

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.2.197955

УДК 004.932

Д.В. Сторожик*, О.В. Муравйов, А.Г. Протасов, В.Г. Баженов, Г.А. Богдан

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

*corresponding author: way.trickster@gmail.com

КОМПЛЕКСУВАННЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ІНФОРМАТИВНОСТІ ПРИ БІНАРНІЙ СЕГМЕНТАЦІЇ

Проблематика. Однією з найбільш інтенсивних тенденцій на виробництві та при проектуванні різної техніки на сьогодні є прагнення до автоматизації процесів з метою підвищення їх ефективності та мінімізації впливу людського фактора. Перспективним напрямом реалізації цієї концепції видаються методи комп'ютерного зору, засновані на автоматизації обробки й аналізу зображень. Машинне навчання дає можливість системам, таким як, наприклад, штучні нейронні мережі, виявляти, розпізнавати та класифікувати об'єкти. Все це стало можливим завдяки розвитку методів обробки зображень, до яких відноситься і бінарна сегментація. Підвищення інформативності результату при цьому методі обробки даних можливе завдяки використанню алгоритму мультиспектрального комплексування, що своєю чергою дасть змогу підвищити ефективність роботи систем машинного зору й автоматизованої обробки зображень.

Мета дослідження. Дослідження можливості застосування методів комплексування мультиспектральних зображень для підвищення інформативності та якості результату обробки даних на основі бінарної сегментації.

Методика реалізації. Для дослідження методів комплексування зображень було використано програмне середовище, реалізоване на основі мови програмування C# із застосуванням математичного апарату бінарної сегментації. Аналіз отриманих результатів проводився з використанням методів статистичної обробки даних.

Результати дослідження. Отримано оцінки ефективності застосування таких методів комплексування мультиспектральних зображень для підвищення якості бінарної сегментації: усереднення, максимуму, черезрядкового комплексування та черезрядкового комплексування максимумів. Дослідження проведено для зображень, отриманих як у сприятливих умовах, так і за наявності різноманітних перешкод, що зумовило зниження інформативності знімків у різних спектральних діапазонах.

Висновки. Використання методів комплексування мультиспектральних зображень дає змогу підвищити інформативність результату бінарної сегментації до 15%. Особливо суттєве поліпшення якості спостерігається за наявності завад на зображеннях різних спектральних діапазонів, таких як засвічення або низька освітленість.

Ключові слова: бінарна сегментація; обробка зображень; методи комплексування; мультиспектральні зображення.

Вступ

У наш час людство прагне до якомога більшої автоматизації виробничих процесів з метою підвищення їх ефективності. Однією з найбільш важливих задач на виробництві є контроль якості продукції. Відповідно, задача зменшення похибок виявлення браку або дефектів у автоматичних системах неруїнівного контролю займає важливе місце в сучасних наукових дослідженнях.

Для автоматизації оптичного неруїнівного контролю сьогодні використовують технологію комп'ютерного зору, яка дає змогу проводити виявлення, відстеження, розпізнавання та класифікацію об'єктів, повністю виключаючи помилку людського фактора [1]. Одним із найпростіших методів, на якому базується комп'ютерний зір [2], є сегментація – розподіл зображення на області, для яких виконується певний критерій однорідності [3], наприклад виді-

лення на зображенні зон приблизно однакової яскравості. Деякими сферами практичного застосування сегментації зображень є: обробка медичних зображень [4], розпізнавання облич, системи керування дорожнім рухом, робототехніка, неруїнівний контроль тощо [5].

Постановка задачі

Завданням роботи є дослідження можливості застосування різних методів комплексування зображень, отриманих у різних спектральних діапазонах довжин хвиль, для покращення якості бінарної сегментації з метою підвищення їх інформативності для систем автоматизованої обробки даних.

Аналіз методів комплексування зображень

Одним із найпростіших способів аналізу зображення є побудова сегментації за допомо-

гою порога. Поріг – це ознака (властивість), яка допомагає розділити шуканий сигнал на класи. Операція порогового розділення полягає в зіставленні значення яскравості кожного пікселя зображення із заданим значенням порога. Для проведення подальшого дослідження виберемо саме цей критерій.

Комплексування зображень – це процес поєднання інформації про реальну картину, що міститься в двох або більше зображеннях, отриманих в однакових або різних спектральних діапазонах довжин хвиль, у єдине зображення, яке є більш інформативним для візуального сприйняття або підвищує ефективність подальшої комп'ютерної обробки [6].

У роботі досліджено чотири методи комплексування зображень: метод максимуму, усереднення [7], черезрядкового комплексування та метод черезрядкового комплексування максимумів.

Метод максимуму полягає в заміщенні значення елемента зображення $F_1(x,y)$ значенням зображення $F_2(x,y)$, коли значення другого більші. Як результат, отримуємо нове зображення $Z(x,y)$, у якому знаходяться інформаційні ознаки зображення F_1 та яскраво виражені ознаки F_2 . Метод максимуму реалізується на основі виразу

$$Z(x, y) = \max\{F_1(x, y), F_2(x, y)\}.$$

Метод максимуму є одним із найпростіших у програмній реалізації серед методів комплексування. Він реалізується лише одним оператором порівняння, і результат роботи залежить лише від рівня яскравості зображень.

Результатом методу усереднення $Z(x,y)$ є зображення, утворене на основі середнього арифметичного початкових зображень $F_1(x,y)$, $F_2(x,y)$. Цей спосіб вимагає мінімум обчислювальних витрат і реалізується завдяки виразу

$$Z(x, y) = \frac{F_1(x, y) + F_2(x, y)}{2}.$$

У результаті комплексування отримаємо зображення зі згладженими деталями об'єктів. Контраст картини при цьому істотно зменшується відносно початкових зображень, але також відбувається зменшення рівня шумів.

Метод черезрядкового комплексування можливо застосувати завдяки алгоритму на основі рядкового чергування одного зображення відносно іншого. Цей метод реалізується складанням зображень $F_1(x,y)$ і $F_2(x,y)$ з чергу-

ванням непарних і парних рядків із номером N . Математичний вираз при цьому має вигляд [8]

$$Z(x, y) = \begin{cases} F_1(x, y), & y \in 1, 3, 5, \dots, N, \\ F_2(x, y), & y \in 2, 4, 6, \dots, N. \end{cases}$$

Основним недоліком такого алгоритму є виражена періодична структура на результуючому зображенні, що обумовлена принципом роботи методу.

Метод черезрядкового комплексування максимумів має той самий принцип роботи, що й метод черезрядкового комплексування, але кожний парний рядок є максимумом двох із обох зображень. Вираз, яким можна описати цей метод, такий:

$$Z(x, y) = \begin{cases} F_1(x, y), & y \in 1, 3, 5, \dots, N, \\ \max\{F_1(x, y), F_2(x, y)\}, & y \in 2, 4, 6, \dots, N. \end{cases}$$

Принцип заснований на поєднанні двох методів: максимуму і черезрядкового комплексування та має переваги й недоліки обох методів.

Оцінка якості сегментації зображень

Критерії якості сегментації, які використовуються в контрольованих методиках оцінки алгоритмів, дають кількісну міру відмінності результату роботи алгоритму з еталонною сегментацією, створеною експертом вручну або отриманою автоматично при генерації синтетичного зображення [9]. Ці критерії підходять і для оцінки якості сегментації зображень після комплексування.

Найпростіша міра якості сегментації, яку одразу почали використовувати дослідники, – це відсоток неправильно класифікованих пікселів.

Перший варіант застосування запропонованого критерію – процентне відношення неправильно класифікованих пікселів k -го класу до загальної кількості пікселів цього класу на еталонному зображенні:

$$M_1^k = \frac{\left(\sum_{i=1}^n C_{ik}\right) - C_{kk}}{\sum_{i=1}^n C_{ik}},$$

де n – кількість пікселів; C_{kk} – кількість правильно класифікованих пікселів k -го класу; $\sum_{i=1}^n C_{ik}$ – реальна кількість пікселів k -го класу.

Другий критерій – це процентне відношення пікселів, помилково зарахованих до k -го класу, до загальної кількості пікселів інших класів на еталонному зображенні [10]:

$$M_2^k = \frac{\left(\sum_{i=1}^n C_{ki} \right) - C_{kk}}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ik} - \sum_{i=1}^n C_{ik}},$$

де m – кількість класів; $\sum_{i=1}^n C_{ki}$ – кількість пікселів, класифікованих k -м класом; $\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ik}$ – загальна кількість пікселів на зображенні.

Дослідження ефективності комплексування зображень при бінарній сегментації

У ході проведення дослідження розроблено комп'ютерну програму, реалізовану на мові програмування C#, графічний інтерфейс якої наведено на рис. 1.

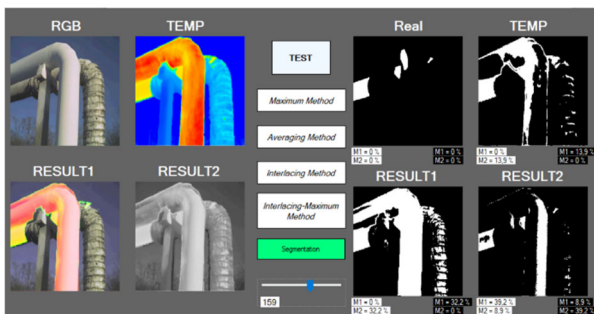


Рис. 1. Інтерфейс програми комплексування зображень

Для комплексування було вибрано знімки видимого (RGB, зліва) та інфрачервоного діапазонів довжин хвиль спектра (TEMP, зліва). Результатом комплексування кольорового зображення є RESULT1, чорно-білого – RESULT2. Кнопка TEST змінює обидва тестових зображення на інші. Назви чотирьох кнопок, при натисканні на які відбувається комплексування двох початкових зображень, відповідають методам комплексування. З правого боку відображається результат бінарної сегментації: Real – еталонний зразок для порівняння та налаштування порога сегментації, реалізованої завдяки повзунку знизу; TEMP – результат сегментації термограми; RESULT1 – результат сегментації комплексованого кольорового зображення;

RESULT2 – результат сегментації комплексованого чорно-білого зображення.

Під результатом сегментації розміщені пораховані оцінки. Для еталонного зразка, як видно, вони дорівнюють нулю. Білий та чорний кольори оцінок – це відповідно оцінка для класу з білими пікселями та оцінка для класу з чорними пікселями. M1 відповідає першому критерію якості, M2 – другому.

Результати дослідження зведені в таблицю, на основі даних якої можна оцінити ефективність розглянутих методів комплексування зображень.

Таблиця. Оцінка якості сегментації комплексованих зображень

Метод комплексування	Перший критерій M1	Другий критерій M2	Перший критерій для термограми	Другий критерій для термограми
Максимуму	0,1	17,6	0,1	2
Усереднення	92,8	1,7	0,1	2
Черезрядкового комплексування	49,8	8,8	0,1	2
Черезрядкового комплексування максимумів	49,8	16,7	0,1	2

Як видно з наведених результатів, сегментація після комплексування мультиспектральних зображень набагато гірша, ніж сегментація самої термограми. Отже, можна зробити висновок, що розглянуті методи комплексування не покращують бінарну сегментацію для якісних зображень, отриманих в умовах відсутності завад. Однак якщо інформативність обох зображень недостатня (рис. 2), то комплексування є ефективним методом покращення зображення. Як видно з рисунка, на фотографії видимого діапазону спектра можна виявити чоловіка, що сидить в автомобілі, але людину біля автомобіля не видно. На термограмі ж виявити людину біля авто не становить жодних проблем, але тепловізійна техніка не здатна зареєструвати водія, який знаходиться за склом салону транспортного засобу.

Результат комплексування двох малоінформативних знімків (рис. 3) здатний суттєво покращити якість їх бінарної сегментації, в наведеному випадку до 10%. Для ще більшого

підвищення якості зображення перед комплексуванням необхідно нормалізувати гістограми базових зображень, а також провести їх очищення від шумів медіанним фільтром.

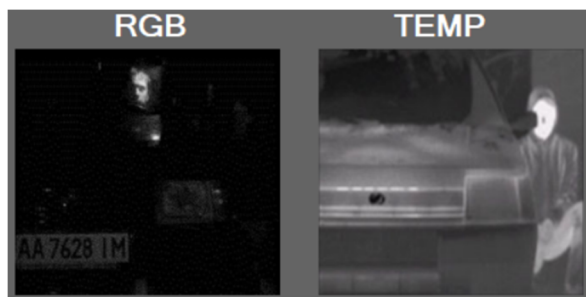


Рис. 2. Фотографія і термограма із завадами

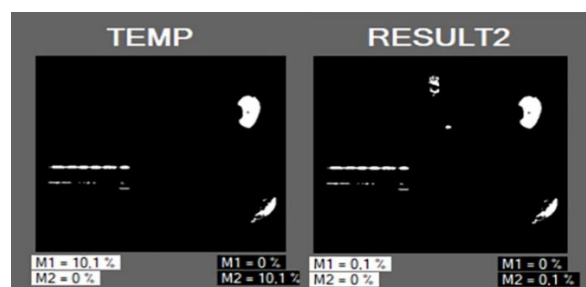


Рис. 3. Результат сегментації термограми і комплексованого зображення

Загалом, як продемонстровано в праці [11], комплексування мультиспектральних зображень в умовах наявності завад, таких як засвітки, слабка освітленість, димові завіси, наявність перешкод в одному зі спектральних діапазонів, дає можливість підвищити інформативність результуючого зображення та ймовірність виявлення об'єкта до 15 %.

Методи підвищення інформативності та якості зображень є особливо важливими в разі

застосування автоматизованих засобів їх аналізу [12]. Система, заснована на методах машинного навчання, дасть змогу істотно підвищити ймовірність правильного розпізнавання об'єкта або його класифікації за наявності попередньої обробки зображень, яка хоча б трохи збільшить їх інформативність [13]. Прикладом такого випадку може бути автоматизація аналізу медичних термограм [14], реалізована на основі нейронної мережі, в якій на етапі нормалізації знімків комплексування мультиспектральних зображень дасть можливість значно підвищити інформативність досліджуваної теплової картини [15], тим самим збільшивши ймовірність достовірної класифікації та правильної постановки діагнозу пацієнта.

Висновки

Результати проведеного дослідження дають можливість зробити висновок, що розглянуті в роботі методи комплексування мультиспектральних зображень за відсутності завад не дають підвищення якості результуючого зображення. Однак в умовах наявності засвіток або інших факторів, що знижують інформативність знімків окремих спектральних діапазонів, навіть при використанні найпростішого методу аналізу зображень – бінарної сегментації, є можливість отримати підвищення якості зображення на 10–15 %.

Перспективним видається застосування методів комплексування мультиспектральних зображень у системах автоматизованого аналізу знімків, наприклад для дослідження медичних термограм із використанням штучних нейронних мереж, на що і будуть спрямовані подальші наукові дослідження.

References

- [1] G. Toliás *et al.*, “Image search with selective match kernels: aggregation across single and multiple images”, *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 116, pp. 247–261, 2016. doi: 10.1007/s11263-015-0810-4
- [2] O.B. Zhukov *et al.*, “Artificial intelligence in medicine: from hybrid studies and clinical validation to the development of application models”, *Andrologija i Genital'naja Hirurgija*, vol. 20, no. 3, pp. 15–19, 2019. doi: 10.17650/2070-9781-2019-20-3-15-19
- [3] L. Galli and D. de Candia, “Multispectral image segmentation via multiscale weighted aggregation method”, in *Proc. SPIE 5982, Image and Signal Processing for Remote Sensing XI*, 2005. doi: 10.1117/12.627534
- [4] Y. Yuan *et al.*, “Specific light-up bioprobe with aggregation-induced emission and activatable photoactivity for the targeted and image-guided photodynamic ablation of cancer cells”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 54, pp. 1780–1786, 2015. doi: 10.1002/anie.201408476
- [5] A. Protasov, “Reconstruction of the thermal field image from measurements in separate points”, in *Proc. IEEE Int. Conf. Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS)*, 2017, pp. 89–92. doi: 10.1109/MRRS.2017.8075035

- [6] K. Rokni *et al.*, “A new approach for surface water change detection: Integration of pixel level image fusion and image classification techniques”, *Int. J. of Appl. Earth Observ. Geoinform.*, vol. 34, pp. 226–234, 2015. doi: 10.1016/j.jag.2014.08.014
- [7] D. Paternain *et al.*, “Construction of image reduction operators using averaging aggregation functions”, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 261, pp. 87–111, 2015. doi: 10.1016/j.fss.2014.03.008
- [8] E. Ricchetti, “Multispectral satellite image and ancillary data integration for geological classification”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 66, pp. 429–435, 2000.
- [9] A.S. Vasilev *et al.*, “Quality assessment criteria for image fusion in multispectral optical-electronic systems”, *J. Instrument Eng.*, vol. 60, no. 7, pp. 647–653, 2017. doi: 10.17586/0021-3454-2017-60-7-647-653
- [10] A.V. Zakharov *et al.*, “Criteria for assessing the quality of image segmentation”, *Trudy NIISI RAN*, vol. 2, no. 2, pp. 87–99, 2012.
- [11] M.S. Mamuta, “Effectiveness of the complex of optical and electronic systems”, PhD dissertation, NTUU KPI, Kyiv, 2013.
- [12] G. Hong *et al.*, “A wavelet and IHS integration method to fuse high resolution SAR with moderate resolution multispectral images”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 75, pp. 1213–1223, 2009. doi: 10.14358/PERS.75.10.1213
- [13] C. Zhu *et al.*, “Multi-image aggregation for better visual object retrieval”, in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Florence, 2014, pp. 4304–4308. doi: 10.1109/ICASSP.2014.6854414
- [14] A.V. Muravyov and E.A. Nazarchuk, “Thermal stabilization of image quality of an optical thermograph system”, *Visnyk Inzhenernoi Akademii Ukrainy*, no. 4, pp. 195–199, 2016.
- [15] A. Momot and R. Galagan, “Influence of architecture and training dataset parameters on the neural networks efficiency in thermal nondestructive testing”, *Sciences of Europe*, vol. 1, no. 44, pp. 20–25, 2019.

Д.В. Сторожик, А.В. Муравьев, А.Г. Протасов, В.Г. Баженов, Г.А. Богдан

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ИХ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИ БИНАРНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ

Проблематика. Одной из наиболее интенсивных тенденций на производстве и при проектировании различной техники на сегодняшний день является стремление к автоматизации процессов с целью повышения их эффективности и минимизации влияния человеческого фактора. Перспективным направлением реализации этой концепции представляются методы компьютерного зрения, основанные на автоматизации обработки и анализа изображений. Машинное обучение позволяет системам, таким как, например, искусственные нейронные сети, обнаруживать, распознавать и классифицировать объекты. Все это стало возможным благодаря развитию методов обработки изображений, к коим относится и бинарная сегментация. Повышение информативности результата при данном методе обработки данных возможно при использовании алгоритма мультиспектрального комплексирования, что в свою очередь позволит повысить эффективность работы систем машинного зрения и автоматизированной обработки изображений.

Цель исследования. Исследование возможности применения методов комплексирования мультиспектральных изображений для повышения информативности и качества результата обработки данных на основе бинарной сегментации.

Методика реализации. Для исследования методов комплексирования изображений была использована программная среда, реализованная на основе языка программирования C# с применением математического аппарата бинарной сегментации. Анализ полученных результатов проводился с использованием методов статистической обработки данных.

Результаты исследования. Получены оценки эффективности применения следующих методов комплексирования мультиспектральных изображений для повышения качества бинарной сегментации: усреднения, максимума, чересстрочного комплексирования и чересстрочного комплексирования максимумов. Исследования проведены для изображений, полученных как в благоприятных условиях, так и при наличии различного вида помех, что обусловило снижение информативности снимков в разных спектральных диапазонах.

Выводы. Использование методов комплексирования мультиспектральных изображений позволяет повысить информативность результата бинарной сегментации до 15 %. Особенно существенно улучшение качества проявляется при наличии помех на изображениях различных спектральных диапазонов, таких как засветки или низкая освещенность.

Ключевые слова: бинарная сегментация; обработка изображений; методы комплексирования; мультиспектральные изображения.

D.V. Storozhyk, O.V. Muraviov, A.G. Protasov, V.G. Bazhenov, H.A. Bohda

MULTISPECTRAL IMAGE COMBINING AS A METHOD OF INFORMATION CONTENT INCREASING AT BINARY SEGMENTATION

Background. One of the biggest tech trends in manufacture and equipment engineering today is the desire to automate processes in order to increase their efficiency and minimize the influence of the human factor. A promising direction for the implementation of this concept is computer vision methods based on the automation of image processing and analysis. Machine learning allows systems, such as artificial neural networks, to detect, recognize and classify objects. All this has become possible due to the development of image processing methods, which include binary segmentation. The information content increase of the result with this data processing method is possible using the multispectral complexing algorithm, which will improve the efficiency of machine vision systems and automated image processing.

Objective. The purpose of the paper is the investigation of applicability of combining multispectral images methods to increase the information content and quality of the result of data processing based on binary segmentation.

Methods. For investigating of the combining images methods the software environment implemented on the C# programming language basis was used with mathematical apparatus of binary segmentation. The results analysis was made using methods of statistical data processing.

Results. Effectiveness estimates of the following multispectral image combining methods applying to improve the quality of binary segmentation: averaging, maximum, interlaced combining and interlaced combining of maxima are obtained. The research was made both for images obtained at favorable conditions and in the presence of various types of noises, which decrease the information content of images in different spectral ranges.

Conclusions. Using multispectral image combining methods allows increasing the information content of the binary segmentation result up to 15%. Particularly significant quality improvement is manifested in presence of noises on various spectral range images, such as flare or low light.

Keywords: binary segmentation; image processing; image combining methods; multispectral images.

Рекомендована Радою
приладобудівного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
20 грудня 2019 року

Прийнята до публікації
05 червня 2020 року