

## **АНАЛІЗ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В СУЧАСНИХ СИМУЛЯТОРАХ РОБОТІВ**

студент Поддубняк І.А., доцент, д.т.н., Цимбал О.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та  
робототехніки, м. Харків, Україна

e-mail: illia.poddubniak@nure.ua, oleksandr.tsymbal@nure.ua

**Abstract.** As one of the fields of emerging technologies of Industry 4.0 and Industry 5.0, robotics received tremendous advancements thanks to integration of latest hardware and software, such as high-fidelity cameras and computer vision systems. Sensory input from cameras can be a rich data source of information for computer vision of robotic systems, and, with the need to minimize risks and expenses involved with testing robots in real world, functional principles of cameras also found their use in robotics simulation environments. This work investigates the current state of utilization of computer vision in modern robotics simulator environments.

**Ключові слова:** робототехніка, робот, комп'ютерний зір, симуляція, моделювання.

**Вступ.** Будучи частиною сфери новітніх технологій Industry 4.0 та Industry 5.0, робототехніка досягла значних розвинень завдяки інтеграції такого сучасного апаратного та програмного забезпечення, як якісні камери та системи комп'ютерного зору. Щоб взаємодіяти з реальним світом, роботам потрібні різноманітні дані про їх оточення – зір є ефективним способом збору таких даних, тому камери та обробка даних з них знайшли широке розповсюдження в робототехніці. А через необхідність в мінімізації ризиків і витрат, пов'язаних з тестуванням роботів у реальному світі, комп'ютерний зір для робототехніки також знайшов свою нішу і у середовищах симуляції функціоналу роботів.

У цій роботі досліджується поточний стан галузі використання комп'ютерного зору в сучасних пакетах програмного забезпечення (ПЗ) робототехнічних симуляторів.

**Основна частина.** Як показують результати аналізу публікацій з галузі, дослідники та розробники мають успіх для використання симуляцій для впровадження дій що відповідають цілям застосування роботів, станам роботів та таких даних про середовища навколо роботів, що отримуються з камери. Це стосується й успіху у розробці процесів, які були перевірені й на апаратних виконань роботів, що були модельовані: виявлення цілі, відстеження цілі, пошук шляху, маніпуляція об'єктом, прогнозування майбутніх станів за необробленими сенсорними показаннями, автономне приземлення, контроль групи роботів у формації лідер-послідовник, оцінка погляду, оцінка руху, точна взаємодія з руками людини тощо [1].

Більшість моделювань, процеси яких названо вище, мали спрощені вигляди рендерінгу об'єктів, але результати моделювання з них мали продуктивні співвідношення з результатами використання роботів у справжньому виконанні, де камери вловлювали зображення саме реальних середовищ. З точки зору застосування симуляцій, успіхи таких типів є можливими завдяки особливостям ходу обробки зображень в програмній частині комп'ютерного зору – як зазначено публікаціями з галузі [2-3], це пов'язано з тим, що, для більшості цілей розробок, видима фотографічна реалістичність відображення симуляцій має другорядне значення – для правильних програмних опрацювань систем комп'ютерного зору, для знятих зображень потрібний саме реалізм даних, який не обов'язково має повне співвідношення з фотореалізмом.

Першорядність реалізму даних варто пам'ятати та враховувати при оцінюванні рівня потреб у апаратному забезпеченні, що буде проводити рендерінг для розробника, бо фотореалістичний рендерінг вимагає більш потужних та коштовних апаратних компонентів.

Для подальшого аналізу необхідно окреслити різновиди камер, що використовуються у робототехніці – вони приведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Типові види камер, що використовуються в робототехніці для комп'ютерного зору

Пристрій	Тип знімання	Приклади застосування
Камера RGB	Зображення з широким діапазоном кольорів за низької вартості	Виявлення об'єктів
Камера дальнісного зображення	Поєднання RGB зображень з даними відстані з далекоміру	Система керування з точною взаємодією з людиною
Стереокамера	Імітація двоокого зору людини кількома лінзами	Навігація роботів зі спрощеним розпізнаванням об'єктів
Ендоскопічні, мікроскопічні камери	Роздільні зображення у важкодоступних місцях	Керування мікророботами та роботами з м'якими компонентами
Монокулярна камера	Цілісні зображення з широким полем зору за низької вартості та маленької ваги	Відстеження цілі, швидкий аналіз місцевості «сферичними зображеннями»
Інфрачервона (IR) камера	Знімання зображень за IR випромінюванням	Перевірка на перегрівання, нічний зір, відстеження очей по IR відблиску

Щодо обмежень застосувань камер, варто зазначити, що, у порівнянні з датчиками зображення, людська зорова система більш чутлива та краще здатна до адаптацій – штучний датчик зору не зможе надійно виявляти

об'єкти, якщо середовище піддається впливу незвичайного освітлення. Але для проблеми освітлення є багато рішень, які можна впроваджувати у апаратне виконання та моделювати у симуляційному ПЗ з оновленнями:

- застосування активного освітлення, джерело якого може бути вбудоване в сам датчик зору;
- застосування IR освітлення та камери;
- застосування фіксованого освітлення навколишнього середовища;
- застосування додаткових оптичних технологій, які використовують світло іншими методами, наприклад LIDAR.

Отже, відповідно особливостей використання комп'ютерного зору для реалістичного розв'язання різних задач робототехніки на рівні симуляцій, можна привести такі пакети ПЗ симуляцій, що відповідають різним функціональним вимогам у галузі [3-9]:

- Project Chrono (через Chrono::Sensor) – підтримка RGB, мап глибин, LIDAR. Краще орієнтований на комплексні фізичні симуляції типу багатокомпонентних транспортів, ґрунту, температур тіл тощо;
- Webots – підтримка RGB, датчику відстані, вимірювача відстані, LIDAR. Краще орієнтований на універсальність, оптимізоване використання комп'ютерних ресурсів та простоту використання;
- Gazebo (та Gazebo Ignition) – підтримка RGB, термальної камери, датчиків відстані, мап глибин, LIDAR. Краще орієнтований на інтеграцію ROS2 (що, серед іншого, необхідно для паралельної роботи між симульованим та апаратним виконанням роботи);
- MuJoCo (через OpenAI Gym) – підтримка RGB, IR, датчику відстані, мап глибин, LIDAR. Орієнтований на машинне навчання;
- NVIDIA Isaac Sim – підтримка RGB, IR, LIDAR. Орієнтований на машинне навчання та фотореалізм рендерінгу;
- CoppeliaSim (V-REP) – підтримка RGB, IR, LIDAR. Орієнтований на простоту використання та універсальність;
- PyBullet – підтримка RGB, мап глибин, LIDAR. Орієнтований на машинне навчання та комплексні фізичні симуляції (наприклад, м'які об'єкти).

Варто зазначити, що симуляція стереоскопічних камер, камер с широким кутом огляду, камер-далекомірів та камер зі змінним масштабуванням є можливою й непрямыми способами – наприклад, використання кількох камер для стереоскопічної камери, зміна параметрів масштабування та куту огляду для змінної камери та ширококутової камери, використання значень позицій об'єктів симуляції чи використання модулів далекомірів (чи LIDAR) для поєднання з модулем камери для отримання камери-далекоміра тощо.

Так як центр прийняття зображень камер в симуляціях – це абстрактна точка в координатах, то можна моделювати роботу камери будь-яких габаритів та апаратних виконань – обмеження існують тільки на рівні

результатів оптичних принципів роботи, які можна відобразити у симуляції.

**Висновки.** Під час вибору сучасного симуляційного ПЗ, розробнику варто пам'ятати як особливості використання камер та комп'ютерного зору у симуляціях, так й те, що різні середовища мають свої відмінності як в плані типів камер, симуляції яких можуть бути підтримані, так й в плані загальних можливостей моделювання різних процесів, на яких будуть опиратись розроблені системи комп'ютерного зору. З подальшими розробками пакетів симуляційного ПЗ, відмінності між їх інтеграціями комп'ютерного зору можуть зменшитися, а функціонал – розширитися.

#### **Список використаних джерел.**

1. M. T. Shahria, M. S. H. Sunny, M. I. I. Zarif, J. Ghomam, S. I. Ahamed, and M. H. Rahman, "A Comprehensive Review of Vision-Based Robotic Applications: Current State, Components, Approaches, Barriers, and Potential Solutions," *Robotics*, vol. 11, no. 6, p. 139, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/robotics11060139>.

2. A. Elmquist, R. Serban, and D. Negrut, "Camera simulation for robot simulation: how important are various camera model components?," *arXiv (Cornell University)*, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2211.08599>.

3. A. Elmquist, R. Serban, and D. Negrut, "A Sensor Simulation Framework for Training and Testing Robots and Autonomous Vehicles," *Journal of Autonomous Vehicles and Systems*, vol. 1, no. 2, Feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.1115/1.4050080>.

4. M.-A. Blais and M. A. Akhloufi, "Reinforcement learning for swarm robotics: An overview of applications, algorithms and simulators," *Cognitive Robotics*, vol. 3, pp. 226–256, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.07.004>.

5. Z. Chen, J. Yan, B. Ma, K. Shi, Q. Yu, and W. Yuan, "A Survey on Open-Source Simulation Platforms for Multi-Copter UAV Swarms," *Robotics*, vol. 12, no. 2, pp. 53–53, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/robotics12020053>.

6. V. Křivánek, V. Starý, and Y. Bergeon, "Optical Sensor Placement Optimization for Unmanned Ground Vehicles by the Simulation," in *IEEE Xplore, IEEE*, Jul. 2023. doi: <https://doi.org/10.1109/icmt58149.2023.10171309>.

7. T.-W. Kang, J.-B. Yi, D. Song, and S. Yi, "High-Speed Autonomous Robotic Assembly Using In-Hand Manipulation and Re-Grasping," *Applied sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 37–37, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/app11010037>.

8. A. Ma'arif, A. A. Nuryono, and Iswanto, "Vision-Based Line Following Robot in Webots," in *IEEE Xplore, IEEE*, Nov. 2020, pp. 24–28. doi: <https://doi.org/10.1109/FORTEI-ICEE50915.2020.9249943>.

9. A. S. Priambodo, F. Arifin, A. Nasuha, Muslikhin, and A. Winursito, "A Vision and GPS Based System for Autonomous Precision Vertical Landing of UAV Quadcopter," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2406, no. 1, p. 012004, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2406/1/012004>.