных БПЛА в режиме пост-обработки с использованием адаптивного метода поиска подозрительных объектов в качестве автоматической части.

**Ключевые слова:** разведывательные БПЛА, целевые объекты, поиск объектов, доступность данных, обработка разведывательных данных.

### TECHNIQUE FOR AUTOMATED TARGET OBJECT SEARCH IN VIDEO STREAM FROM UAV IN POST-PROCESSING MODE

Data obtaining tasks for correct and relevant management decision making purposes are important. Particularly, in military and rescue areas such data is videodata from an unmanned aircraft vehicle (UAV) camera obtained during its flight over a territory-of-interest. In this case large size of obtained data means a significant problem because of complicating of its manual processing by operator (expert). In addition, data availability must be provided. In practice, the mentioned task is usually solved by recording target videodata onboard during the UAV flight followed by recorded videodata processing after the UAV landing e.g. on the ground control station, i.e. in offline mode. It is obviously to see that using this technique doesn't solve the problem of complicated target data processing due to manual approach. As for automation of target data processing, as practice shows, every object detection method can potentially decrease processing time, but cannot increase processing quality in comparison with manual processing by operator (expert). Thus, task of ensuring an appropriate balance between availability of target data (videodata from UAV), automation and quality of its processing is relevant. This article i) proposes the technique for automated target object search in videodata from reconnaissance UAVs in post-processing mode by using an adaptive suspicious object search method as an automatic part, ii) describes the corresponding program implementation on C++ for detection method, C# for the user interface part and [standard] platform invoke technique for using the first code (C++) inside the last (C#), iii) shows quantitative characteristics calculated on the set of test videodata. The proposed technique is considered as an appropriate way to solve the specified task.

**Keywords:** reconnaissance UAV, target objects, object search, data availability, reconnaissance data processing.

**Приставка Пилип Олександрович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики Національного авіаційного університету.

Email: chindakor37@gmail.com.

Orcid ID: 0000-0002-0360-2459.

**Приставка Филипп Александрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики Национального авиационного университета.

**Prystavka Pylyp**, Doctor of Engineering Science, Professor, head of applied mathematics department of the National Aviation University.

**Гісь Дмитро Ігорович**, студент кафедри прикладної математики Національного авіаційного університету.

Email: a.chyrkov@nau.edu.ua.

Orcid ID: 0000-0001-7214-6381.

**Гись Дмитрий Игоревич**, студент кафедры прикладной математики Национального авиационного университета.

**His Dmytro**, student of applied mathematics department of the National Aviation University.

**Чирков Артем Валерійович**, молодший науковий співробітник науково-дослідної частини Національного авіаційного університету.

Email: a.chyrkov@nau.edu.ua.

Orcid ID: 0000-0001-6582-8018.

**Чирков Артём Валерьевич**, младший научный сотрудник научно-исследовательской части Национального авиационного университета.

**Chyrkov Artem**, junior researcher of Research Department of the National Aviation University.