

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ У СИСТЕМІ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА

**Михайлов Р. А.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: ruslan.mykhailov@nure.ua

В роботі досліджено процеси обробки відеоінформації в системах технічного зору, алгоритмічне та програмне забезпечення для обробки зображень і розпізнавання об'єктів у системах технічного зору промислових роботів. Виконаний аналіз існуючих методів математичного забезпечення та алгоритмів обробки зображень.

**Ключові слова:** системи технічного зору, камера, мобільний робот.

## ANALYSIS OF VIDEO INFORMATION PROCESSING METHODS IN THE INDUSTRIAL ROBOT TECHNICAL VISION SYSTEM

**Mykhailov Ruslan**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky Ave. 14

E-mail: ruslan.mykhailov@nure.ua

The work investigates the processes of video information processing in machine vision systems, algorithmic and software for image processing and object recognition in machine vision systems of industrial robots. An analysis of existing methods of mathematical support and image processing algorithms is performed.

**Keywords:** AVS, camera, mobile robot.

Система технічного зору (СТЗ) розширює можливості автоматичного керування технологічними процесами, дозволяючи визначати розмір, позицію та орієнтацію вузлів на лінії складання. Однак для реалізації всього потенціалу таких систем велике значення має об'єкти камери, що використовуються [1].

Для робототехнічних систем, які застосовуються під час складання або контролю великої кількості предметів, наприклад в автомобільній промисловості та на лініях моніторингу, конвеєрна стрічка є контрольним пунктом. На ній роботи виконують дві функції: ідентифікацію та переміщення.

Для більшості систем технічного зору освітлення є однією з найважливіших характеристик. Система повинна забезпечувати високу повторюваність даних, тому для отримання чіткого зображення необхідно мінімізувати вібрацію [2].

На лініях контролю великих партій продукції, наприклад у фармакології, система технічного зору повинна ідентифікувати пошкодження упаковки, нерозбірливі етикетки та відсутність медикаментів, швидко розпізнавати і проводити вимірювання квадратних, круглих і прямокутних об'єктів з високою точністю. Підтримка однакового зовнішнього вигляду та кольору упаковки дозволяє підвищити точність системи. У системах контролю харчових продуктів розмір, колір, щільність і форма визначаються багатокomпонентним обстеженням об'єкта. Багатоелементні системи технічного зору можуть мати кольорові та монохромні камери, використовувати структуроване освітлення для визначення профілю та внутрішнього складу продукту.

Функціональні завдання СТЗ, характерні для робототехнічних застосувань, можна умовно поділити за рівнем їх відносної складності. До стандартних завдань належать: виявлення наявності об'єкта; вимірювання відстані до об'єкта, його лінійних або кутових переміщень, швидкості; вимірювання геометричних параметрів об'єкта; визначення фізичних характеристик випромінювання об'єкта тощо [8].

**КЛАСИФІКАЦІЯ СТЗ.** Ефективність функціонування СТЗ різних типів значною мірою визначається досконалістю їх структурних схем, які в реальному масштабі часу повинні виділяти зображення окремих об'єктів досліджуваної сцени, здійснювати їх класифікацію, вимірювати відстань між ними, визначати розміри тощо. Залежно від складності аналізованої сцени та типу розташованих на ній об'єктів використовують різні принципи побудови візуальних аналізаторів: активні, пасивні, монокулярні, біокулярні, такі, що формують далекомірну картину тощо [3].

Під час класифікації СТЗ можуть використовуватися різні класифікаційні схеми. Так, СТЗ можуть бути поділені таким чином:

а) двовимірні, тривимірні та такі, що мають розмірність 2,5 (зі структурованим підсвічуванням);

б) бінарні та багатотональні;

в) активні (з підсвічуванням) і пасивні (без підсвічування) тощо.

Як перетворювачі світло-сигналу, що реалізують процес зчитування зображення, у СТЗ застосовують як вакуумні телевізійні передавальні трубки, так і твердотільні матричні перетворювачі зображення – прилади із зарядовим зв'язком (ПЗС). Методи збору та передавання інформації здебільшого запозичені з телебачення: використовуються растрові способи розгортки зображень. Однак для отримання зображень потрібних відомостей застосовують методи обробки відеоінформації, зокрема ідентифікацію та розпізнавання образів, інтерпретацію сцен та інші методи, не характерні для звичайної телевізійної техніки. Відмінною особливістю задач аналізу, контролю та автоматичної класифікації зображень є їх багатовимірність. У найпростішому випадку зображення характеризується двома просторовими координатами, до яких додається третя – часова. Зображення, отримані в різних діапазонах електромагнітного спектра (видимому, інфрачервоному та ультрафіолетовому), як правило, містять дуже великий обсяг інформації, яку необхідно обробити для їх ідентифікації, виявлення відмінностей і прийняття рішень. Це зумовлює жорсткі вимоги до систем візуального контролю та класифікації щодо роздільної здатності й продуктивності. Крім того, більшість зображень характеризується наявністю завадового фону, а також невизначеністю положення й орієнтації окремих елементів, що призводить до значної надлишковості інформації. Це зумовлює необхідність використання методів попередньої обробки зображень: фільтрації, нормування, згладжування тощо.

Процес автоматичного аналізу візуальної інформації, як правило, є складною багатоступеневою процедурою. Після завершення операції розгортки зображення у відеодатчику інформація в аналоговій або цифровій формі надходить на наступні етапи обробки. Аналіз візуальної інформації є процесом, що базується на використанні аналізуючої структури, чутливої до різних рівнів деталізації зображення. При цьому застосовують різноманітні методи обробки, ідентифікації та розпізнавання двовимірних і тривимірних зображень, зокрема стереоскопічні методи, методи активного зондувального підсвічування тощо. Під час реалізації процесу ідентифікації об'єктів у реальному масштабі часу дуже важливим питанням є виділення оптимальних ознак ідентифікації об'єктів. Існує багато способів розпізнавання об'єктів, застосування яких пов'язане з необхідністю виконання великої кількості машинних процедур і, відповідно, наявністю ЕОМ із великою ємністю пам'яті. У СТЗ використовують спрощені методи ідентифікації об'єктів за їх геометричними

ознаками, характерними конструктивними елементами тощо. Ознаки ідентифікації визначаються в режимі навчання системи та зберігаються в пам'яті ЕОМ як еталонні, з якими порівнюються ті самі параметри, що визначаються під час роботи системи. Перспективними для використання в СТЗ є різні алгоритми самонавчання, які визначають ознаки ідентифікації на етапі навчання під час кількох пред'явлень об'єкта. Іноді еталонами виступають не окремі ознаки, а шаблони зображення.

Положення об'єкта визначається за координатами його бінарного силуету. Орієнтацію можна визначити, наприклад, за напрямком, що відповідає найбільшому радіусу, або за напрямком на найбільший отвір. У зв'язку зі значним прогресом у галузі обчислювальної техніки нині в автоматичному розпізнаванні образів досягнуто певних успіхів. Роботи ведуться переважно за двома напрямками. Перший напрям – це створення систем обробки й аналізу зображень для різних автоматичних виробничих комплексів. Ці системи призначені для розв'язання таких завдань, як ідентифікація, класифікація та сортування деталей, контроль якості їх поверхонь тощо. Другий напрям пов'язаний зі створенням автоматичних пристроїв для зчитування етикеток, маркувань, чеків тощо. Інтенсивні роботи ведуться зі створення технічних засобів для систем аналізу двовимірних і тривимірних сцен. Однак основна частина досліджень зосереджена на проблемах обробки, аналізу та використання візуальної інформації (розробка програм, алгоритмів і засобів їх апаратної реалізації).

Алгоритм обробки двовимірної візуальної інформації за допомогою СТЗ зазвичай включає такі процедури: отримання даних про зображення, бінаризацію зображення, сегментацію, виділення характерних ознак, ідентифікацію або класифікацію об'єктів, визначення положення об'єктів і передачу даних до виконавчих органів. Таким чином, функції, що виконуються СТЗ, можна поділити на три групи: ідентифікація форми; визначення просторового положення; виділення сигналу контролю або керування.

Ідентифікація форми необхідна для того, щоб відрізнити одну деталь від іншої, визначити, чи потрібна дана деталь для виконання технологічної операції. Для розв'язання цього завдання часто використовується метод зіставлення образів. Алгоритми визначення положення об'єкта зазвичай ґрунтуються на аналізі геометричних характеристик зображення, таких як геометричний центр, центр мас, головні осі інерції об'єкта тощо. Іноді для цієї мети використовують характерні особливості контуру або його ділянки (злами, прямолінійні відрізки тощо) [4].

В даний час найбільш розробленими є системи аналізу двовимірних зображень, що зазвичай працюють з одним відеодатчиком. Такі системи, як правило, мають у своїй архітектурі чотири ієрархічні рівні, які взаємодіють між собою [5]:

- а) відновлення зображення – отримання достовірного зображення, корекція спотворень, внесених приймальними пристроями та завадами, фільтрація тощо;
- б) сегментація – перетворення зображення у бінарну форму, розкладання зображення на фрагменти, що відповідають окремим об'єктам або їх частинам тощо;
- в) опис зображень – визначення узагальнюючих ознак, наприклад морфометричних, текстурних, мультиспектральних тощо;
- г) аналіз – узгодження з моделлю, класифікація, варіювання ознак за допомогою мов високого рівня, інтерпретація зображення тощо.

Перші два ієрархічні рівні є процедурами попередньої обробки зображень і реалізуються за допомогою спеціальних засобів математичного та апаратного забезпечення. Для реалізації вищих ієрархічних рівнів СТЗ необхідні засоби, технічний рівень яких дозволяє віднести їх до систем штучного інтелекту.

Розв'язання завдань зазначених рівнів потребує використання проблемно-орієнтованих мов, застосування моделей простору, банків даних тощо.

Як було зазначено вище, СТЗ можна класифікувати залежно від того, яким чином у них здійснюється обробка зображень, на бінарні та багатотонові. У бінарних двовимірних системах кожна точка зображення описується в термінах двох тонів – чорного та білого, а в багатоградаційних системах точки зображення можуть мати напівтони. Перехід від напівтонових зображень до бінарних здійснюється за допомогою операції порівняння з порогом. У бінарних системах об'єкти спостерігаються або у відбитих, або у прохідних променях, при цьому похиле освітлення в деяких випадках використовується для отримання тіней, за якими можна оцінити висоту об'єкта. Процедури обробки відеоінформації в бінарних системах простіші і, відповідно, швидкість обробки вища. Такі системи завдяки меншій інформаційній ємності зображення мають підвищену швидкодію порівняно з напівтоновими системами, у яких яскравість кодується значно більшою кількістю рівнів.

Водночас багатоградаційні системи дозволяють отримати значно більше інформації про об'єкт, ніж бінарні. Якщо відбивна здатність, текстура або форма деталі такі, що її важко виділити з фону, необхідно обробляти напівтонові зображення. Такі СТЗ дають змогу здійснювати більш детальний аналіз відеоінформації, однак у реальному масштабі часу ці системи поки що працюють лише у відносно вузьких галузях [6].

**МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У СТЗ.** Розпізнавання двовимірних зображень може бути виконане на основі використання таких методів:

- а) зіставлення з еталоном;
- б) заснованих на теорії прийняття рішень;
- в) синтаксичних.

У методах першої групи під час аналізу зображень використовується набір еталонних зображень – представників кожного типу об'єктів. У процесі класифікації аналізоване зображення порівнюється з кожним еталоном.

Результати порівняння дозволяють зробити висновок про належність об'єкта до того чи іншого класу. Такий підхід є найбільш простим під час розв'язання задач розпізнавання, оскільки вихідні зображення не піддаються обробці з метою виділення певних характеристик, а виконується лише попередня обробка для очищення зображення від шумів. Процес прийняття рішення полягає у порівнянні з усіма еталонами та обчисленні критерію узгодженості (наприклад, кореляційної функції). Однак такий підхід потребує значних обчислювальних витрат, оскільки порівняння необхідно виконувати для всіх можливих положень об'єкта в полі зображення. Розроблено різні алгоритми порівняння з еталоном бінаризованих зображень.

Під час бінаризації в діапазоні яскравості зображення обирається поріг, порівняння з яким дає «чорні» силуети об'єктів на «білому» фоні. У тому випадку, якщо деталь може займати невелику кількість фіксованих положень і орієнтацій (що може бути досягнуто, наприклад, за допомогою механічних упорів), для її розпізнавання можна успішно застосувати метод зіставлення з еталоном.

У методах розпізнавання, заснованих на теорії прийняття рішень, використовуються класичні підходи до розпізнавання. За таких підходів об'єкти представляються у вигляді N-вимірних векторів у просторі ознак, а процес прийняття рішення базується на обчисленні міри близькості спостережуваного вектора до області визначення шуканого об'єкта. Ця міра близькості може бути виражена як відстань, імовірнісна характеристика тощо. Як правило, при використанні такого підходу попередньо виконується навчання системи, обираються найбільш інформативні ознаки, які використовуватимуться під час прийняття рішення. Оскільки в методах цієї групи зображення описується в термінах певних кількісних характеристик, немає необхідності зберігати еталонне зображення [7].

Класифікація здійснюється відповідно до статистичних методів за багатовимірними функціями щільності умовної ймовірності. Основними етапами обробки відеоінформації при використанні таких методів є сегментація зображення, виділення ознак і класифікація. Завдання етапу сегментації полягає у розбитті зображення на області, що відповідають різним об'єктам.

Після сегментації зображення виконується виділення ознак, які повинні бути інваріантними до положення й орієнтації об'єктів і водночас однозначно їх розрізняти. Розпізнавання ґрунтується на морфологічних ознаках, у ролі яких використовуються такі характеристики форми, як площа силуету, його периметр, відношення площі до периметра, відношення моментів інерції, максимальний і мінімальний радіуси, площа та кількість отворів, протяжність тощо. Сукупність цих характеристик утворює опис об'єкта, за яким здійснюється класифікація [8].

Третю групу методів розпізнавання зображень становлять синтаксичні методи. При цьому підході зображення подається як речення (конструкція мови, яка визначається введеною граматиною); для опису об'єктів і сцен використовуються формальні граматики, а процес прийняття рішення являє собою синтаксичний аналіз.

Як уже було зазначено, СТЗ можуть бути поділені на двовимірні, тривимірні та системи з розмірністю 2,5. Розглянуті вище двовимірні системи призначені для ідентифікації плоскої робочої сцени, форма об'єктів у якій однозначно визначається за двовимірною проекцією. Більшість існуючих СТЗ працює з двовимірними зображеннями. Такі СТЗ реалізуються переважно за допомогою відеодатчиків, що працюють при розсіяному освітленні. Системи з розмірністю 2,5 додатково забезпечують визначення окремих просторових параметрів; для цих цілей у них використовуються допоміжні освітлювальні засоби.

Тривимірні системи дозволяють ідентифікувати будь-які просторові властивості об'єктів незалежно від вибору позиції спостереження.

Найбільший економічний ефект системи технічного зору дозволяють отримати у тих випадках, коли:

- а) можливо однозначно визначити форму та габарити виробу;
- б) для опису виробу може бути використаний обмежений набір характеристик;
- в) візуальний контроль виконується в обмеженому обсязі;
- г) розміри виробу допускають використання візуального контролю;
- д) існує чіткий контраст між виробом і фоном.

**ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ СИСТЕМИ.** Вся система при цьому повинна відповідати таким вимогам:

- отримувати відеопотік з камери;
- отримувати список об'єктів, що знаходяться в полі зору камери в поточний момент;
- на основі отриманих даних складати карту навколишнього середовища;
- обробка інформації повинна відбуватися в режимі реального часу;
- розміри об'єктів;
- мати низьке споживання обчислювальних ресурсів;
- бути надійною;
- при створенні системи бажано використовувати максимально доступні засоби та матеріали.

Як базова платформа використовується робот РМ-01. Відеокамера встановлюється на маніпулятор робота. Оскільки немає особливих вимог до каналу зв'язку між відеокамерою та системою керування, обирається кабельне підключення.

В якості сервера обчислень використовується IBM/PC сумісний комп'ютер. Підключення камери здійснюється через порт USB 1.1.

ВИСНОВКИ. Було проаналізовано перспективним напрямом розвитку систем технічного зору, зокрема біонічним підходам, що базуються на принципах зору комах. Такі системи можуть забезпечити майже миттєвий огляд у всіх напрямках та мають великий потенціал для застосування у робототехніці.

У результаті роботи було встановлено, що вибір конкретної системи технічного зору залежить від умов експлуатації та поставлених задач. Для задач навігації в обмеженому середовищі доцільно використовувати системи на основі дзеркального конуса, тоді як для більш складних умов - системи з орієнтацією або комбіновані рішення.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Bilozerskyi, V., Dergachov K., Krasnov L. Аналіз і попередня обробка відеоданих для підвищення якості роботи систем технічного зору. *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"* 68.2 (2023): 50-66.

2. Y.Hu, Z.Gao, Z.Luo, L.An, Next-Generation Image Sensors Based on Low-Dimensional Semiconductor Materials. *Adv. Mater.*2025, 37, 2501123.

3. Wang, Zhaoqing, et al. "Multidimensional vision sensors for information processing." *Nature Nanotechnology* 19.7 (2024): 919-930.

4. Meribout, Mahmoud, et al. "State of art IoT and Edge embedded systems for real-time machine vision applications." *IEEE Access* 10 (2022): 58287-58301.

5. Ojika, Favour Uche, et al. "The impact of machine learning on image processing: A conceptual model for real-time retail data analysis and model optimization." *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation* 3.1 (2022): 861-875.

6. Mehta, A., & Vasudev, H. (2026). Advances in welding sensing information processing and modelling technology: an overview. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 40(3), 586-630.

7. Sun, Y., Li, Z., Yang, Z., Yuan, B., Zhao, D. A., Ren, N., & Cheng, Y. (2026). Design of Monitoring System for River Crab Feeding Platform Based on Machine Vision. *Fishes*, 11(2), 88.

8. Ayoubi, M., & Arashpour, M. (2026). Enhancing workplace safety through assistive computer vision: Real-time hazard recognition using the Workplace Hazards Dataset (WHD). *Computer Vision and Image Understanding*, 104681.

9. Tsai, S. D., Wei, S. E., Chen, T. H., & Lin, C. H. (2026). A Real-Time Power-Saving Framework for Mobile Camera Applications Based on Machine Learning. *IEEE Access*, 14, 8632-8647.

10. Liu, J., Wang, Y., Ma, H., Wu, X., Ma, X., Wei, X., ... & Hu, J. (2026). Kangaroo: A Powerful Video-Language Model Supporting Long-context Video Input: J. Liu et al. *International Journal of Computer Vision*, 134(3), 114.

11. Chen, G., Huang, Y., Xu, J., Pei, B., Wang, J., Chen, Z., ... & Wang, L. (2026). Video mamba suite: State space model as a versatile alternative for video understanding. *International Journal of Computer Vision*, 134(1), 20.

12. Lin, C., Li, J., & Hao, H. (2026). Deep learning-based motion magnification and frames matching for structural displacement measurement using computer vision. *Engineering Structures*, 346, 121647.

13. Motamed, S., Culp, L., Swersky, K., Jaini, P., & Geirhos, R. (2026). Do generative video models understand physical principles?. In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision* (pp. 948-958).

14. Zheng, Y., Zhang, J., Zhao, R., Ding, J., Chen, S., Wu, W., ... & Huang, T. (2026). SpikeCV: open a continuous computer vision era. *Science China Information Sciences*, 69(3), 132106.

15. Технічне та програмне забезпечення розробки малогабаритного мобільного робота: монографія / І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, Д.В. Гурін. Кривий Ріг: КФК ДНП «Державний університет «Київський авіаційний інститут», 2025. – 355с.

16. ВЕАМ робототехніка [Електронний ресурс] : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків : Видавець Чернявський Д. О., 2024. 276 с.

17. Lyashenko, V., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2023). Automated Monitoring and Visualization System in Production. *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, 5(6), 9-18.

18. 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.

19. 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.

20. Yevsieiev V. Development of a model for constructing the optimal trajectory of the gripping device of a collaborative robot-manipulator taking into account the influence of the cargo mass and energy consumption / V. Yevsieiev, D. Gurin // *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології.* – 2026. - № 107. – С. 224-240. - DOI: 10.32620/oikit.2026.107.15.

21. Nevludov , 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>

22. Yevsieiev V. Multi-Agent Collaborative Robots With Adaptive Sensor Fusion for Monitoring and Mitigation of Emergency Situations / V. Yevsieiev, N. Demska // *Інтелектуальні технології цивільної безпеки та робототехнічні системи аварійно-рятувальних робіт 2026 : матеріали I-ої Всеукраїнської конфер.12-13 лютого 2026 р.* - Харків: [електронний друк], 2026. – С. 162-165.

23. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Remote monitoring system of patient status in social IoT environments using amazon web services technologies and smart health care. *International Journal of Crowd Science*, 9(2), 110-125.

24. Невлюдов, І., Євсєєв, В., Максимова, С., & Артюх, Р. (2025). Математична модель адаптивного ієрархічного високорівневого керування триланкового колаборативного робота-маніпулятора. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*, (2 (32)), 58-68.

25. Yevsieiev, V., Gurin, D., Kulish, S., & Voloshyn, Y. (2025). Development of a partially supervised Markov decision-making model for a 3-link collaborative robot-manipulator. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2025(4), 83-94.

26. Yevsieiev V. Digital Twins of Collaborative Robotic Systems for Decision Support in Emergency Situations / V. Yevsieiev, S. Svetlana // *Intelligent Civil Safety Technologies and Robotic Systems for Emergency and Rescue Operations (ICSTRO-2026) : Proceedings of I-st All-Ukrainian Conference, February 12-23, 2026.* – Kharkiv, 2026. - P. 153-156.

27. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and investigation of vision system for a small-sized mobile humanoid robot in a smart environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.

**Науковий керівник:** Андрусевич Анатолій Олександрович, доктор технічних наук, професор кафедри КІТАРБІ Харківського національного університету радіоелектроніки