

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-4(26)-58-66

УДК 004.896

Ігор Масстенко¹, Сергій Сапон², Наталія Стельмах³

¹магістр кафедри виробництва приладів
Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: ihormas@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2953-4589>

²кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: s.sapon@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431>. ResearcherID: G-7764-2014

³кандидат технічних наук, доцент кафедри виробництва приладів
Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: n.stelmakh@kpi.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1876-2794>. ResearcherID: K-1827-2017

**MACHINE VISION ЯК НЕВІДЄМНА ЧАСТИНА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

Розвиток сучасних технологій в умовах Industry 4.0 стимулює широке впровадження інтелектуальних кіберфізичних технологічних систем. Технологія Machine Vision є невід'ємним компонентом таких систем. В роботі проаналізовано галузі застосування машинного зору. Особливу увагу зосереджено на застосуванні Machine Vision в інтелектуальних технологічних системах для контролю якості продукції. Проказано доречність і перспективність використання математичного апарату штучних нейронних мереж для розробки інтелектуальної технологічної системи моніторингу геометричного стану виробів. Стаття є оглядовою.

Ключові слова: Machine Vision; машинний зір; інтелектуальна технологічна система; контроль якості; нейронні мережі.

Рис.: 1. Бібл.: 19.

Актуальність теми дослідження. Сучасне технологічне обладнання різного функціонального призначення повинно повною мірою відповідати вимогам цифрових виробництв і мати здатність швидко інтегруватись у структуру інтелектуальних smart-підприємств, які поступово перетворюються в інтелектуальні кіберфізичні технологічні системи. Machine Vision (MV) – необхідний компонент подібних інтелектуальних кіберфізичних технологічних систем та перспективний спосіб автоматизації, що дозволяє виконувати операції захвату, переміщення різних об'єктів, зокрема деталей [1], здійснювати контроль якості [2; 3], сприяти підвищенню техніки безпеки [4] тощо. Крім того, машинний зір знаходить все більше застосування в обробних верстатах модульного типу [9].

Машинний зір – одна з галузей, що найшвидше розвиваються у сфері інтелектуальних технологій. За прогнозами, у США загальний ринок машинного зору в промисловості до 2023 року досягне 12,29 млрд дол. США [5].

Наведені дані свідчать про високу потребу великих компаній у здійсненні максимальної автоматизації технологічних процесів, зокрема операцій контролю якості продукції [6]. Зростання попиту на системи машинного зору зумовлено четвертою промисловою революцією Industry 4.0 та розвитком таких технологій, як штучний інтелект та Інтернет речей.

Стрімке зростання попиту на технології Machine Vision тісно пов'язане з розвитком інформаційних технологій. Технологія Machine Vision виділяється розпізнаванням образів об'єктів за допомогою зображень з подальшим представленням їх у вигляді двовірних проекцій, які в свою чергу обробляються за допомогою математичних перетворень у текстову інформацію.

Щоразу коли йдеться про масове виробництво, виникають питання забезпечення якості, ефективності та мінімізації витрат часу. Щоб вирішити ці питання промисловість дедалі частіше вдається до сучасних засобів автоматизації, а саме неперервної роботи автоматизованих ліній виробництва з проміжним контролем якості. Останнім часом завдяки ефективному поєднанню інформаційних технологій та сучасних цифрових камер, обробка зображень стала доступнішою. Якість та можливості програмного забезпечення для обробки зображень стали більш високими, надійними, забезпечуючи

при цьому кращий вихідний контроль якості продукції [7]. Тому застосування технологій Machine Vision в інтелектуальних технологічних системах для контролю якості продукції є доречним і актуальним.

Постановка проблеми. Нині машинний зір широко використовується в медицині, автомобільній промисловості, робототехніці, військовій галузі, біотехнологіях, промисловому виробництві. Це пов'язано з тим, що в цих галузях є чітко сформульовані завдання, які можна успішно вирішити із застосуванням технології Machine Vision [8].

Застосування класичних методів контролю якості продукції пов'язане з додатковими витратами людської праці та великою мірою залежить від емоційного та фізіологічного стану працівників-контролерів. Важливим аспектом також є максимально швидкий та ефективний аналіз якості виробів безпосередньо на етапі технологічного процесу з високою точністю визначення дефектів продукції, що випускається. Тому застосування сучасних технологій комп'ютерного зору набуває все більшої актуальності в інтелектуальних технологічних системах для контролю якості продукції та стану технологічних процесів і засобів виробництва (верстат, інструмент, технологічне оснащення тощо).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наш час розробці методів та алгоритмів обробки зображень і машинного зору присвячено достатньо вітчизняних та закордонних публікацій у різних галузях механічної інженерії. Так, у роботі [10] автори детально розглядають методи розв'язання задач комп'ютерного бачення, наводять їхні переваги та недоліки. Відзначено прерогативу використання гаусівських перетворень для спрощення обчислень алгоритмами, базуючись на інтерпретації об'єктів. Автори розглядають альтернативні застосування машинного бачення при розв'язанні задач в системах в умовах обмежених ресурсів, а саме безпілотних літальних апаратах, мобільних пристроях, роботизованих та супутникових системах.

Широкі можливості застосування нейронних мереж, через їхню гнучкість, та можливість прилаштуватись практично в будь-якій галузі, зокрема і в машинному зорі показано в роботі [11]. Розглянуто можливості комп'ютерного зору навчатись під запрограмовані цілі. Перевагою, наведеною в цій роботі, є те, що створенні системи є гнучкими і дозволяють адаптуватись під схожі завдання, враховуючи мінливість умов і змінних факторів.

Автор Kazemian та інші розробили систему комп'ютерного бачення для вихідного контролю якості екструзії адаптивного виробництва в режимі реального часу [12]. Нейронна мережа в цій роботі використовується для створення системи контролю із зворотнім зв'язком, яка визначає швидкість екструзії, і за необхідності керує подачею. У цій системі камери розташовані перпендикулярно до об'єкта контролю, і система сприймає шар матеріалу як пряму, математичними перетвореннями інтерпретує її як динамічну ширину, яка використовується для аналізу процесу екструзії [12].

Дослідники Mori і Vogto у своїй роботі [13] використали високоточне обладнання для розробки системи комп'ютерного бачення, спрямованої на субпіксельну перевірку якості зубчастих коліс. Камери з телецентричним об'єктивом мають похибку калібрування лише 0,06 пікселя, що, у свою чергу, дало можливість забезпечити точність вимірювання до $\pm 0,02$ мм. Для здійснення контролю, вони розробили три одночасно працюючих алгоритми перевірки внутрішнього, зовнішнього діаметру та кількості зубів.

У роботі [14] авторами Sahoo S.K., Sharma M.M., Choudhury, B.V. запропонована система динамічного контролю скляних пляшок. Спершу зображення розглядалось інтелектуальною камерою високої роздільної здатності. Потім застосувались методи обробки зображень, щоб зменшити зашумленість і покращити якість здійснених зображень. За допомогою методів сегментації було відокремлено фон від вихідного зображення та надано зображення у векторній формі для визначення відхилень. Штучна нейронна мережа, навчена за допомогою алгоритму зворотного поширення похибки, була використана для

аналізу отриманої графіки на вилучення дефектних ознак. Автори цієї роботи провели порівняння між різними алгоритмами класифікації за допомогою трьох методів виділення ознак з реалізацією датчика та без нього в системі перевірки машинного зору.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав фактично необмежене використання технологій Machine Vision. Важливим елементом технологій Machine Vision в інтелектуальних технологічних системах має бути можливість оперативного і максимально точного розпізнавання заданих типів дефектів із подальшим їх відокремленням та утилізацією, що значно підвищить продуктивність процесів контролю якості продукції.

Метою статті є огляд застосування технологій машинного зору в різних сферах промисловості з метою порівняння та аналізу можливостей удосконалення методу на базі математичного апарату нейронних мереж для підвищення ефективності контролю якості продукції за заданими параметрами в інтелектуальних технологічних системах.

Виклад основного матеріалу. Machine Vision є трирівневою системою, що складається з: системи збирання відеоінформації, системи аналізу, опису та розпізнавання та штучного інтелекту [15].

У системі збирання відеоінформації інформація про зображення, за допомогою оптико-електронних перетворювачів та відеосенсорів, подається у формі електричних сигналів. Отримана в такий спосіб інформація обробляється ієрархічно. Спочатку зображення обробляється відеопроцесорами. Тут ключовий параметр – контур зображення, який задається координатами безлічі його точок. Оптична система проектує зображення на чутливий елемент, при цьому попередньо визначається розмір робочої зони, що охоплюється сенсором.

Система аналізу, опису та розпізнавання включає в себе високопродуктивний обчислювальний вузол і складне програмно-алгоритмічне забезпечення для обробки отриманого зображення.

Штучний інтелект здебільшого містить у собі спеціалізований обчислювальний блок та програмну нейронну мережу.

Основними компонентами системи машинного зору є [16]:

- елементи висвітлення;
- оптика;
- сенсор захоплення оптичних даних (камера машинного зору);
- система обробки оптичних даних та обчислювальний вузол;
- система передачі даних та засоби зв'язку.

Компоненти системи машинного зору забезпечують автоматизацію промислових процесів в інтелектуальних технологічних системах наступним чином (рис. 1). Робоча зона, де розміщуються деталі, освітлюється лампами. Над робочою зоною розташовується відеокамера, від якої по кабелю або бездротовому зв'язку інформація подається в основний блок системи Machine Vision. З основного блока інформація (в обробленій формі) подається на пристрій системи автоматизації, що управляється. Система автоматизації у вигляді робота або

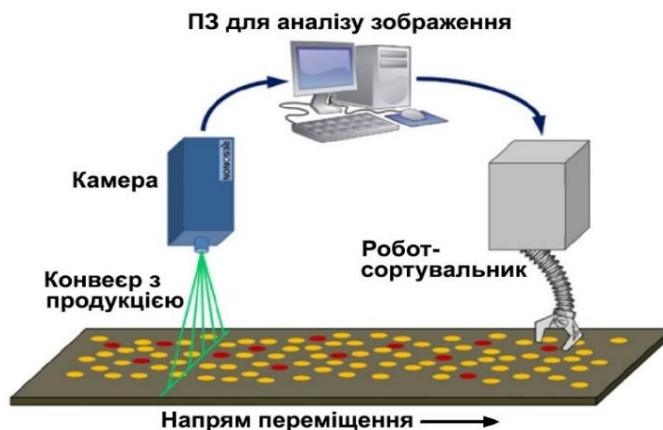


Рис. 1. Схема роботи системи машинного зору [15]

актуаторів здійснює сортування або контроль якості деталей, їх упорядковане укладання в тару в чіткій відповідності з інформацією, що надходить від програмного забезпечення системи Machine Vision.

Інтенсивне впровадження і розвиток Industry 4.0 висуває на передові ролі робототехніку, штучний інтелект, машинний зір, великі хмарні дані обчислень та машинне навчання. Це створило масштабні можливості для підвищення якості виробів, зменшення забруднень, автоматизації процесів, підвищення стабільності виробничих циклів, зниження експлуатаційних витрат на залученні людського фактору в операціях технологічного процесу виготовлення. Індустрія 4.0 надає можливість створювати інтелектуальні кіберфізичні технологічні системи, так звані «розумні заводи», які базуються на використанні різноманітних датчиків для контролю автоматизованих процесів. Одна з основних ефективних технологій, які цьому сприяють, є саме Machine Vision, що є невід'ємною складовою автоматизованого виробництва. Найбільшого поширення ця технологія отримала для автоматизованого контролю якості виробів. Технологія Machine Vision дозволяє виключити такі людські фактори, як втома, неуважність, обмежена здатність швидко обробляти велику кількість інформації та інші. Перевагою машинного зору є безперервний контроль заданих параметрів у режимі 24/7, з можливістю обробки інформації, зі швидкістю в 20 000 к/с, у той же час коли людські можливості обмежуються до 24 к/с.

Як було зазначено вище, методи комп'ютерного зору для свого функціонування передбачають використання датчиків, камер та обчислювальні потужності, часто хмарні, що, в свою чергу, робить виробничі лінії більш оптимізованими, економить площу виробничих приміщень, забезпечує підвищення промислової безпеки за рахунок виключення багатьох компонентів. Також ця технологія ефективна для зниження витрат праці. Крім цього, вона також забезпечує загальний рівень якості продукції, детальніше відсіюючи не якісні або браковані вироби [17].

Технологія працює на основі алгоритмів, із запрограмованими дефектами, які виявляються комп'ютерною програмою під час аналізу отриманих зображень із виробничої лінії. Отримані двовимірні значення аналізуються програмним забезпеченням, на базі математичного апарату гаусівських перетворень. Відсіюється непотрібний шум та опорні елементи конструкцій виробничих ліній. Отримується фінальний результат цифрової обробки і порівнюється із запрограмованою базою наявних дефектів для виявлення стану контрольованого об'єкта. У разі знаходження відхилень, виріб направляється в один із двох потоків, повторна обробка або переробка у відходи [18].

Для прикладу важливості застосування технологій Machine Vision приведемо дослідження Світового фонду безпеки. За їх даними, майже 75 % аварій літаків при заході на посадку та посадці відбуваються в аеропортах, де недоступні або відсутні прилади точного заходу на посадку, в умовах поганої видимості. У зв'язку з цим одним із важливих напрямів удосконалення бортової авіоніки є розробка апаратно-програмних комплексів покращеного бачення (Enhanced Vision Systems, EVS). Як джерела інформації в таких системах можуть використовуватися телевізійні відеодатчики, інфрачервоні (ІЧ) датчики різних діапазонів, міліметрові радари (МР), лазерні локатори (ЛЛ), бази даних рельєфу місцевості вздовж маршрутів польоту, бази даних аеропортів та об'єктів злітно-посадкової смуги (ВПП), навігаційні параметри та ряд інших [19].

Аналіз систем та можливостей методології комп'ютерного бачення. Описані вище переваги використання Machine Vision, більш детально розглянемо на прикладі вирішення типових задач [13]:

1) Розпізнавання – класичне завдання, яке полягає в обробці зображення і виявленні деяких характеристик об'єкту. Це завдання легко вирішується, але машинне бачення і нині не спроможне протистояти людським якостям, у ситуації з об'єктами, які виходять за межі запрограмованих.

2) Ідентифікація – вказання на особливий екземпляр об'єкта. Наприклад, ідентифікація людини, відбитка пальців чи номерів автомобіля. В інтелектуальних технологічних системах – зчитування QR-кодів, якими позначається інструмент або технологічна документація.

3) Виявлення – отримані результати перевіряються на наявність певної умови. Наприклад, в медицині, знаходження можливих пошкоджених клітин чи тканин в знімках з мікроскопу. Іноді використовується для порівняння ділянок на аналізованих зображеннях, для виявлення не значних відхилень.

4) Оцінка – визначення положення або орієнтації певного об'єкта відносно камери. Прикладом застосування цієї техніки може бути сприяння руці робота у вийманні об'єктів зі стрічки конвеєра на лінії складання виробів.

5) Переміщення – є декілька завдань, пов'язаних з оцінкою руху, у яких послідовність зображень обробляються для знаходження оцінки швидкості кожної точки зображення або 3D сцени. Прикладами таких завдань є: спостереження, тобто слідування за переміщеннями об'єкта.

б) Відновлення зображень – завдання відновлення зображень це видалення шуму (шум датчика, розмитість об'єкта, що рухається тощо). Найбільш простим підходом до вирішення цього завдання є різні типи фільтрів, наприклад, такі як нижніх або середніх частот. Більш складні методи використовують уявлення про те, як мають виглядати ті чи інші ділянки зображення, і основі цього здійснюється їх зміна.

Machine Vision не обмежується основними методами для вирішення завдань. Воно є багатогранним. Кожне із завдань можливо розглядати по різному, так званими генетичними алгоритмами, але все ж основними підходами є:

- контурний аналіз – це крива (набір кривих), які відповідають кінцевим точкам об'єкта на зображенні, тому при цьому методі аналізується не повноцінне зображення об'єкта, а лише отриманий контур, що надає алгоритму швидкодію, за рахунок першопочаткового обмеження;

- пошук по шаблону – найбільш поширений метод в комп'ютерному баченні, призначений для виявлення певних, запрограмованих, особливостей об'єкту на згенерованому зображенні;

- пошук поза шаблонами – полягає в розпізнаванні відхилень від еталонного, а саме знаходження дефектів, сколів, тріщин, пігментації, відхилень від заданих геометричних параметрів;

- поєднання даних – призначений для отримання ефективних результатів, обробляючи різні типи сигналів, отриманих із камер та датчиків.

Для комплексного вирішення завдань використовують багатокамерні системи, які ще називають масивами. Камери використовуються для відстеження переміщення окремих людей усередині приміщень або в місцях з обмеженою видимістю (склади в морських портах, заводські території тощо). Також їх застосовують для управління дорожнім рухом в інтелектуальних транспортних системах. Основними сферами використання цієї технології є:

- Автоматизація виробництва;
- Відеоспостереження з БПЛА;
- 3D-фільми;
- Інтерактивні ігри AR/VR;
- Розпізнавання осіб, переміщень, ідентифікації та ін.

На сьогодні при вирішенні завдань в інтелектуальних кіберфізичних технологічних системах не обійтись без використання спеціалізованого програмного забезпечення. Основними з них є перелічені нижче [12].

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) – бібліотека алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення. Реалізована мовою C/C++, також розробляється для Python, Java, Ruby, Matlab, Lua та інших мов.

PCL (Point Cloud Library) – великий масштабний відкритий проект для обробки 2D/3D-зображень та хмар точок. Платформа PCL містить безліч алгоритмів, включаючи фільтрацію, оцінку характеристик, реконструкцію поверхні, реєстрацію, підбір моделі та сегментацію.

ROS (Robot Operating System) – платформа розробки програмного забезпечення для роботів. Вона є набором інструментів, бібліотек та застосунків, які спрощують розробки складних та ефективних програм для управління багатьма типами роботів.

MATLAB – високорівнева мова та інтерактивне середовище для програмування, чисельних розрахунків та візуалізації результатів. За допомогою MATLAB можна аналізувати дані, розробляти алгоритми, створювати моделі та програми.

CUDA (Compute Unified Device Architecture) – програмно-апаратна архітектура паралельних обчислень, яка дозволяє суттєво збільшити обчислювальну продуктивність завдяки використанню графічних процесорів фірми Nvidia.

SimpleCV – система для створення прикладного комп'ютерного зору. Надає доступ до великої кількості інструментів комп'ютерного зору, схожих з OpenCV, Pygame та ін. Не вимагає глибокого завантаження в тему. Є придатною для швидкого прототипування.

Висновки до статті. Стрімке поширення технології машинного зору охоплює практично всі сфери промислового виробництва. Впровадження технології Machine Vision в інтелектуальних технологічних системах типу smart – підприємство надає високі результати там, де впроваджено дану технологію. Це, у свою чергу, сприяє впровадженню ідей четвертої промислової революції Industry 4.0 та зменшує участь людей в однотипних, рутинних завданнях на виробництві.

У перспективі подальших досліджень є розробка системи комп'ютерного бачення, що забезпечить моніторинг фактичного геометричного стану виробу (заготовки) та порівняння його з передбаченим (навченим), використовуючи математичний апарат нейронних мереж.

Список використаних джерел

1. Domel A. Autonomous pick and place operations in industrial production / Domel A., Kriegel S., Brucker M., Suppa M. // 12th Intern. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2015). – 2015. October. – KINTEX, Goyang city, Korea. – 356 p.
2. Zhong Y. Analysis and experiment of workpiece quality detection based on industrial robot / Zhong Y., Fengyu X., Yue W. // 23rd Intern. Conf. on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP). – 2016. November. – Pp. 1–6.
3. Zuxiang W. Design of safety capacitors quality inspection robot based on machine vision/ Zuxiang W., Lei Z., Junpeng F. // 1st Intern. Conf. on Electronics Instrumentation Information Systems (EIS). – 2017. June. – Pp. 1–4.
4. Stankov S. An application of deep neural networks in industrial robotics for detection of humans/ Stankov S., Ivanov S., Todorov T. // IEEE XXVIII Intern. Sci. Conf. Electronics (ET). – 2019. September. – Pp. 1–3.
5. Industrial Machine Vision Market by Component (Hardware (Camera, Frame Grabber, Optics, Processor), and Software (Deep Learning, and Application Specific)), Product (PC-based, and Smart Camerabased), Application, End-User [Electronic resource]. – Global Forecast to 2023 – Access mode: https://www.researchandmarkets.com/research/k6lrbk/global_industrial?w=5.
6. Guo Y. Rotational projection statistics for 3D local surface description and object recognition / [Guo Y. et al.] // International journal of computer vision. – 2013. – Vol. 105, no. 1. – Pp. 63-86.
7. Johnson A. E. Spin-images: a representation for 3-D surface matching : PhD Thesis / Andrew Edie Johnson; Robotics Institute, Carnegie Mellon University. – Pittsburgh, Pennsylvania, 1997. – 308 p.

8. Дятлов Е. И. Машинное зрение (аналитический обзор) / Е. И. Дятлов // Математичні машини і системи. – 2013. – № 2. – С. 32-40.
9. Применение машинного зрения в задачах автоматического позиционирования инструмента модульного оборудования / Афанасьев М. Я., Федосов Ю. В., Крылова А. А., Шорохов С. А. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – № 9(63). – С. 830-839.
10. Сучасні підходи до розв'язання задач комп'ютерного зору / Р. М. Тимчишин, О. Є. Волков, О. Ю. Господарчук, Ю. П. Богачук // Управляющие системы и машины. – 2018. – № 6. – С. 46-73.
11. Lisovsky A. L. Application of neural network technologies for management development of systems / A. L. Lisovsky // Strategic decisions and risk management. – 2020. – Vol. 11(4). – Pp.378-389.
12. Kazemian Ali. (2019) Computer vision for real-time extrusion quality monitoring and control in robotic construction / Kazemian, Ali, et al // Automation in Construction. – 2019. – № 101. – Pp. 92-98.
13. Moru Desmond K., Borro D. A machine vision algorithm for quality control inspection of gears / Moru Desmond K., and Diego Borro. // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020. – № 1-2 (106). – Pp. 105-120.
14. Sahoo S. K. A Dynamic Bottle Inspection Structure / Sahoo S. K., Sharma M. M., Choudhury B.B. // Computational Intelligence in Data Mining / Eds. Behera, H.S., Nayak, J., Naik, B., Abraham, A. – Singapore, 2019. – Vol. 711. – Pp. 873–884.
15. Машинное зрение и технологии сенсорики. – М. : ГБУ «АИР», 2020. – 90 с.
16. Machine Vision [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.cognex.com/en-ua/products/machine-vision>.
17. Mastenko I. V. Generative design of a frame type construction / I. V. Mastenko, N. V. Stelmakh. // KPI Science News. – 2021. – № 2. – Pp. 81-89. – DOI: <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.2.236954>.
18. Румбешта В. О. Прийняття рішень в автоматизованій системі технологічної підготовки приладобудівного виробництва на базі дискретної оптимізації / В. О. Румбешта, Н. В. Стельмах // Науковий вісник Кремен. ун-ту економіки, інформ. технол. і управ. Нові технології. – 2009. – № 1(23). – С. 189–191.
19. Масненко, И. В. Влияние плотности заполнения 3-D печатных моделей на их прочностные характеристики / И. В. Масненко, Н. В. Стельмах // Материалы МНТК Новые направления развития приборостроения. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 138.

References

1. Domel, A., Kriegel, S., Brucker, M., & Suppa, M. (2015). Autonomous pick and place operations in industrial production. *12th Intern. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2015)*. KINTEX, Goyang city.
2. Zhong, Y., Fengyu, X., & Yue, W. (2016). Analysis and experiment of workpiece quality detection based on industrial robot. *23rd Intern. Conf. on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)* (pp. 1–6).
3. Zuxiang, W., Lei, Z., & Junpeng, F. (2017). Design of safety capacitors quality inspection robot based on machine vision. *1st Intern. Conf. on Electronics Instrumentation Information Systems (EIS)* (pp. 1-4).
4. Stankov S., Ivanov S., & Todorov T. (2019). An application of deep neural networks in industrial robotics for detection of humans. *IEEE XXVIII Intern. Sci. Conf. Electronics (ET)* (pp. 1–3).
5. Industrial Machine Vision Market by Component (Hardware (Camera, Frame Grabber, Optics, Processor), and Software (Deep Learning, and Application Specific)), Product (PC-based, and Smart Camerabased), Application, End-User. Global Forecast to 2023. https://www.researchandmarkets.com/research/k6lrbk/global_industrial?w=5.
6. Guo, Y., Sohel, F., Bennamoun, M., Lu, M., & Wan, J. (2013). Rotational projection statistics for 3D local surface description and object recognition. *International journal of computer vision*, 105(1), 63-86.
7. Johnson, A.E. (1997). *Spin-images: a representation for 3-D surface matching* [PhD Thesis; Carnegie Mellon University].
8. Diatlov, E.I. (2013). Mashynnoe zrenie (analiticheskii obzor) [Machine vision (analytical review)]. *Matematychni mashyny i systemy – Mathematical Machines and Systems*, (2), 32-40.

9. Afanasev, M.Ia., Fedosov, Yu.V., Krylova, A.A., & Shorokhov, S.A. (2020). Primenenie mashynnoho zreniia v zadachakh avtomaticheskogo pozitsionirovaniia instrumenta modulnoho oborudovaniia [Application of machine vision in the tasks of automatic positioning of a tool of modular equipment]. *Izvestiia vysshykh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie – News of higher educational institutions. Instrumentation*, (9(63)), 830-839.
10. Tymchyshyn, R.M., Volkov, O.Ie., Hospodarchuk, O.Iu., Bohachuk, Yu.P. (2018). Suchasni pidkhody do rozviazannia zadach kompiuternoho zoru [Modern approaches to solving problems of computer vision]. *Upravliaiushchie sistemy i mashyny – Control systems and machines*, (6), 46-73.
11. Lisovsky, A.L. (2020). Application of neural network technologies for management development of systems. *Strategic decisions and risk management*, 11(4). 378-389.
12. Kazemian, A., Yuan, X., Davtalab, O., & Khoshnevis, B. (2019). Computer vision for real-time extrusion quality monitoring and control in robotic construction. *Automation in Construction*, 101, 92-98.
13. Moru, Desmond K., & Borro, D. (2020). A machine vision algorithm for quality control inspection of gears. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(1-2), 105-12.
14. Sahoo, S.K., Sharma, M.M., & Choudhury, B.B. (2019). A Dynamic Bottle Inspection Structure. In H.S. Behera, J. Nayak, B. Naik, A. Abraham (Eds.), *Computational Intelligence in Data Mining* (Vol. 711, pp. 873–884).
15. HBU «APR» (2020). *Mashynnoe zrenie i tekhnologii sensoriki [Machine vision and sensor technology]*.
16. Machine Vision. <https://www.cognex.com/en-ua/products/machine-vision>.
17. Mastenko, I.V., & Stelmakh, N.V. (2021). Generative design of a frame type construction. *KPI Science News*, (2), 81-89. <https://doi.org/10.20535/kpiscn.2021.2.236954>.
18. Rumbeshta, V. O., & Stelmakh, N.V. (2009). Pryiniattia rishen v avtomatyzovani systemi tekhnolohich-noi pidhotovky pryladobudivnoho vyrobnytstva na bazi dyskretnoi optymizatsii [Decision making in the automated system of technological preparation of instrument-making production on the basis of discrete optimization]. *Naukovyi visnyk Kremen. un-tu ekonomiky, inform. tekhnol. i uprav. Novi tekhnolohii – Scientific Bulletin of the Kremenchug University of Economics, Information Technology and Management. New technologies*, 1(23), 189–191.
19. Mastenko, I.V., & Stelmakh, N.V. (2019). Vliianie plotnosti zapolneniia 3-D pechatnykh modelei na ikh prochnostnie kharakterystiki [Influence of filling density of 3-D printed models on their strength characteristics]. *Materialy MNTK Novye napravleniia razvitiia priborostroeniia – Proceedings of MNTK New directions in the development of instrumentation* (p. 138). BNTU.

Отримано 11.11.2021

УДК 004.896

Ihor Mastenko¹, Serhii Sapon², Nataliia Stelmakh³

¹Master of Instrument Production Department
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine).
E-mail: ihormas@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2953-4589>

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Wood Technology
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)
E-mail: s.sapon@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431>. ResearcherID: [G-7764-2014](https://orcid.org/0000-0003-1082-6431)

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of instrument production department
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)
E-mail: n.stelmakh@kpi.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1876-2794>. ResearcherID: [K-1827-2017](https://orcid.org/0000-0003-1876-2794)

MACHINE VISION AS AN INTEGRAL PART OF THE INTELLECTUAL TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Machine vision is used for automated control of machines and technological processes in various industries. Therefore, it is advisable today to spend more time developing new modern effective video information systems of machine vision.

The development of modern computer vision technology is becoming increasingly important in industrial applications, as classic methods of product quality control are associated with additional human costs and depend on the emotional and physiological condition of controllers such as fatigue, inattention and others. An important aspect is the rapid and efficient analysis of product quality directly at the stage of the technological process with high accuracy in determining the defects of products.

Currently, there is a significant number of methods and algorithms for image processing and machine vision, which have their advantages and disadvantages and applications.

An important element of machine vision technology should be the ability to quickly identify certain types of defects with their subsequent separation and disposal, which will significantly increase the productivity of this process.

The purpose of the article is to review the variations in the use of machine vision technologies in various industries and analyze the possibilities of improving the method of computer vision based on the mathematical apparatus of neural networks to ensure product quality control for specified parameters.

The use of machine vision is almost unlimited in production, which can maximize efficiency and profits, including mechanical engineering and instrumentation. The paper considers and analyzes the main tasks that solve computer vision technologies, existing software tools for implementing algorithms for performing tasks, as well as the possibilities of the proposed method of computer vision based on the mathematical apparatus of neural networks to detect product defects and thus analyze the quality of the product being manufactured.

The article considers the areas of application of computer vision technologies in various branches of industrial production, where this method provides an effective solution to the problem. Therefore, it was proposed to use the above method at the stage of the technological process of manufacturing products in order to control and ensure the quality of the specified parameters of the product.

This article is a review.

Keywords: Industrial image processing, computer vision, machine learning, cloud computing.

Fig.: 1. References: 19.