

**DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE FOR DISTANCE ESTIMATION TO OBJECTS BASED ON A STEREO CAMERA****Artem Koval**

Kharkiv Kharkiv National University of Radio Electronics  
Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av, 14  
E-mail: artem.koval@nure.ua

**Abstract:** The article considers the problem of determining the distance to objects using stereo vision systems in real-time conditions. The influence of camera calibration accuracy, image distortions, and disparity estimation methods on the reliability of depth calculation is analyzed. A software module for distance estimation based on a stereo camera is proposed, which includes image acquisition, rectification, disparity computation, and depth estimation stages. The obtained results confirm the feasibility of using the proposed approach in robotic and unmanned systems operating under limited computational resources.

**Keywords:** stereo vision, distance estimation, disparity, depth map, computer vision, calibration.

**РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЮ РОЗРАХУНКУ ВІДСТАНІ ДО ОБ'ЄКТІВ НА БАЗІ СТЕРЕОКАМЕРИ****Артем Коваль**

Харківський національний університет радіоелектроніки  
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14  
E-mail: artem.koval@nure.ua

**Анотація:** У статті розглянуто проблему визначення відстані до об'єктів за допомогою стереозору в умовах реального часу. Проведено аналіз впливу точності калібрування камер, геометричних спотворень та методів обчислення диспаритету на достовірність оцінки глибини. Запропоновано програмний модуль розрахунку відстані на базі стереокамери, що включає етапи отримання зображень, ректифікації, побудови карти диспаритету та оцінки глибини сцени. Отримані результати підтверджують доцільність використання запропонованого підходу в робототехнічних та безпілотних системах.

**Ключові слова:** стереозір, визначення відстані, диспаритет, карта глибини, комп'ютерний зір, калібрування.

Актуальність розроблення програмних модулів визначення відстані до об'єктів на базі стереокамер зумовлена активним розвитком систем комп'ютерного зору, які широко застосовуються в мобільній робототехніці, безпілотних літальних апаратах та автономних транспортних засобах. Використання стереокамер дозволяє отримувати інформацію про глибину сцени без застосування додаткових сенсорів, що є важливим для систем із обмеженими апаратними ресурсами та вимогами до роботи в реальному часі. На відміну від монокулярних підходів, стереозір забезпечує більш точне визначення просторового розташування об'єктів, що критично для задач навігації, уникнення перешкод та аналізу навколишнього середовища.

Разом із тим використання стереозору супроводжується рядом проблем, які суттєво впливають на точність визначення відстані. Однією з ключових проблем є необхідність точного калібрування камер, оскільки навіть незначні похибки в параметрах можуть призводити до суттєвих відхилень у розрахунках глибини. Додатково на якість результату впливають оптичні спотворення, неоднорідність освітлення, шуми зображення та обмежена

текстурованість сцени. У таких умовах процес пошуку відповідних точок між зображеннями ускладнюється, що призводить до появи помилок у карті диспаритету.

Додатково слід враховувати, що якість визначення відстані суттєво залежить від характеристик самої стереокамери та умов її експлуатації. Важливу роль відіграє базова відстань між камерами, яка визначає чутливість системи до змін глибини сцени. При занадто малій базі система втрачає точність на великих відстанях, тоді як надмірне її збільшення призводить до ускладнення пошуку відповідностей між зображеннями через значні відмінності перспективи. Таким чином, вибір параметрів стереосистеми є критично важливим для забезпечення стабільної роботи алгоритмів визначення глибини.

Окрему проблему становить обробка сцен із низькою текстурованістю, де відсутні виражені ознаки, за якими можна встановити відповідність між пікселями лівого та правого зображень. У таких випадках алгоритми побудови диспаритету можуть генерувати значні похибки або заповнювати області некоректними значеннями. Подібна ситуація характерна для однотонних поверхонь, ділянок із відблисками або недостатнім освітленням. Це призводить до появи “провалів” у карті глибини, що ускладнює подальший аналіз сцени.

Також необхідно враховувати динамічні умови зйомки, характерні для мобільних роботів та безпілотних систем. Під час руху платформи виникають додаткові фактори, такі як вібрації, зміна освітлення та розмиття зображення. Це негативно впливає на стабільність визначення диспаритету, оскільки відповідні точки можуть змінювати своє положення або втрачати чіткість. У результаті система може демонструвати нестабільні значення відстані навіть для нерухомих об’єктів.

Ще одним важливим аспектом є вплив алгоритмів постобробки на кінцевий результат. Фільтрація карти диспаритету дозволяє зменшити рівень шуму та усунути окремі артефакти, однак надмірне згладжування може призводити до втрати дрібних деталей сцени. Це особливо критично у задачах, де необхідно визначати відстань до малих або віддалених об’єктів. Таким чином, виникає необхідність балансування між рівнем шумозаглушення та збереженням просторової структури зображення.

Крім того, слід відзначити, що результати визначення відстані значною мірою залежать від обраного алгоритму обчислення диспаритету. Прості методи забезпечують високу швидкість, але поступаються в точності, тоді як більш складні підходи дозволяють отримати якісніші результати ціною збільшення обчислювальних витрат. Це створює додаткові труднощі при реалізації системи на вбудованих платформах, де ресурси процесора та пам’яті є обмеженими.

У сукупності наведені фактори формують складну задачу визначення відстані за допомогою стереозору, яка потребує комплексного підходу до обробки зображень. Ефективне вирішення цієї задачі можливе лише за умови врахування всіх етапів обробки даних — від отримання зображення до формування кінцевої карти глибини та її аналізу. Саме тому розроблення спеціалізованого програмного модуля, який інтегрує всі необхідні етапи обробки та оптимізує їх виконання, є доцільним та актуальним напрямом досліджень.

Ще однією важливою проблемою є обчислювальна складність алгоритмів стереозору. Побудова карти диспаритету потребує значних обчислювальних ресурсів, особливо при високій роздільній здатності зображення. Це створює обмеження для використання таких систем на вбудованих платформах або одноплатних комп’ютерах. У результаті виникає необхідність пошуку компромісу між точністю та швидкістю системи. Додатково слід враховувати, що ефективність обчислювальних алгоритмів безпосередньо залежить від вибору програмної реалізації та оптимізації обробки даних. Використання сучасних бібліотек комп’ютерного зору дозволяє частково зменшити навантаження на процесор, однак навіть у цьому випадку обробка високороздільних зображень у реальному часі залишається складним

завданням. Особливо це актуально для систем, що працюють на вбудованих платформах або одноплатних комп'ютерах, де ресурси пам'яті та обчислювальної потужності є обмеженими.

Крім того, при реалізації стереозору необхідно враховувати затримки обробки, які можуть впливати на швидкодію всієї системи. У задачах навігації або уникнення перешкод навіть незначні затримки можуть призводити до накопичення помилок у визначенні положення об'єктів у просторі. Це вимагає оптимізації алгоритмів не тільки з точки зору точності, але й з урахуванням часових характеристик їх виконання.

Відповідно до проведеного аналізу пропонується архітектура програмного модуля розрахунку відстані до об'єктів на базі стереокамери, яка забезпечує ефективну обробку зображень у режимі реального часу та підвищення точності оцінки глибини сцени (рис.1).

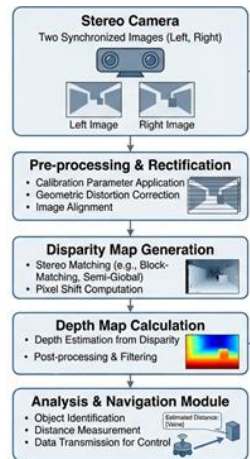


Рисунок 1 - Архітектура програмного модуля розрахунку відстані до об'єктів на базі стереокамери

Джерелом вхідних даних є стереокамера, яка формує два синхронізовані зображення сцени з різних точок спостереження. Отримані зображення передаються до модуля попередньої обробки, де виконується корекція геометричних спотворень та вирівнювання кадрів для забезпечення коректного порівняння пікселів. Після цього здійснюється побудова карти диспаритету, яка відображає зміщення відповідних точок між лівим та правим зображеннями.

На основі отриманої карти диспаритету формується карта глибини сцени, яка дозволяє визначати відстань до об'єктів у кожній точці зображення. Додатково застосовуються методи фільтрації для зменшення шумів та покращення якості результату. Завершальним етапом є модуль аналізу, який визначає відстань до конкретних об'єктів та передає результати для подальшого використання в системах навігації або управління.

Особливістю представленої архітектури є її модульність, що дозволяє адаптувати окремі етапи обробки даних під конкретні обчислювальні можливості цільової платформи. Наприклад, на етапі побудови карти диспаритету можливе використання як локальних алгоритмів для забезпечення максимальної швидкодії на вбудованих системах, так і напівглобальних методів для досягнення вищої точності в задачах, де це є пріоритетним. Впровадження блоку фільтрації безпосередньо після розрахунку глибини дозволяє значно знизити вплив «шумових» пікселів, що виникають через неоднорідність освітлення або наявність однотонних текстур у сцені.

Таким чином, запропонований програмний модуль дозволяє реалізувати ефективне визначення відстані до об'єктів на базі стереозору з урахуванням обмежень реального часу та апаратних ресурсів. Отримані результати підтверджують, що використання комплексного

підходу до обробки зображень дозволяє підвищити точність оцінки глибини сцени та забезпечити стабільну роботу систем комп'ютерного зору в складних умовах експлуатації.

## REFERENCES

1. Yevsieiev V. Classification of Digital Twins in Collaborative Robot Modeling Problems / V. Yevsieiev, K. Luchaninov // Computer-integrated technologies, automation and robotics 2026 : Proceedings of III st All-Ukrainian Conference, May 14-15, 2026. - Kharkiv .: [electronic version], 2026. - P. 93-96
2. Industry 5.0 та колаборативна робототехніка: динамічний опис навколишнього середовища роботів-маніпуляторів з використанням мови Python: монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2026. – 279 с. <https://doi.org/10.30837/978-617-8332-95-2>
3. Model with Neural Network Component for Adaptive Manipulator Control under Variable Load / Amer Abu-Jassar, Mohammad Hamdan, Nowfal Aweisi, Mahmoud Howaidi, V. Yevsieiev, V. Lyashenko // International Journal of Intelligent Engineering and Systems. –19(1). – 2026. – P. 855-868. <https://doi.org/10.32403/10.22266/ijies2026.0131.51>
4. Nevliudov , I. ., Omarov , M. ., Yevsieiev , V. ., Maksymova , S. ., & Jabrayilzade , E. . (2026). MATHEMATICAL MODELING OF TRAJECTORIES CONSTRUCTION, MOVEMENT OF THE GRIPPING DEVICE OF A COLLABORATIVE ROBOT. Advanced Information Systems, 10(1), 11–20. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2026.1.02>
5. Yevsieiev V. Digital Twin in Modeling and Control of Collaborative Robots: Analysis, Comparison and Application Recommendations / V. Yevsieiev, S. Starikova // Computer-integrated technologies, automation and robotics 2026 : Proceedings of III st All-Ukrainian Conference, May 14-15, 2026. - Kharkiv .: [electronic version], 2026. - P. 89-92
6. Chebanchyk D. Analysis of Object Identification Methods for FPV Drones / D. Chebanchyk, V. Yevsieiev // Manufacturing & Mechatronic Systems 2025 : Theses of Reports of IX-st International Conference, October 25-26, 2025. - Kharkiv, 2025. - P. 30-33.
7. Development of a program for processing 3d models of objects in a collaborative robot workspace using an HD camera / V. Yevsieiev, S. Maksymova, Ahmad Alkhalaleh, D. Gurin // Acumen: International Journal of Multidisciplinary Research. – 2025. – Vol. 2(1). – 194-210.
8. Невлюдов І. Ш. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi и мови Python 3.6 : підручник / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв – Харків, 2020. - 257 с.
9. Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. Multidisciplinary Journal of Science and Technology, 4(8), 36-44.
10. Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaleh, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. Multidisciplinary Journal of Science and Technology, 4(8), 5-12.
11. Невлюдов І. Ш. ВЕАМ робототехніка : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР). – Кривий Ріг : Видавець Чернявський Д. О., 2024. – 276 с. – ISBN 978-617-8045-79-1

**Scientific adviser:** Владислав Євсєєв, д.т.н., професор, професор Department of Computer Integrated Technologies, Automation, Robotics and Safety Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics.