

М. І. ЧЕРПАКОВ**ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ІЗ ТЕХНОЛОГІЄЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ НА ВИРОБНИЦТВАХ**

Проведено огляд на використання систем комп'ютерного зору, складність та проблематику їхньої розробки та використання на сучасних виробництвах, які потребують автоматизації праці та впровадження новітніх технологій для контролю за технологічним процесом. Виділені основні перспективні галузі для реалізації систем комп'ютерного бачення. Визначені основні причини складності побудови подібних систем, які мають у собі як фізичну природу, так і комплексну природу комп'ютерного зору як дисципліни. Розглянута взаємодія таких систем із програмованими контролерами. Розглянуті мови програмування, на які слід звернути увагу як для програмування контролерів, так і для розробки комп'ютерного зору. Це мови програмування C++ та Python для розробки програмного забезпечення, які мають відповідні бібліотеки, що реалізують розпізнавання та навчання систем шляхом впровадження машинного навчання, а також мови ST, IL, LD, FBD, SFC для керування програмованими контролерами. Так само, реалізація основних вимог для систем комп'ютерного зору, як то гнучкість і масштабування є можливими завдяки мовам C++ та Python із відповідними сторонніми бібліотеками. Мова програмування у даному випадку стає зручним інструментом для впровадження попередньо реалізованих складних функцій. Звернена увага на те, що автоматичні системи із застосуванням комп'ютерного бачення є дискретно-аналоговими та потребують відповідних технічних пристроїв та програмованих контролерів. Також розглянуті технічні елементи, з яких вони мають складатися.

Ключові слова: комп'ютерний зір, програмований контролер, автоматизація виробництва, дискретно-аналогова система.

М. СHERPAKOV**STUDY OF THE IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC SYSTEMS WITH COMPUTER VISION TECHNOLOGY IN MANUFACTURING**

An overview of the use of computer vision systems, the complexity and problems of their development and use in modern industries that require automation of labor, and the introduction of the latest technologies to control the technological process. The main promising areas for the implementation of computer vision systems are highlighted. The main reasons for the complexity of building such systems, which have both the physical nature and the complex nature of computer vision as a discipline, are identified. The interaction of such systems with programmable controllers is considered. The use of programming languages for both controller programming and computer vision development is examined. These are C++ and Python programming languages for software development that have corresponding libraries that implement recognition and learning of systems by implementing machine learning, as well as ST, IL, LD, FBD, and SFC languages for controlling programmable controllers. Likewise, the implementation of basic requirements for computer vision systems, such as flexibility and scalability, is possible owing to C++ and Python languages with corresponding third-party libraries. The programming language in this case becomes a convenient tool for actualizing pre-implemented complex functions. Attention is drawn to the fact that automatic systems using computer vision are discrete-analog and require appropriate technical devices and programmable controllers. The technical elements that they should consist of are also considered.

Keywords: computer vision, programmable controller, production automation, discrete-analog system.

Вступ. У сучасних реаліях розвитку машинобудування важливим чинником є постійне удосконалення технологій та їхня інтеграція у виробництво. Однією з найважливіших галузей удосконалення виробництва є автоматизація праці із застосуванням гідравлічних та пневматичних автоматичних систем, промислових роботів задля того, щоб зменшити втручання людського фактора, пришвидшити та здешевити виробництво. Перспективною є побудова таких систем із запровадженням комп'ютерного зору або комп'ютерного бачення. Комп'ютерний зір – це міждисциплінарна наукова галузь, яка ставить за мету створення автоматичних систем, які можуть виконувати ті ж завдання із розпізнавання об'єктів, що і людська зорова система [1].

Люди без проблем можуть розгледіти прозорість пелюстків квітів у вазі або упізнати усіх людей на фотографії та визначити їхні емоції. Машини ж цього зробити не можуть, проте завдання дослідників комп'ютерного зору і полягає в тому, щоб розробляти математичні моделі для одночасного виявлення тривимірної форми та розрізнення об'єктів на зображеннях. Попри серйозний розвиток технологій, побудувати системи із таким самим рівнем деталізації

об'єктів, як у людей, все ще залишається важкою задачею [2].

Комп'ютерний зір є такою складною галуззю зокрема тому, що це задача зворотного дослідження, в якій треба відновити деякі невідомі, враховуючи недостатню інформацію для повного розв'язання задачі. Це змушує вдаватися до заснованих на фізиці та теорії імовірності моделей або ж до машинного навчання на великій кількості прикладів.

Сенс зворотної інженерії, яка використовується для комп'ютерного зору, в тому, щоб проаналізувати наявний об'єкт або зображення з метою виявлення його складових. Тобто це описання побаченого світу та реконструкція його властивостей, як-то: форма, освітлення, розподіл кольорів тощо.

Комп'ютерний зір сьогодні використовується в багатьох сферах людської діяльності, серед яких [2]:

1. Оптичне розпізнавання символів: автоматичне розпізнавання номерних знаків (ANPR).
2. Перевірка деталей машин: пошук дефектів у сталевих виливках за допомогою рентгенівського зору; забезпечення дотримання допусків на крилах літаків за допомогою стереобачення та спеціального освітлення.
3. Роздрібна торгівля: розпізнавання об'єктів для

автоматизованих касових смуг і повна автоматизація магазинів.

4. Дотримання санітарних норм та норм безпеки: контроль наявності засобів індивідуального захисту на працівниках [3].

5. Автоматична автентифікація: розпізнавання відбитків пальців і біометричних даних [4].

6. Автоматизація логістики: автоматичні приводи для транспортування піддонів і збирання деталей роботами-маніпуляторами; автономне доставляння пакетів.

7. Безпілотні транспортні засоби: здатність автономного пересування між визначеними точками [5]; автономний політ [6].

8. Побудова 3D моделі (фотограмметрія): повністю автоматизована побудова 3D моделей з аерофотознімків та фотографій з дронів.

Основна частина. Незалежно від цілі застосування, система комп'ютерного зору має містити такі основні елементи: джерело живлення, пристрій для отримання зображення (це може бути як відео камера, так і спеціалізовані мікросхеми, що складаються зі світлочутливих фотодіодів), контролер або персональний комп'ютер, до якого ця система має підключатись, дисплей для моніторингу стану системи або для виводу результатів роботи, а також програмне забезпечення, яке розроблене безпосередньо для вирішення практичних завдань.

У наш час широко застосовуються різні сім'ї програмованих контролерів і мікро-ЕОМ для управління агрегатами, установками та технологічними процесами. У склад програмованих контролерів і мікро-ЕОМ в загальному випадку можуть входити мікропроцесор, генератор тактових імпульсів, запам'ятовувальний пристрій програм, запам'ятовувальний пристрій даних (ОЗУ) та інтерфейс вводу – виводу, через який мікропроцесор приймає інформацію від пристроїв вводу і подає інформацію на пристрої виводу [7].

Комп'ютерне бачення ж як технологія реалізується за допомогою програмного забезпечення (ПЗ). Зазвичай таке ПЗ може бути написане із допомогою мов програмування C++ та Python із відповідними бібліотеками (OpenCV, Torch, PyTorch, tensorflow, Keras). Бібліотеки являють собою попередньо написаний і реалізований функціонал, який допомагає розв'язувати проблеми комп'ютерного зору. Вони можуть бути як кросплатформними, так і призначеними для якоїсь конкретної платформи або мови. Часто у таких бібліотеках є мінімально необхідний набір базових інструментів, але кожна окрема бібліотека може бути спрямована на свою галузь. Однак цього недостатньо для побудови автоматизованої системи, бо само по собі таке програмування дозволяє лише обробляти зображення, а для прийняття відповідних дій на основі отриманих даних потрібен контролер, який буде отримувати дані з датчиків і пристроїв вводу та керувати усією системою.

Для програмування промислових програмованих контролерів використовують певний перелік мов,

деінде вони здебільшого не застосовуються. Серед них дві текстові, три графічні. Згідно зі стандартом [8]:

1. ST (Structured Text) – структурований текст – мова, що походить від мови Paskal.

2. IL (Instruction List) – список інструкцій – дуже подібна до асемблера мова.

3. LD (Ladder Diagram) – східчаста діаграма – графічна мова програмування заснована на теорії релейно-контактних схем, яка використовує стандартизовані графічні елементи.

4. FBD (Function Block Diagram) – діаграма функційних блоків – являє собою послідовність ланок, які містять умови для переходу від одного функційного блоку до іншого.

5. SFC (Sequential Function Chart) – послідовний ряд блоків (мова діаграм станів) – графічна мова, яка використовує послідовність блоків програм (кроків) та умов їх виконання. Може комбінуватися з усіма попередніми мовами.

Мікропрограмні мікропроцесорні пристрої доцільно використовувати під час автоматизації складних об'єктів, а також об'єктів, які потребують високої швидкодії системи управління для реалізації дискретно-аналогового управління гідро- і пневмоприводами [7]. Системи комп'ютерного бачення якраз достатньо складні, і їх можна віднести до дискретно-аналогових. Як було зазначено вище, для побудовання системи потрібні як контролер, який буде керувати всіма вхідними та вихідними сигналами, так і додаткове програмне забезпечення, яке має синтезувати у собі технологію комп'ютерного зору і подальші дії системи, які є набором інструкцій для контролера у разі виникнення певних умов, що їх фіксуватиме відеообладнання.

Окрім підбору алгоритмів для комп'ютерного розпізнавання об'єктів, постає також питання збереження гнучкості системи. Завдання гнучкості комп'ютерного зору – це дозволити легку та швидку реалізацію масштабування та перенавчання. Тобто основна ідея полягає у тому, щоб така система могла виконувати не лише одне чітко прописане завдання, а вирішувати нові, які поступають до неї. Це може бути або зміна типу деталей для аналізу, або збільшення/зменшення об'єктів для розпізнавання. Тут на допомогу приходить використання штучного інтелекту [9].

Штучний інтелект (англ. artificial intelligence) – технологія, що надає машинам можливість імітувати людську поведінку [10]. Здебільшого у комп'ютерному зорі для навчання систем та розробки алгоритмів провідну роль відіграє машинне навчання [11]. Машинне навчання (англ. machine learning) – це галузь штучного інтелекту, в якій машини використовують статистичні методи аналізу для навчання за попередньо здобутою інформацією та досвідом. Тобто ціллю є прийняття машиною рішень у майбутньому, спираючись на спостереження в минулому [10]. Зараз найбільш розповсюдженими елементами машинного навчання для комп'ютерного зору є штучні нейронні мережі глибинного навчання,

в яких корекція поведінки системи відбувається шляхом опрацювання даних, здобутих прямо під час навчання [12].

Зважаючи на все це, слід зауважити, що при цьому система фізично не видозмінюється: камери, контролери тощо залишаються на місцях. Частина системи, що відповідає за безпосередньо автоматизацію рухомої частини, теж не зазнає змін, хіба що у разі зміни технологічного процесу, бо програмовані сигнали гідравлічним, пневматичним елементам систем або промисловим роботам мають генеруватися в залежності від сигналів, які посилає система комп'ютерного зору, а не спираючись на завдання, які вона вирішує. Проте у разі такої зміни має також відбуватись корекція параметрів вихідних ланок, на кшталт зусилля, швидкості тощо, що має передбачатись у сигналах контролеру.

Висновок. Таким чином, можна з упевненістю сказати, що технологія комп'ютерного зору стрімко розвивається та знаходить застосування у багатьох сферах людського життя, від мобільних телефонів до високоточної промисловості. Серед найбільш важливих задач цієї технології у машинобудуванні слід виділити аналіз якості деталей машин, керування складними роботизованими системами та комплексами, розпізнавання деталей, складових, маркувань тощо. Комп'ютерне бачення у цих галузях дозволяє здешевити та прискорити виробництво, бо воно дозволяє з більшою легкістю робити те, що традиційно робили тільки люди.

Звісно, для таких систем дуже зручно використовувати програмовані контролери, але тут вони мають діяти у тандемі із додатковим програмним забезпеченням, яке керує обробкою та аналізом зображення з головного вхідного елемента системи – відеокамери. Тобто тут програмування вихідних елементів ґрунтується на отриманні зображення, формуючи аналогово-дискретну систему і дозволяючи сильно збільшити потенціал гнучкості та масштабування такої системи.

Список літератури

- Huang T. Computer Vision: Evolution And Promise. *19th CERN School of Computing (8–21 September 1996, Egmond aan Zee, Netherlands)*. Geneva: CERN, 1996. P. 21–25.
- Szeliski R. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Berlin: Springer, 2022. 947 p.
- Prateek K., Anuj K., Snigdha A., Deep T., Naveen X., Arun R. *Using Computer Vision to enhance Safety of Workforce in Manufacturing in a Post COVID World*. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2005/2005.05287.pdf> (дата звернення: 17.11.2022).
- The Computer Vision Industry*. URL: <https://www.cs.ubc.ca/~lowe/vision.html> (дата звернення: 18.11.2022).
- Montemerlo M., Becker J., Bhat S., Dahlkamp H., Dolgov D., Ettinger S., Haehnel D., Hilden T., Hoffmann G., Huhnke B., Johnston D., Klumpp S., Langer D., Levandowski A., Levinson J., Marzil J., Orenstein D., Paefgen J., Penny I., Petrovskaya A., Pflueger M., Stanek G., Stavens D., Vogt A., Thrun S. Junior: The

- Stanford entry in the Urban Challenge. *Journal of Field Robotics*. 2008. Vol. 25, issue 9. P. 569–597. doi: 10.1002/rob.20258
- Kaufmann E., Gehrig M., Foehn P., Ranfl R., Dosovitskiy A., Koltun V., Scaramuzza D. Beauty and the beast: Optimal methods meet learning for drone racing. *In International Conference on Robotics and Automation (May 2019, Monreal, Canada)*. Monreal: IEEE, 2019. P. 690–696.
- Черкашенко М. В. *Автоматизація проектування систем гідро- і пневмоприводів з дискретним управлінням*. Харків: НТУ «ХПІ», 2001. 182 с.
- International Standard IEC 61131-3. Programmable controllers – Part 3: Programming languages*. Geneva: IEC, 2013. 226 p.
- Zhou L., Zhang L., Konz N. Computer Vision Techniques in Manufacturing. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. 2022. Vol. 53, issue 1. P. 105–117. doi: 10.1109/TSMC.2022.3166397
- Koul A., Ganju S., Kasam M. *Practical Deep Learning for Cloud, Mobile, and Edge: Real-World AI & Computer-Vision Projects Using Python, Keras & TensorFlow*. Sebastopol: O'Reilly Media, 2019. 620 p.
- Bishop C. M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. New York: Springer, 2006. 738 p.
- Bengio Y., LeCun Y., Hinton G. Deep learning for AI. *Communications of the ACM*. 2021. Vol. 64, no. 7. P. 58–65.

References (transliterated)

- Huang T. Computer Vision: Evolution And Promise. *19th CERN School of Computing (8–21 September 1996, Egmond aan Zee, Netherlands)*. Geneva, CERN Publ., 1996, pp. 21–25.
- Szeliski R. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Berlin, Springer Publ., 2022. 947 p.
- Prateek K., Anuj K., Snigdha A., Deep T., Naveen X., Arun R. *Using Computer Vision to enhance Safety of Workforce in Manufacturing in a Post COVID World*. Available at: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2005/2005.05287.pdf> (accessed 17.11.2022).
- The Computer Vision Industry*. Available at: <https://www.cs.ubc.ca/~lowe/vision.html> (accessed 18.11.2022).
- Montemerlo M., Becker J., Bhat S., Dahlkamp H., Dolgov D., Ettinger S., Haehnel D., Hilden T., Hoffmann G., Huhnke B., Johnston D., Klumpp S., Langer D., Levandowski A., Levinson J., Marzil J., Orenstein D., Paefgen J., Penny I., Petrovskaya A., Pflueger M., Stanek G., Stavens D., Vogt A., Thrun S. Junior: The Stanford entry in the Urban Challenge. *Journal of Field Robotics*. 2008, vol. 25, issue 9, pp. 569–597. doi: 10.1002/rob.20258
- Kaufmann E., Gehrig M., Foehn P., Ranfl R., Dosovitskiy A., Koltun V., Scaramuzza D. Beauty and the beast: Optimal methods meet learning for drone racing. *In International Conference on Robotics and Automation (May 2019, Monreal, Canada)*. Monreal, IEEE Publ., 2019, pp. 690–696.
- Cherkashenko M. V. *Avtomatyzatsiya proektuvannya system hidro- i pnevmopryvodiv z dyskretnym upravlinnyam* [Automation of design of systems of hydraulic and pneumatic drives with discrete control]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2001. 182 p.
- International Standard IEC 61131-3. Programmable controllers – Part 3: Programming languages*. Geneva, IEC Publ., 2013. 226 p.
- Zhou L., Zhang L., Konz N. Computer Vision Techniques in Manufacturing. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. 2022, vol. 53, issue 1, pp. 105–117. doi: 10.1109/TSMC.2022.3166397
- Koul A., Ganju S., Kasam M. *Practical Deep Learning for Cloud, Mobile, and Edge: Real-World AI & Computer-Vision Projects Using Python, Keras & TensorFlow*. Sebastopol, O'Reilly Media Publ., 2019. 620 p.
- Bishop C. M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. New York, Springer Publ., 2006. 738 p.
- Bengio Y., LeCun Y., Hinton G. Deep learning for AI. *Communications of the ACM*. 2021, vol. 64, no. 7, pp. 58–65.

Надійшло (received) 12.12.2022

Відомості про автора / About the Author

Черпаков Микита Ігорович (Cherpakov Mykyta) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Гідравлічні машини ім. Г. Ф. Проскури»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8801-1489>; e-mail: mykyta.cherpakov@gmail.com