

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.01.2024.29>

УДК 004.81; 167.7

Наближений метод оцінки глибини об'єктів на основі вейвлет-перетворення

Антощук Світлана Григорівна¹⁾

Д-р техніч. наук, професор каф. Інформаційних систем

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9346-145X>; asg@op.edu.ua. Scopus Author ID: 8393582500

Щербакова Галина Юрївна¹⁾

Д-р техніч. наук, професор каф. Інформаційних систем

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0475-3854>; galina.sherbakova@op.edu.ua. Scopus Author ID: 27868185600

Кондратьєв Сергій Борисович¹⁾

Старший викладач каф. Інформаційних систем

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-5757>; kondratiev@op.edu.ua. Scopus Author ID: 5899590520

Кошутіна Дар'я Валеріївна¹⁾

PhD студент каф. Інформаційних систем

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1326-8775>; d.v.koshutina@op.edu.ua. Scopus Author ID: 58289385400

¹⁾ Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

АНОТАЦІЯ

Сучасні технології тривимірного комп'ютерного зору активно розвиваються, пропонуючи нові рішення на базі аналізу деталей навколишнього середовища. Однією з ключових задач є визначення глибини розташування об'єктів на зображеннях, що потребує ефективних та швидких методів їх обробки. У цьому дослідженні пропонується новий метод приблизної оцінки глибини для тривимірного комп'ютерного зору, який ґрунтується на оптимізації з використанням вейвлет-перетворення. Пропонуються рішення для спрощення обчислення диспаритету, що традиційно використовується для побудови карт глибини, з можливістю опису контурів із регульованою деталізацією на основі вейвлет-перетворення. Основною перевагою цього методу є підвищення швидкодії за рахунок вибору довжини носія вейвлета Хаара в області пошуку екстремуму. Моделювання підтвердило ефективність запропонованого підходу для побудови карт глибин, що і дозволяє рекомендувати його для використання в безпілотних транспортних засобах (БТЗ) за умов обмежених обчислювальних та енергетичних ресурсів.

Ключові слова: тривимірний комп'ютерний зір; виділення контурів; вейвлет-перетворення; оптимізація; аналіз зображень

Метою дослідження є розробка приблизних методів оцінки глибини зображень для тривимірного комп'ютерного зору безпілотних транспортних засобах (БТЗ) на основі розробленого методу оптимізації, заснованого на вейвлет-перетворенні, який може бути використаний для оцінки інформативних ознак для зіставлення та/або оптимізації витрат при аналізі зображень, уточнення невідповідностей та іншого. Проведені дослідження основних етапів підходу щодо будови приблизної карти глибин за рахунок спрощення обчислення значень диспаритету, який використовується для формування карти глибин, з використанням опису контуру зображення із регульованою деталізацією на базі вейвлет-перетворення.

У сучасному світі безпілотні транспортні засоби (БТЗ), такі як квадрокоптери та безпілотні автомобілі, набувають все більшого значення через низку факторів, що стимулюють їхнє впровадження в різних галузях. Перш за все, вони дозволяють знизити витрати на експлуатацію в порівнянні з традиційними транспортними засобами, що потребують людського управління. У таких сферах, як доставка, картографування, сільське господарство, а також рятувальні операції, використання БТЗ дає змогу виконувати завдання швидше та безпечніше. Крім того, важливою перевагою БТЗ є їх здатність функціонувати в умовах, які можуть бути небезпечними або недоступними для людей, наприклад, у зонах стихійних лих або на важкодоступних територіях [1]. В умовах стрімкого зростання кількості даних, які потрібно обробляти в реальному часі, БТЗ здатні забезпечити швидкий збір і аналіз інформації, що має вирішальне значення для прийняття оперативних рішень.

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.uk>)

Інший важливий аспект – екологічність та зменшення впливу людського фактору. Безпілотні автомобілі можуть оптимізувати використання палива або працювати на альтернативних джерелах енергії, знижуючи рівень викидів. Крім того, вони знижують ризик аварій, спричинених помилками водія, і можуть значно підвищити безпеку на дорогах.

В епоху інтенсивного розвитку штучного інтелекту та машинного навчання БТЗ стають частиною системи розумних технологій, здатних адаптуватися до навколишнього середовища, аналізувати великі обсяги інформації та приймати рішення в реальному часі [2].

Основним джерелом такої інформації є відеокамери, що використовуються для вирішення завдань у різних сферах, зокрема в безпілотних квадрокоптерах і автомобілях [3]. Системи машинного зору мають не лише виявляти та розпізнавати об'єкти і їхнє розташування, але й враховувати глибину сцени та об'єктів, тобто перетворювати двовимірне зображення на тривимірне. У такому випадку інформація про об'єкти представлена не лише у вигляді інтенсивності, а у вигляді параметрів піксель/відстань. Тому розробка рішень для отримання 3D-інформації про глибину об'єктів на зображенні, що відзначаються низькою вартістю, енергоефективністю та достатньою швидкістю, є актуальним науково-практичним завданням для таких БТЗ.

При вирішенні навігаційних завдань для БТЗ або збору даних про глибину об'єктів інформація може передаватися резервним системам або системам, що працюють на інших фізичних принципах [1]. Одним з підходів є поєднання даних з LiDAR і відеодатчиків. Технологія LiDAR-SLAM активно досліджується [2]. В цих роботах продемонстрували можливість використання LiDAR для навігації та запобігання зіткненням. Водночас відеокамери мають меншу точність при низькому освітленні та збільшують навантаження на обробку даних. LiDAR забезпечує пряме вимірювання відстані, але залежить від властивостей поверхні та є енергозатратним [4].

Більш енергоефективним рішенням для отримання інформації про глибину є стереоскопічне зображення, яке використовує дві відеокамери з відомими оптичними характеристиками [5, 6, 7]. Камери направлені в одну сторону, а відстань між ними значно менша за відстань до об'єктів. Аналіз пари зображень дозволяє оцінити глибину подібно до зору живих істот. Оскільки контрольна точка в просторі буде розташовуватися в різних позиціях на кожному зображенні, це дозволяє обчислювати її точне місце розташування.

Основна ідея запропонованого підходу полягає в наступному:

1. Для фрагмента рядка яскравості визначається область максимуму яскравості (контур об'єкта) на зображенні однієї з камер, наприклад, лівої (1) (Рисунок).

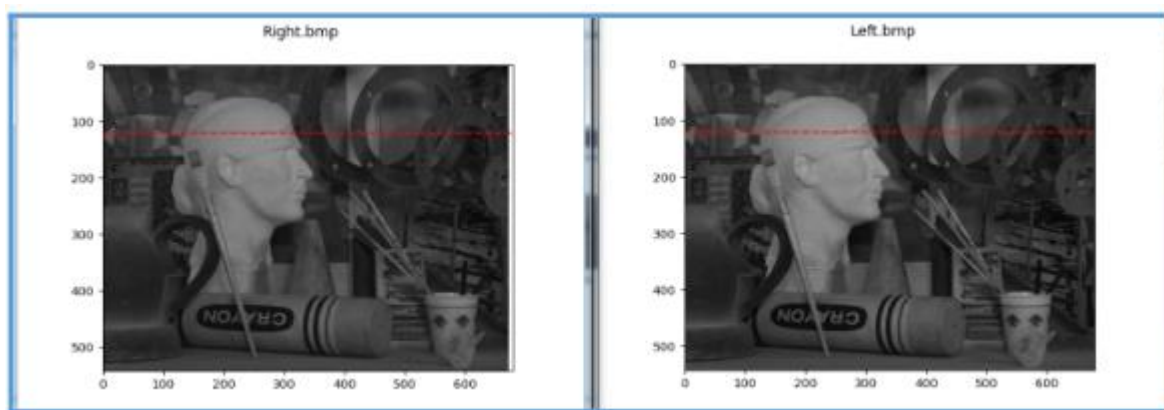
2. Формується шаблон профілю яскравості: значення яскравості, яке відповідає координаті екстремуму рядка, та значення яскравості сусідніх пікселів. Потім знаходиться подібний фрагмент на зображенні правої камери (2).

3. Визначається відстань між подібними елементами і відповідне значення диспаритету.

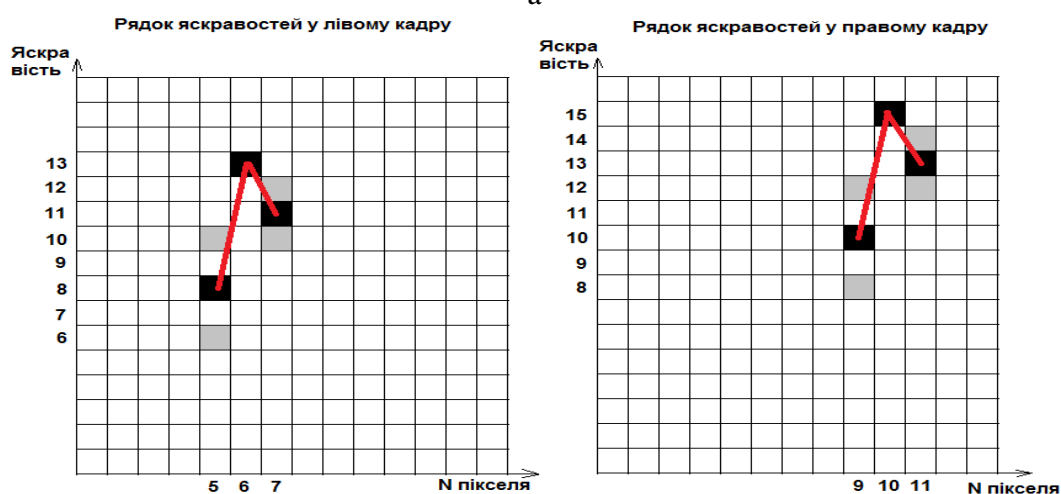
4. Обробка проводиться для всіх рядків.

Для ілюстрації наведені шаблони профілю інтенсивності, що представляють блок з 3 пікселів для лівого та правого кадрів зображення (Рисунок, б). Чорними квадратами виділені рівні інтенсивності кожного пікселя в блоках, сірими – межі розкиду по інтенсивності. Диспаритет між блоками складає 4 пікселі по осі X, а абсолютна різниця по яскравостях дорівнює 2. В реальних стереозображеннях різниця по інтенсивності може досягати навіть 30.

Обчислювальна складність знаходження шаблонів може бути знижена, якщо при обчисленні диспаритету використовувати контури об'єктів. Контури є найбільш інформаційно значущою частиною зображень об'єктів, і їхній аналіз дозволяє значно зменшити кількість обчислювальних операцій [8]. Проте, слід відзначити, що в цьому випадку якість карти глибин залежить від ефективності методів виділення контурів, серед яких найбільш стійкими до перешкод є методи з використанням вейвлет-перетворення [8].



а



б

Рис. Аналіз розподілу інтенсивностей в зображеннях:
а – тестове зображення: правий та лівий кадр;
б – шаблон, що показує розподіл інтенсивностей поблизу екстремуму в даному рядку зображення

Для виділення контурів об'єктів за допомогою вейвлет-перетворення, сумарну складову наближення (по вертикалі) найменшого масштабу дискретного вейвлет-перетворення усувають шляхом приведення її значень до нуля. Обчислення зворотного перетворення за детальними складовими дозволяє виділити контури (по горизонталі) на відновленому зображенні. Аналогічно можна досягти виділення вертикальної межі об'єкта.

Дослідження також показали, що при довжині носія вейвлет-функції $s = 1$ дрібні та великі деталі зображення, оброблені в області змінювання інтенсивності, мають максимуми, схожі за амплітудою. Зі збільшенням масштабу відносні розміри піків дрібних деталей зменшуються, водночас зростає амплітуда піка на межах деталей великих об'єктів [8]. Крім того, запропонована методика дозволяє змінювати рівень деталізації зображень, забезпечує високу стійкість до шумів, дозволяє отримати чіткість контурів об'єктів при відносно високій швидкодії та забезпечує наближену оцінку глибинної інформації, що відповідає вимогам для різних завдань.

Отже, для побудови карти глибин використовуються різні методи, які можна поділити на локальні та глобальні. Локальні методи відрізняються швидкістю та низькою точністю, тоді як глобальні методи підвищують точність, але мають нижчу швидкість. Для знаходження компромісу між точністю і швидкістю активно розробляються методи на основі оптимізаційних алгоритмів [9].

Розроблений метод оптимізації базується на відомій ітеративній схемі [10], але для підвищення швидкодії в роботі використано тільки етап обробки з вейвлетом Хаара. Метод був перевірений при створенні карти глибин для тестового зображення з бази зображень. Довжина носія вейвлет-функції для пошуку мінімуму була встановлена на 17, крок дискретизації вейвлет-функції – 1, а крок при ітеративному пошуку з вейвлет-функцією Хаара. Мінімум помилки поєднання зображень був знайдений за 3 ітерації (початок пошуку – [1; 1]).

Результати моделювання показали, що модифікація відомого методу StereoVM шляхом використання вейвлет перетворення для обчислення диспаритету дозволяє не тільки підвищити стійкість до шумів і зменшити помилку пошуку розташування характерного фрагмента на рядку інтенсивностей, але й знизити енергоспоживання більш ніж на 30 відсотків. Зокрема, споживання струму для методу StereoVM становило 950 мА, тоді як для розробленого методу – 600 мА.

Робота присвячена розробці наближених методів оцінки глибини для тривимірного комп'ютерного зору БТЗ на основі методу оптимізації з вейвлет-перетворенням. Визначені основні етапи для отримання приблизної карти глибини шляхом спрощення розрахунку значень диспаритету, традиційно використовуваного для формування карти глибини в просторі інтенсивностей, на основі вейвлет-перетворення. Перевагою розробленого методу є підвищення швидкодії завдяки раціональному вибору довжини носія вейвлет-функції Хаара при пошуку екстремумів, що дозволяє рекомендувати цей метод для БТЗ, які працюють в умовах обмежених обчислювальних та енергетичних ресурсів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Konovalenko I., Kuznetsova E., Miller A., Miller B., Popov A., Shepelev D., Stepanyan K. “New approaches to the integration of navigation systems for autonomous unmanned vehicles (UAV)”. *Sensors*. 2018; 18: 3010. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18093010>.
2. Suzuki S. “Integrated navigation for autonomous drone in GPS and GPS-Denied environments”. *Journal of Robotics and Mechatronics*. 2018; 30 (3): 373–379. DOI: <https://doi.org/10.20965/jrm.2018.p0373>.
3. Karnati A., Mehta D., Ks M. “Artificial intelligence in Self Driving Cars: Applications, Implications and Challenges”. *Universal Journal of Business and Management*. 2022; 21: 1–28. DOI: <https://doi.org/10.12725/ujbm.61.1>.
4. Choi H.-W., Kim H.-J., Kim S.-K., Na W.S. “An overview of drone applications in the construction industry”. *Drones*. 2023; 7 (8): 515. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones7080515>.
5. Li H., Savkin A. V., Vucetic B. “Collision free navigation of a fly-ing robot for underground mine search and mapping”. *IEEE international conference on robotics and Biomimetics (ROBIO)*. 2018. p. 1102–1106. DOI: <https://doi.org/10.1109/ROBIO.2018.8665108>.
6. Mansouri S. S., Kanellakis C., Kominiak D., Nikolakopoulos G. “Deploying MAVs for autonomous navigation in dark underground mine environments”. *Robotics and Autonomous Systems*. 2020; 126: 103472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103472>.
7. Vong C. H., Ravitharan R., Reichl P., Chevin J., Chung H. “Small scale unmanned aerial system (UAS) for railway culvert and tunnel inspection”. *First International Conference on Rail Transportation*. 2017. p. 1024–1032. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784481257.102>.
8. Antoshchuk S. G., Kondratyev S. B., Shcherbakova G. Y., Hodovychenko M. A. “Depth map generation for mobile navigation systems based on objects localization in images”. *Herald of Advanced Information Technology*. 2022; 5 (1): 11–18. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.05.2022.1>.
9. Du J., Okae J. “Optimization of stereo vision depth estimation using edge-based disparity map”. *10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*. Bursa, Turkey. 2017. p. 1171–1175.

10. Huan W., Shcherbakova G., Sachenko A., Yan L., Volkova N., Rusyn B., Molga A. “Haar wavelet-based classification method for visual information processing systems”. *Applied Sciences*, 2023, 13 (9): 5515. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13095515>.

11. Arsirii O. O., Petrosiuk D. V. “An adaptive convolutional neural network model for human facial expression recognition”. *Herald of Advanced Information Technology*. 2023: 6 (2), 128–138. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.8>.

12. Tran T., Nguyen T., Tran K. “A survey on deep learning based face detection” *Applied Aspects of Information Technology*. 2023; 6 (2): 213–217. DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.15>.

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.01.2024.29>

UDC 004.81; 167.7.

An approximate method of estimating the depth of objects using wavelet-based transformation

Svitlana G. Antoshchuk¹⁾

Dr. Sc., Professor, Department of Information Systems

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9346-145X>; asg@op.edu.ua. Scopus Author ID: 8393582500

Galina Yu. Shcherbakova¹⁾

Dr. Sc., Professor, Department of Information Systems

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0475-3854>; galina.sherbakova@op.edu.ua Scopus Author ID: 27868185600

Sergey B. Kondratyev¹⁾

Senior Lecturer, Department of Information Systems

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-5757>; kondratiev@op.edu.ua. Scopus Author ID: 5899590520

Daria V. Koshutina¹⁾

PhD Student, Department of Information Systems

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1326-8775>; d.v.koshutina@op.edu.ua. Scopus Author ID: 58289385400

¹⁾ Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Ave. Odesa, 65044, Ukraine

ABSTRACT

Modern three-dimensional computer vision technologies are actively developing, offering new solutions based on the analysis of environmental details. One of the key tasks is to determine the depth of location of objects in images, which requires efficient and fast methods of their processing. This study proposes a new depth estimation method for 3D computer vision based on wavelet transform optimization. Solutions are offered to simplify the disparity calculation, which is traditionally used for the construction of depth maps, with the possibility of describing contours with adjustable detail based on the wavelet transform. The main advantage of this method is the increase in performance due to the allocation of the Haar wavelet carrier length in the extremum search area. The simulation confirmed the effectiveness of the proposed approach for constructing depth maps, which allows us to recommend it for use in unmanned aerial vehicles (UAVs) in conditions of limited computing and energy resources.

Keywords: Three-dimensional computer vision; selection of contours; wavelet transform; optimization; image analysis