

**МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВОРОНОК НА ПОЛЯХ
ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ ШЛЯХІВ НАЗЕМНИХ РОБОТІВ
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

А. О. Дудник, кандидат технічних наук, доцент

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

О. О. Опришко, кандидат технічних наук, доцент

Ю. Л. Цищорський, інженер

Д. Є. Жук, аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: d.zhuk@nubip.edu.ua

Анотація. Стаття присвячена питанню розпізнавання ушкоджень на полях, що виникли в ході бойових дій. У роботі досліджуються методи попередньої обробки зображення, спрямовані на полегшення розпізнавання об'єктів. Для дослідження використовувалися супутникові зображення, отримані із безкоштовного сервісу Google earth pro (ver 7.3), обробка здійснювалася у спеціально розробленому авторському програмному забезпеченні SurfaceAnalysis, розробленому на мові Python. Спочатку розглядається побудова контрастного зображення, що перетворює його з кольорового на монохромне (чорно-біле), а також виділяє ключові текстурні особливості знімку. Для подальшого підсилення видимості об'єктів розглядається застосування розмиття за Гаусом. Досліджується вплив зміни стандартного відхилення на виразність шуканих елементів. Запропоновано алгоритм пошуку потенційних об'єктів із визначенням їх розташування та меж для подальшого їх розпізнавання на основі зображення, отриманого розмиттям Гауса. Проведені експерименти демонструють, що коригування параметрів алгоритму дозволяє досягти значного покращення точності попереднього розпізнавання об'єктів.

У результаті було встановлено, що попередня цифрова обробка зображення перед розпізнаванням може полегшити пошук потенційних об'єктів. Передбачається, що цей підхід дозволяє значно спростити структуру майбутньої нейронної мережі, що здійснюватиме розпізнавання. Дослідження будуть продовжені з метою оцінки інших методів попередньої обробки, вдосконалення вже наявних алгоритмів та порівняння результатів тренувань нейронних мереж на оброблених і необроблених зображеннях.

Ключові слова: БПЛА, воронки, моніторинг, Python, розмиття за Гаусом

Актуальність. Робототехніка на початку 21 століття принципово змінила підходи до організації бойових дій, а також забезпечила нові можливості відповідним службам в надзвичайних ситуаціях. Ще в 2004 році в роботі J. Khurshid (2004) [1] було описано перспективи спеціалізованих роботів для військових потреб. Із розвитком систем штучного інтелекту можливості роботів на військовій службі зросли, і, за даними С. Zhai (2023) [2], кількість роботів навіть на тактичному рівні в армії США зросте в кілька разів. Створюються спеціальні наземні роботи для потенційно небезпечних об'єктів, таких як автомобільні заправки, показані в роботі S. Wang (2017) [3], аеродромної інфраструктури P. Zhao (2018) [4], охорони здоров'я в умовах пандемії, як показано в N. Valchkova (2023) [5], тощо. Особливу увагу стосовно наземних роботів для військових та спеціальних потреб приділяють саме питанням організації сучасної логістики, як показано в роботах Q. Meng (2012) в [6] та W. Pang (2021) [7], яка залишається проблемним місцем для військових та спеціальних операцій.

Війна в Україні на Європейському континенті з часів Другої Світової війни не мала аналогів щодо кількості використаних потужних артилерійських снарядів та авіабомб. Відповідно, роботи для забезпечення логістики опинилися в ситуації, коли на полі бою можлива поява великої кількості несподіваних перешкод, зумовлених воронками від вибухів. Це принципово відрізняється від стандартних умов для правоохоронних та спеціальних служб, описаних в X. Duan (2008) [8], де враховувались стабільні елементи рельєфу, а саме канави, схили, вцілілі та зруйновані будівлі, тощо. При раптовій появі перешкод, зумовлених вибухами, вибір оптимальних маршрутів має визначатись за іншими підходами, як показано в роботі J. Feng (2023) [9].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання ідентифікації об'єктів для потреб наземних роботів, створених для військових та спеціальних цілей, розглядається в численних дослідженнях. Розповсюдженою схемою для керування наземними роботами є клієнт-серверні рішення, такі як показані в U. Hashmi (2013) [10], проте в сучасних умовах розповсюдженими є засоби радіоелектронної боротьби, які здатні вивести з ладу такі системи. У роботі L. Zhang (2023) в [11]

проведено дослідження щодо використання наземного робота, який орієнтується завдяки засобам технічного зору, проте обов'язковою умовою експлуатації є застосування вбудованих джерел освітлення. Фари демаскують наземного робота і принципово питання можна вирішити при залученні, наприклад, тепловізора, але специфікою сучасних логістичних роботів є мала висота і відповідно сектор огляду буде малим.

Можливим варіантом є використання попередньої розвідки з використанням супутників та БПЛА, як показано в роботі С. D. В. Borges (2017) [12], проте ситуація при надзвичайних ситуаціях може змінитись вже під час маршруту, відповідно такий підхід має обмеження. Вирішенням цього недоліку може бути постійна автономна розвідка, тобто поєднання БПЛА та наземних дронів, як показано в S. Zhang (2022) [13] та D. H. Nguyen (2023) [14]. Такі рішення доволі ефективні, оскільки вдало використовуються в природі вовками, які взаємодіють з воронами для пошуку здобичі.

Тобто, найбільш перспективною є взаємодія наземного робота із БПЛА, що може здійснюватися і в автономному режимі. Зокрема, такі рішення підпадають під технології інтернету речей, які стосовно БПЛА показані в роботі А. А. Mamun Anik (2023) [15]. Проблемою в такій взаємодії традиційних БПЛА є малий час польоту, обумовлений використанням акумуляторів, проте серійно випускаються і БПЛА, живлення яких здійснюється за допомогою кабелю, як показано в X. Yang (2021) [16], тобто рішення взаємодії вже може бути реалізовано апаратно.

Моніторинг місцевості з використанням БПЛА, в тому числі для потреб наземних роботів, показаний в роботі N. Kiktev (2023) [17], де з використанням тепловізійного устаткування ідентифікують міни та снаряди, розкладені на поверхні землі. Так само як і в попередній роботі з використанням нейронних мереж в роботі N. Kiktev (2023) [18] на знімках високої роздільної здатності у видимому діапазоні (від 0,3 м/піксел) здійснювали ідентифікацію воронок. Було отримано позитивні результати щодо ідентифікації, проте цілком можлива ситуація заповнення воронок водою після дощу, і можливість ідентифікації завдяки запропонованим рішенням незрозуміла.

Мета дослідження – розробка методики оперативної ідентифікації воронки для розрахунку маршрутів логістичних наземних роботів спеціального призначення.

Матеріали та методи дослідження. Для досліджень використовували безкоштовні супутникові знімки (рис. 1) від сервісу Google earth pro (ver 7.3). Розглядали воронки на полях з координатами 50°38'17"N 30°13'22"E, дата зйомки: 07.04.2022. Роздільна здатність знімків, виконаних у видимому діапазоні спектру, становила від 0,2 м/піксель. За архівними даними від вищезгаданого сервісу за цими координатам воронки відсутні. Відповідно вважали, що ці воронки утворились внаслідок бойових дій на території України в результаті збройного конфлікту впродовж лютого-березня 2022 року.



**Рис. 1.1. Зображення поля
11.06.2019
(неушкоджене поле)**



**Рис. 1.2. Зображення поля
14.03.2022
(воронки під сніговим покривом)**

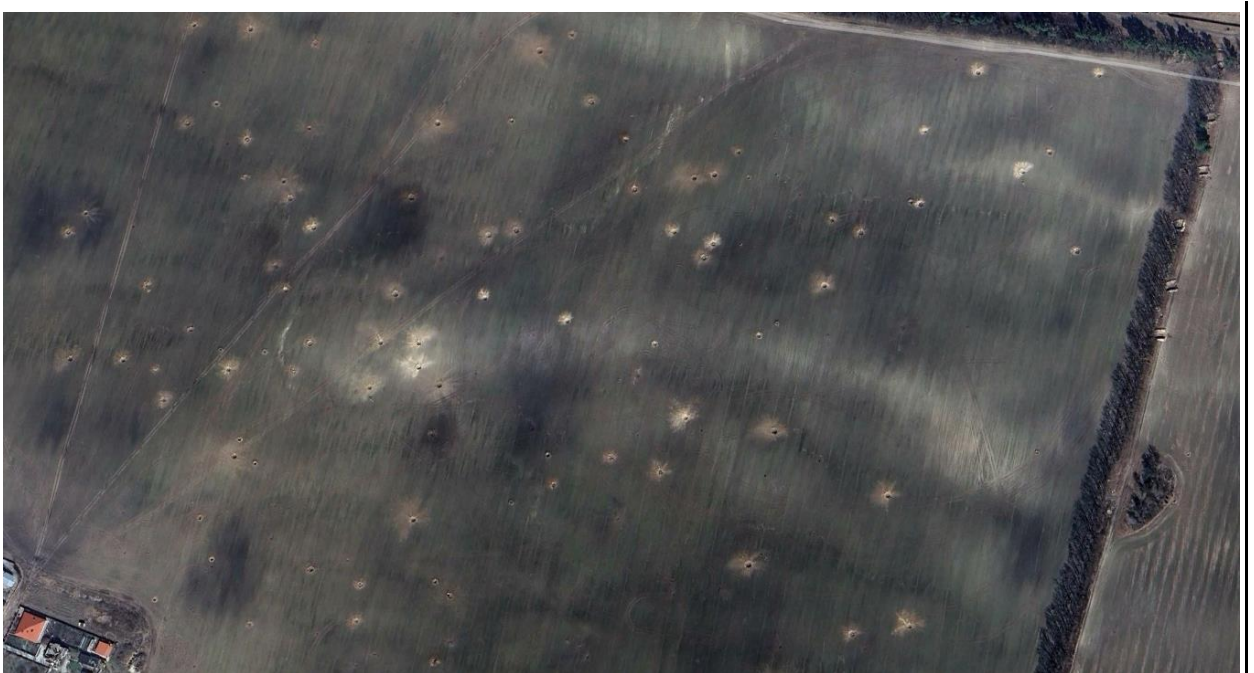


Рис. 1.3. Зображення поля 07.04.2022

З фрагменту для дослідження, рис. 2, видно, що неушкоджені ділянки поля характеризується відносно однорідною колірною гамою з плавним переходом відтінків, на відміну від ділянок землі, де розташована воронка. Це спричинено перш за все нерівністю поверхні, відтак на зображенні утворюються місця із білками та затіннюванням, розташовані близько один до одного.



Рис. 2. Зображення для дослідження.

Координати: 50°38'17"N 30°13'22"E, (дата зйомки 2022.04.07)

Дослідження проводилось за допомогою розробленого авторами програмного продукту SurfaceAnalysis на мові Python (рис. 3).

Алгоритм програми:

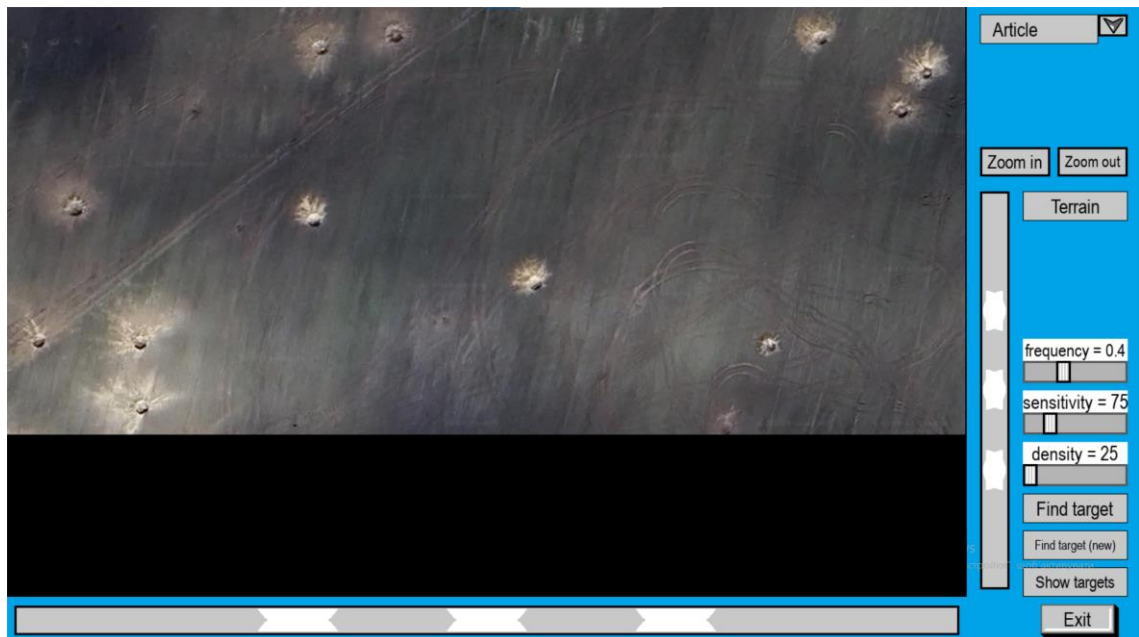


Рис. 3. Інтерфейс програми для проведення дослідження

При створенні програмного продукту вважали, що задавши інтенсивність кожного пікселя, як різницю між спектральними інтенсивностями сусідніх пікселів, можна отримати його контрастне зображення, тим самим виділити нерівності на зображенні.

Обробка зображення здійснюється за формулою (1):

$$V_{ter\ i,j} = |V_{image\ i,j} - V_{image\ i-1,j}| + |V_{image\ i,j} - V_{image\ i,j-1}| \quad (1)$$

де V_{image} – матриця значень кольорів вхідного зображення, V_{ter} – матриця значень інтенсивності пікселів вихідного зображення, i, j – номер рядка та стовпця відповідно.

Схематично алгоритм функції представлений на рис. 4.

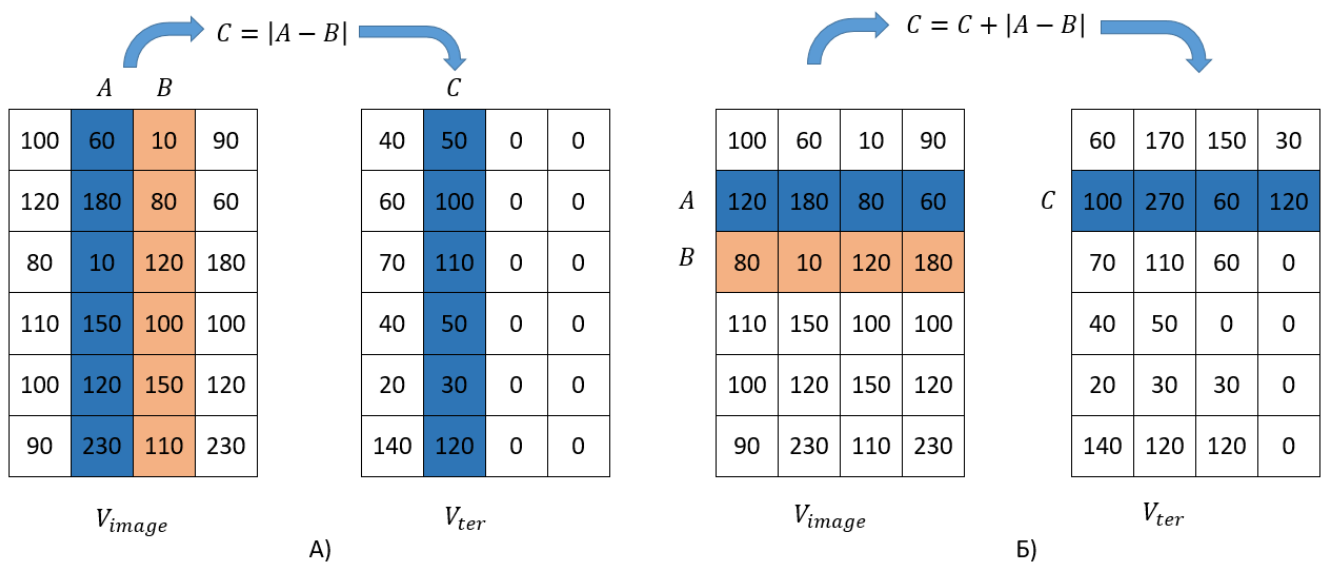


Рис. 4. Алгоритм отримання контрастного зображення.

Визначення абсолютної різниці між інтенсивностями кольорів за стовпцями (А) та рядками (Б)

Результати досліджень та їх обговорення. Результат обробки експериментального фото представлено на рис. 5. Отримане зображення дає нам певну інформацію про нерівності поверхні та форму об'єктів. На зображенні чітко окреслені межі валу та кратеру деяких воронок (група 3), а також стали видні колії техніки (група 4).

Разом з тим помітно, що частина об'єктів має меншу інтенсивність білого (група 1), у порівнянні з іншими (група 2). Це зумовлено різною контрастністю

об'єктів у кольорах на вхідному зображенні. Наприклад, більш глибокі воронки створюють більшу тінь. Також на це може впливати вік, рослинність, положення Сонця та інше. А оскільки всі значення масштабуються до певного діапазону, переважаючий контраст пригнічує менш значущі і робить їх менш помітними.

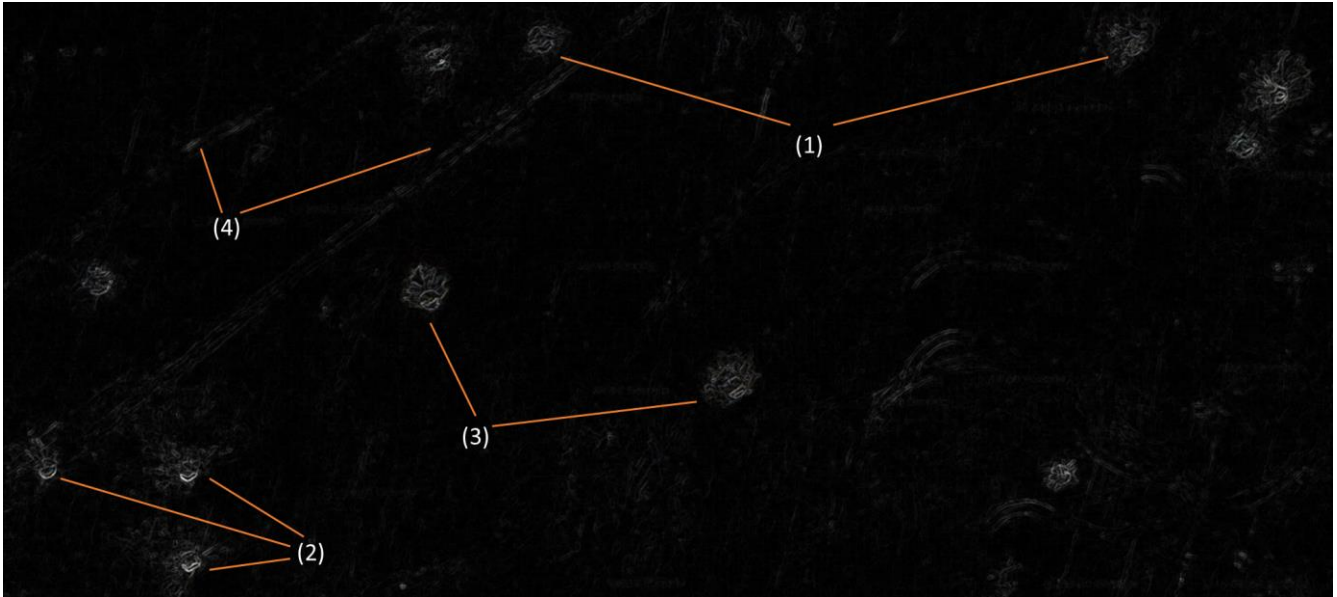


Рис. 5. Результат обробки зображення

Для усунення цього недоліку пропонується використання розмиття за Гаусом [19]. Ця техніка широко використовується для згладжування зображень, фільтрації, сегментації та розпізнавання країв образів. Для побудови ядра візьмемо поверхню Гауса:

$$f(x,y) = e^{-\left(\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)} \quad (2)$$

Відповідно до завдання буде формуватися Гаусівське ядро з непарною кількістю рядків та стовпців. Елементами матриці будуть відповідні значення поверхні Гауса $f(i,j)$, де i,j – відповідно номер рядка та номер стовпця. Розмірність ядра $n \times n$ залежатиме від ширини розподілу σ , що можна задавати програмно. Оскільки за властивістю кривої Гауса близько 99.7 % об'єму під поверхнею знаходиться в межах $\pm 3\sigma$, то розмірність визначатиметься за формулою (3):

$$n = 1 + 6\sigma \quad (3)$$

Щоб коефіцієнт кореляції рівний 1 знаходився всередині матриці, математичне сподівання μ буде рівне індексу середнього рядка/стовпця

$$\mu = 1 + 3\sigma \quad (4)$$

Відповідно можемо звести рівняння (2) до наступного вигляду

$$\square(i,j) = e^{-\frac{1}{2}\left(\left(\frac{i-\mu}{\sigma}\right)^2 + \left(\frac{j-\mu}{\sigma}\right)^2\right)} \quad (5)$$

де $\sigma \in \mathbb{N}$.

Приклад Гаусівського ядра наведений на рисунку 6.

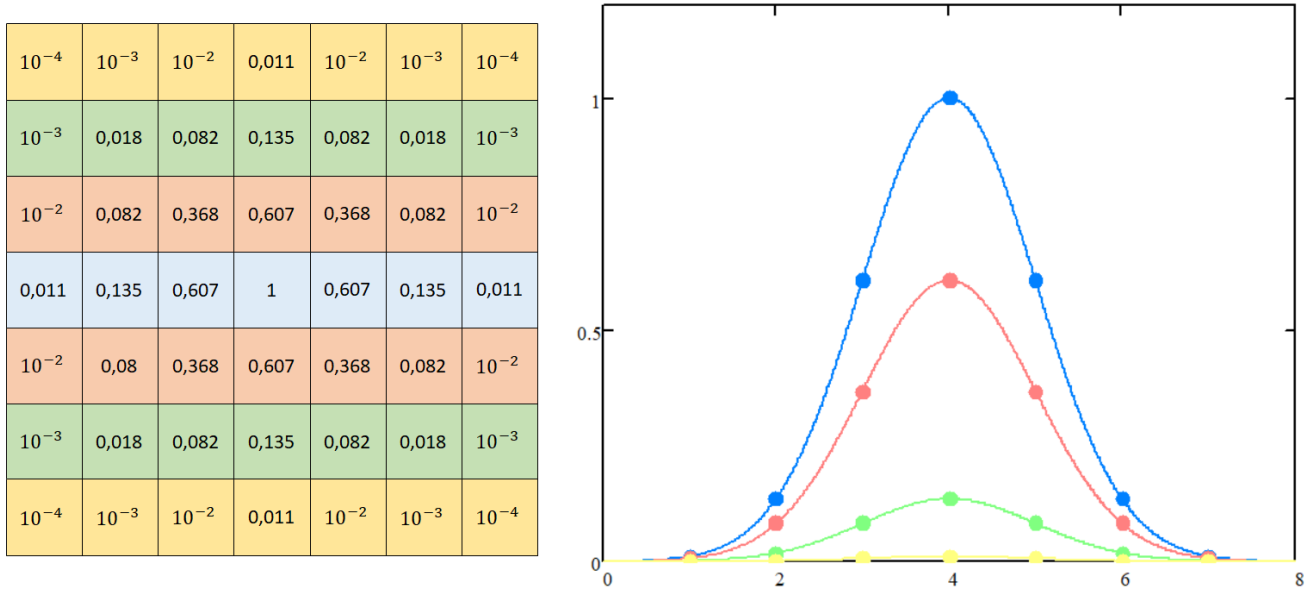


Рис. 6. Гаусівське ядро при $\sigma=1$

Наступним кроком є побудова нової поверхні, що буде визначатися згортокою Гаусівського ядра V_{gauss} та матриці контрастного зображення V_{ter} (6):

$$V_{\text{blur}} = (V_{\text{gauss}} * V_{\text{ter}})^2 \quad (6)$$

Піднесення до квадрату здійснюється для підсилення фільтрації зображення.

Результати обробки дослідного зображення з використанням розмиття Гауса при різних значеннях σ представлено на рис 7.

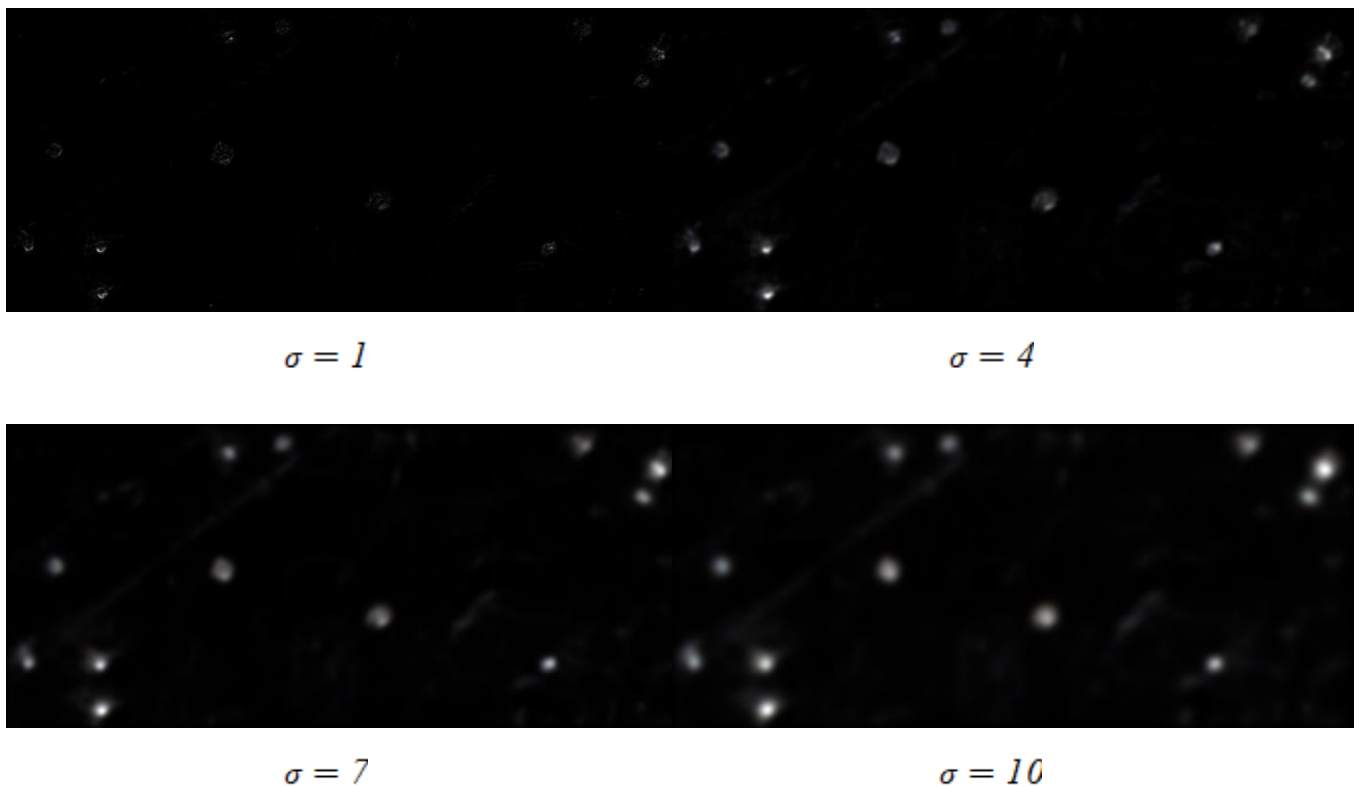


Рис. 7. Згортки зображень при різних значень σ

При $\sigma = 1$ збереглися лише найбільш чітко виражені силуети об'єктів, при $\sigma = 4$ та 7 відбувається підсилення помітності елементів, що були відфільтровані на попередньому зображенні, при $\sigma = 10$ крім підсилення інтенсивності шуканих об'єктів спостерігаємо також появу сторонніх елементів на зображенні, таких як сліди від техніки.

Для пошуку потенційних об'єктів на кінцевому зображенні пропонується алгоритм, представлений на рис. 8, що базується на знаходженні максимального значення в матриці із поступовим охопленням об'єкта до умовної межі. Пошук буде налаштовуватись такими параметрами: порогова інтенсивність білого кольору d , що прийматиметься за потенційний об'єкт; мінімальна інтенсивність m , що приймається як межа об'єкта; коефіцієнт q , що визначає мінімальну частку пікселів об'єкта, що підпадають у діапазон $[m; d]$.

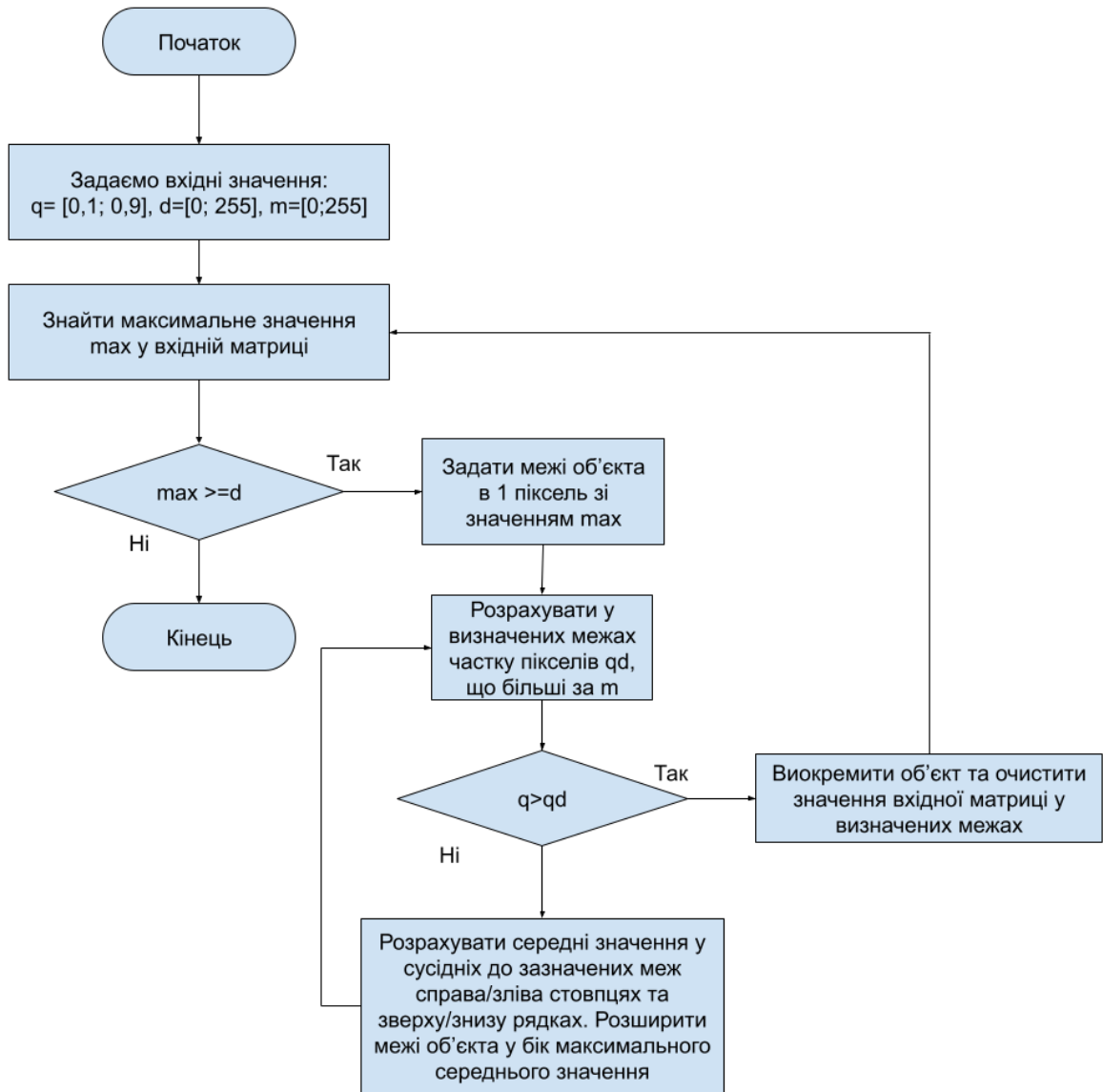


Рис. 8. Алгоритмічна схема виділення об'єктів

Отримані результати представлено на рис 9.



Рис. 9.1. $\alpha = 0,7$; $\beta = 100$; $\gamma = 25$

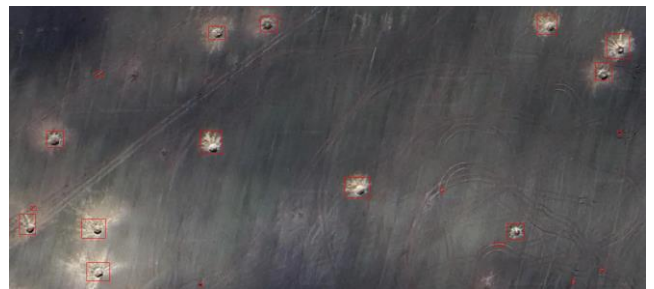


Рис. 9.2. $\alpha = 0,4$; $\beta = 75$; $\gamma = 25$

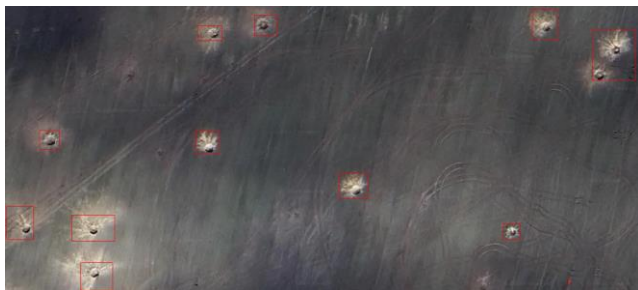


Рис. 9.3. $\alpha = 0,2$; $\beta = 100$; $\gamma = 25$



Рис. 9.4. $\alpha = 0,3$; $\beta = 50$; $\gamma = 25$

Рис. 9. Результати розпізнавання при різних налаштуваннях α , β та γ

З отриманих результатів видно, що при завищених значеннях параметру α об'єкти не охоплюються суцільною межею, а дробляться на окремі фрагменти (рис. 9.1), при занадто малих значеннях спостерігається об'єднання різних об'єктів спільною межею (рис. 9.3). Достатньо добрий результат визначення об'єктів алгоритм показав при середніх значеннях параметра α (рис. 9.2).

Параметр β – впливає на кількість захоплених елементів на зображенні, занадто високе його значення (більше 100) дозволяє пошук лише яскраво виражених нерівностей, тоді як низьке (менше 50) захоплює сторонні елементи на зображенні (рис. 9.4). До параметра γ алгоритм виявився досить чутливим, тому дослідження при його зміні не проводилися.

Висновки і перспективи. Попередня цифрова обробка зображення перед розпізнаванням може полегшити пошук об'єктів на зображенні, що значно спрощує структуру майбутньої нейронної мережі, яка використовуватиметься для розпізнавання.

Подальші дослідження будуть присвячені розгляду інших методів попередньої обробки, удосконалення представлених алгоритмів та порівняння в результатах тренувань нейронних мереж на зображеннях з та без попередньої обробки.

Список використаних джерел

1. J. Khurshid and Hong Bing-rong, "Military robots - a glimpse from today and tomorrow," ICARCV 2004 8th Control, Automation, Robotics and Vision Conference, 2004., Kunming, China, 2004, pp. 771-777 Vol. 1, doi: 10.1109/ICARCV.2004.1468925.

2. C. Zhai, P. Zhang, H. Xu, X. Yuan, L. Zhou and R. Wu, "The Application and Inspiration of Robots in the US Military," 2023 8th Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS), Xi'an, China, 2023, pp. 24-28, doi: 10.1109/ACIRS58671.2023.10239710.

3. S. Wang, Z. Ma, H. Cui, P. Wan and X. Li, "Research on key algorithm of intelligent identification for refueling robot," 2017 14th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP), Chengdu, China, 2017, pp. 61-65, doi: 10.1109/ICCWAMTIP.2017.8301449.

4. P. Zhao, X. Yi, Q. Wang, S. Liu and Y. Liu, "Research on Armored Equipment Autonomic Logistics Mode Based on PHM Technology," 2018 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Chongqing), Chongqing, China, 2018, pp. 559-566, doi: 10.1109/PHM-Chongqing.2018.00101.

5. N. Valchkova, C. Totomirova and R. Zahariev, "Establishing a Model Synthesis Method of a Mobile Platform for Service Collaborative Robot," 2023 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), Cape Town, South Africa, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICECET58911.2023.10389391.

6. Q. Meng, F. Liu, H. Yang and Z. Shan, "Research on the development of autonomic logistics," 2012 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, Chengdu, China, 2012, pp. 1093-1097, doi: 10.1109/ICQR2MSE.2012.6246412.

7. W. Pang, X. Li, X. Zhan and P. Li, "Vision for Developing Unmanned Delivery System," 2021 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), Beijing, China, 2021, pp. 467-471, doi: 10.1109/ICUS52573.2021.9641419.

8. X. Duan, G. Bian, Z. Jiang and Q. Huang, "Planning and control of MOBIT'S obstacle negotiating," 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics, Qingdao, China, 2008, pp. 580-586, doi: 10.1109/ICAL.2008.4636217.

9. J. Feng, J. Sun and Y. Yao, "Design of Intelligent Service Robot for Military Recuperation," 2023 IEEE International Conference on Control, Electronics and Computer Technology (ICCECT), Jilin, China, 2023, pp. 131-137, doi: 10.1109/ICCECT57938.2023.10141457.

10. U. Hashmi, F. Afshan and M. Rafiq, "Performance Analysis of Different Optimal Path Planning Bug Algorithms on a Client Server Based Mobile Surveillance UGV," 2013 4th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, Bangkok, Thailand, 2013, pp. 30-35, doi: 10.1109/ISMS.2013.37.

11. L. Zhang, J. Chen, C. Wu, Q. Qie and Y. Jin, "UAV Path Planning Based on Vision," 2023 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), Hefei, China, 2023, pp. 7-10, doi: 10.1109/ICUS58632.2023.10318478.

12. C. D. B. Borges, A. M. A. Almeida and I. C. de Paula, "Aerial Image Analysis for Estimation of Ground Traversal Difficulty in Robot Navigation," 2017 Workshop of Computer Vision (WVC), Natal, Brazil, 2017, pp. 43-48, doi: 10.1109/WVC.2017.00015.

13. S. Zhang, X. Zhang, T. Li, J. Yuan and Y. Fang, "Fast Active Aerial Exploration for Traversable Path Finding of Ground Robots in Unknown Environments," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 71, pp. 1-13, 2022, Art no. 7502213, doi: 10.1109/TIM.2022.3158425.

14. D. H. Nguyen, "A Nature-Inspired Distributed Robust Control Design for Ground-Aerial Vehicle Cooperation," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 24, no. 4, pp. 4454-4463, April 2023, doi: 10.1109/TITS.2022.3229336.
15. A. A. Mamun Anik, S. Adhikary, I. Habib and A. Gafur, "IoT Based Mechanized Robot: An Integrated Process Involving Fulltime Multipurpose Control, Automation and Surveillance System," 2021 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI), Singapore, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/SOLI54607.2021.9672395.
16. X. Yang, W. Huang and Z. Huang, "Optimization of Tethered Power Supply System Based on High Frequency and High Voltage AC Transmission," 2023 26th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Zhuhai, China, 2023, pp. 1680-1684, doi: 10.1109/ICEMS59686.2023.10344359.
17. Kiktev N., Opryshko O., Pasichnyk N., Dudnyk A., Komarchuk D. "Remote Monitoring of Mines in Fields with Using Neural Networks" (2023) CEUR Workshop Proceedings. pp. 239 – 249. https://ceur-ws.org/Vol-3624/Paper_20.pdf
18. N.Kiktev, O.Opryshko, A.Dudnyk, V.Reshetiuk, "Machine Learning for Remote Monitoring of Agricultural Fields with Explosive Tunnels" CEUR Workshop Proceedings, 2023, Dynamical System Modeling and Stability Investigation (DSMSI-2023). Conference Proceedings. Vol. 2: Computer Applied Mathematics, 3624, pp. 74–84, https://ceur-ws.org/Vol-3746/Paper_8.pdf
19. E. S. Gedraite and M. Hadad, "Investigation on the effect of a Gaussian Blur in image filtering and segmentation," Proceedings ELMAR-2011, Zadar, Croatia, 2011, pp. 393-396.

References

1. J. Khurshid and Hong Bing-rong (2004). "Military robots - a glimpse from today and tomorrow," ICARCV 2004 8th Control, Automation, Robotics and Vision Conference, 2004., Kunming, China, 1, 771-777, doi: 10.1109/ICARCV.2004.1468925.
2. C. Zhai, P. Zhang, H. Xu, X. Yuan, L. Zhou and R. Wu (2023). "The Application and Inspiration of Robots in the US Military," 8th Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS), Xi'an, China, doi: 10.1109/ACIRS58671.2023.10239710.
3. S. Wang, Z. Ma, H. Cui, P. Wan and X. Li (2017). "Research on key algorithm of intelligent identification for refueling robot," 14th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP), Chengdu, China, doi: 10.1109/ICCWAMTIP.2017.8301449.
4. P. Zhao, X. Yi, Q. Wang, S. Liu and Y. Liu (2018). "Research on Armored Equipment Autonomic Logistics Mode Based on PHM Technology," 2018 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Chongqing), Chongqing, China, 559-566, doi: 10.1109/PHM-Chongqing.2018.00101.
5. N. Valchkova, C. Totomirova and R. Zahariev (2023). "Establishing a Model Synthesis Method of a Mobile Platform for Service Collaborative Robot," 2023 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), Cape Town, South Africa, 1-6, doi: 10.1109/ICECET58911.2023.10389391.
6. Q. Meng, F. Liu, H. Yang and Z. Shan (2012). "Research on the development of autonomic logistics," 2012 International Conference on Quality, Reliability, Risk,

Maintenance, and Safety Engineering, Chengdu, China, 1093-1097, doi: 10.1109/ICQR2MSE.2012.6246412.

7. W. Pang, X. Li, X. Zhan and P. Li (2021). "Vision for Developing Unmanned Delivery System," 2021 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), Beijing, China, doi: 10.1109/ICUS52573.2021.9641419.

8. X. Duan, G. Bian, Z. Jiang and Q. Huang (2008). "Planning and control of MOBIT'S obstacle negotiating," 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics, Qingdao, China, 580-586, doi: 10.1109/ICAL.2008.4636217.

9. J. Feng, J. Sun and Y. Yao (2023). "Design of Intelligent Service Robot for Military Recuperation," 2023 IEEE International Conference on Control, Electronics and Computer Technology (ICCECT), Jilin, China, 131-137, doi: 10.1109/ICCECT57938.2023.10141457.

10. U. Hashmi, F. Afshan and M. Rafiq (2013). "Performance Analysis of Different Optimal Path Planning Bug Algorithms on a Client Server Based Mobile Surveillance UGV," 2013 4th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, Bangkok, Thailand, 30-35, doi: 10.1109/ISMS.2013.37.

11. L. Zhang, J. Chen, C. Wu, Q. Qie and Y. Jin (2023). "UAV Path Planning Based on Vision," 2023 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), Hefei, China, 7-10, doi: 10.1109/ICUS58632.2023.10318478.

12. C. D. B. Borges, A. M. A. Almeida and I. C. de Paula (2017). "Aerial Image Analysis for Estimation of Ground Traversal Difficulty in Robot Navigation," 2017 Workshop of Computer Vision (WVC), Natal, Brazil, 43-48, doi: 10.1109/WVC.2017.00015.

13. S. Zhang, X. Zhang, T. Li, J. Yuan and Y. Fang (2022). "Fast Active Aerial Exploration for Traversable Path Finding of Ground Robots in Unknown Environments," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 71, pp. 1-13. Art no. 7502213, doi: 10.1109/TIM.2022.3158425.

14. D. H. Nguyen (2023). "A Nature-Inspired Distributed Robust Control Design for Ground-Aerial Vehicle Cooperation," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 24(4), 4454-4463, April 2023, doi: 10.1109/TITS.2022.3229336.

15. A. A. Mamun Anik, S. Adhikary, I. Habib and A. Gafur (2021). "IoT Based Mechanized Robot: An Integrated Process Involving Fulltime Multipurpose Control, Automation and Surveillance System," 2021 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI), Singapore, 1-6, doi: 10.1109/SOLI54607.2021.9672395.

16. X. Yang, W. Huang and Z. Huang (2023). "Optimization of Tethered Power Supply System Based on High Frequency and High Voltage AC Transmission," 2023 26th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Zhuhai, China, 1680-1684, doi: 10.1109/ICEMS59686.2023.10344359.

17. [Kiktev N.](#), [Opryshko O.](#), Pasichnyk N., [Dudnyk A.](#), Komarchuk D. (2023). "Remote Monitoring of Mines in Fields with Using Neural Networks" (2023) CEUR Workshop Proceedings, 239 – 249. https://ceur-ws.org/Vol-3624/Paper_20.pdf

18. [N. Kiktev](#), [O. Opryshko](#), [A. Dudnyk](#), V. Reshettiuk (2023). "Machine Learning for Remote Monitoring of Agricultural Fields with Explosive Tunnels" CEUR Workshop Proceedings, 2023, Dynamical System Modeling and Stability Investigation (DSMSI-

2023). Conference Proceedings. Vol. 2: Computer Applied Mathematics, 3624,. 74–84, https://ceur-ws.org/Vol-3746/Paper_8.pdf

19. E. S. Gedraite and M. Hadad (2011). "Investigation on the effect of a Gaussian Blur in image filtering and segmentation," Proceedings ELMAR-2011, Zadar, Croatia, 393-396.

METHODOLOGY FOR RAPID IDENTIFICATION OF CRATERS IN FIELDS TO SELECT OPTIMAL PATHS FOR SPECIAL-PURPOSE GROUND ROBOTS

A. Dudnyk, S. Shvorov, O. Opryshko, Y. Tsytsiurskyi, D. Zhuk

Abstract. *This article addresses the question of how damage to agricultural land and other fields should be recognised in the context of military operations. The objective of this study is to examine the efficacy of image preprocessing techniques in facilitating object recognition. The study employed satellite images obtained from the free Google Earth Pro service (version 7.3) and processed in the specially developed proprietary software SurfaceAnalysis, which was developed in Python. The initial step involves the construction of a contrast image, which converts it from color to monochrome (black and white) while simultaneously emphasizing the most prominent texture features. In order to further enhance the visibility of objects, the application of Gaussian blurring is considered. The paper presents an analysis of the impact of changes in the standard deviation on the expressiveness of the searched elements. The present study proposes an algorithm for searching for potential objects and determining their location and boundaries for subsequent recognition based on an image obtained by Gaussian blurring. The experiments demonstrated that modifying the algorithmic parameters can markedly enhance the precision of preliminary object recognition.*

Consequently, it was established that preliminary digital image processing prior to recognition can expedite the search for potential objects. It is anticipated that this approach will considerably streamline the structure of the prospective neural network that will perform recognition. The research will continue to assess other preprocessing methods, refine existing algorithms, and contrast the outcomes of training neural networks on processed and unprocessed images.

Key words: *UAVs, funnels, monitoring, Python, Gaussian blur*