

Цюцюра Світлана Володимирівна

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій, orcid.org/0000-0002-4270-7405
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Чернишев Денис Олегович

Доктор технічних наук, доцент, перший проректор, orcid.org/0000-0002-1946-9242

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Никодюк Дмитро Віталійович

Аспірант, асистент кафедри інформаційних технологій, orcid.org/0000-0001-6187-0032

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ПОКРАЩЕННЯ МАШИННОГО ЗОРУ

Анотація. Розглянуто основні аспекти застосування машинного зору. Надано коротку характеристику апаратної частини систем машинного зору, зі згадуванням основних труднощів при установці і виборі компонентів. Розгляд програмної частини проходить на основі короткого порівняльного аналізу чотирьох програмних забезпечень різних розробників застосовуваних на різних підприємствах: AutoVISION, Aberlink 3D, IntaVisualizer і LabView. У характеристиці кожного програмного забезпечення наводиться їх особливості і схожі параметри, переваги і недоліки. Так AutoVISIO спеціалізується на зчитуванні важких символів і застосовується переважно в друкованій промисловості, вона розрахована на початківців, Aberlink 3D на роботі та аналізі 3D-зображень і застосовується для контролю якості деталей, має зручне виведення результатів у табличній, або графічній формі, IntaVisualizer зручне представлення результатів в будь-який момент через використання Інтернету, а також здатність прогнозувати брак, LabView від усіх відрізняється високою універсальністю і гнучкістю. Він застосовується на виробництвах різної спрямованості і спеціалізації. У статті описано основні методи аналізу зображення: бінаризація – процес, в ході якого вибирається деякий поріг яскравості пікселя, а потім зображення розділяється на дві частини; сегментація – процес виділення фрагмента зображення зі спільною ознакою; ідентифікація – процес аналізу об'єкта і його параметрів для визначення його типу і приналежності до якого-небудь класу зі схожими параметрами. Оптичне розпізнавання символів – автоматизоване читання тексту. Наведено зображення типової структурної схеми побудови розумних камер, а також схеми встановлення камер на виробничій ділянці підприємств. Наведено опис критеріїв камери – одного з найважливіших елементів системи, до яких належать: область сканування, інтерфейс з'єднання, активний сенсор та тип матриці. Представлені основні недоліки систем машинного зору на даному етапі розроблення технології, одними з яких є відсутність єдиних стандартів систем, відсутність регламентованих параметрів за вибором апаратного та програмного забезпечення, висока вартість системи, складність її встановлення та налаштування під конкретний об'єкт.

Ключові слова: системи управління; машинний зір; опрацювання та аналіз зображень

Вступ

Щороку вимоги щодо дотримання якості виробництва ускладнюються, тому заводам необхідно проводити модернізацію систем, щоб їм відповідати. Неможливо перевірити відповідність стандартам своєї продукції без відповідних приладів контролю якості. Підняття технологічної планки сприяє пошуку і розроблення нових технологічних рішень, зокрема встановленню системи машинного зору, яка при правильному налаштуванні і виборі зможе значно більш точно знімати показання і аналізувати деталь на предмет дефектів.

Люди часто не цілком точно уявляють, на що здатне і чого не може зробити машинний зір у складі виробничої лінії і в процесі виготовлення продукції. Знання того, як діє ця технологія, допоможе визначити, наскільки корисною вона виявиться у вирішенні проблем вузьких місць в конкретному технологічному і виробничому процесі.

Мета статті

Метою роботи є таке: аналіз основних аспектів застосувань машинного зору, опис короткої характеристики апаратної частини системи, виявлення недоліків застосування машинного зору, а

також розроблення методу покращення машинного зору на основі проведених досліджень.

Виклад основного матеріалу

Машинний зір – це застосування на виробництві набору методів, що допомагають комп'ютеру розпізнавати і ідентифікувати об'єкт в 2D- і 3D-зображеннях. Це поняття ґрунтується на декількох розділах інженерії: оптика, обчислювальна техніка, промислова автоматизація та машинобудування [3].

Після перших же успішних кроків у цьому напрямі технологія була впроваджена в сотні різних виробництв на різні стадії технологічного процесу. Однак основне своє застосування вона набула в контролі якості.

Застосування машинного зору в контролі якості продукції дає змогу виключити людський фактор, проводити значно точніший аналіз об'єкта, розрізняючи навіть мікроскопічні дефекти структури, знизити витрати виробництва, а також автоматизувати процес контролю якості.

Однак система не позбавлена недоліків. Перші труднощі виникають вже на етапі вибору і установки засобу отримання зображення. Існують сотні різних видів камер, однак для установки на конкретне виробництво необхідно підібрати таке поєднання камери і об'єктива, за допомогою якого можна отримати зображення, яке буде максимально зручним для подальшого опрацювання. У разі помилки на цій стадії аналіз отриманих даних може бути утруднений, що позначиться на якості проведеного контролю, а також на складності алгоритмів, за якими проводиться опрацювання зображення [2].

Камера є одним із найважливіших елементів системи. Загалом існує багато критеріїв для їх класифікації, але у промисловому застосуванні зазвичай важливі такі:

- за областю сканування: розрізняють лінійні (розподільна здатність від 512 пікселів) та площинні (для промислового застосування розподільна здатність починається від 640 x 480 пікселів);
- за інтерфейсом з'єднання: найрозповсюдженішими є USB 2.0/3.0, Ethernet, FireWire, Camera Link;

– за активним сенсором: розрізняють камери з ПЗЗ (прилад із зарядовим зв'язком) та КМОН (комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник) матрицями [4].

Останній критерій є дуже важливим, оскільки він визначає ряд інших: чутливість камери і рівень шумів, швидкість зйомки (кадрів за секунду), тип отриманого зображення (натуральні кольори, мозаїка Байєра, монохроматичне) тощо. Так, ПЗЗ матриці є більш чутливими і дорожчими, проте на базі КМОН сенсора можна інтегрувати інші логічні модулі. За таким принципом побудовані «розумні камери». Під цим визначенням розуміється клас камер, які здатні не лише отримувати зображення, а й виконувати його первинний аналіз і формувати певний керуючий вихідний сигнал.

Типова структурна схема побудови таких пристроїв зображена на рис. 1.

Відмінним характерним блоком розумних камер є СОЗ – система опрацювання зображення [3]. Вона може базуватись як на процесорах цифрових сигналів (DSP), так і на програмованих вентильних матрицях (FPGA) [1].

Загалом існує дві можливі позиції розміщення камери: у фіксованому положенні (зазвичай перпендикулярно контрольованій площині) та динамічне розміщення на виконуючому пристрої (рис. 2).

У камер, використовуваних в машинному зорі, є ряд особливостей і параметрів, які відрізняють їх від мережевих. Зображення, що отримується на промислових камерах, не стискається. Це необхідно для коректного аналізу, однак як результат зображення важить значно більше. Промислові камери можуть бути лінійними і матричними, залежно від встановленого сенсора. Для контролю якості найчастіше застосовуються перші, оскільки вони здатні отримувати зображення кожної одиниці продукції, що проходить по конвеєру. У контролі якості найчастіше застосовують монохромні камери, оскільки вони володіють більш високою чутливістю, проте цей параметр залежить від особливостей виробництва. Так при виробництві друкованої продукції використовуються кольорові камери.

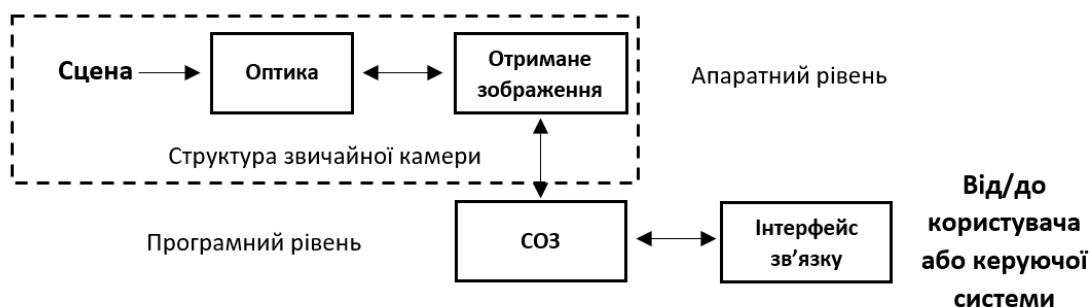


Рисунок 1 – Типова структурна схема побудови розумних камер (пунктирною рамкою виділені блоки, спільні зі звичайними камерами)

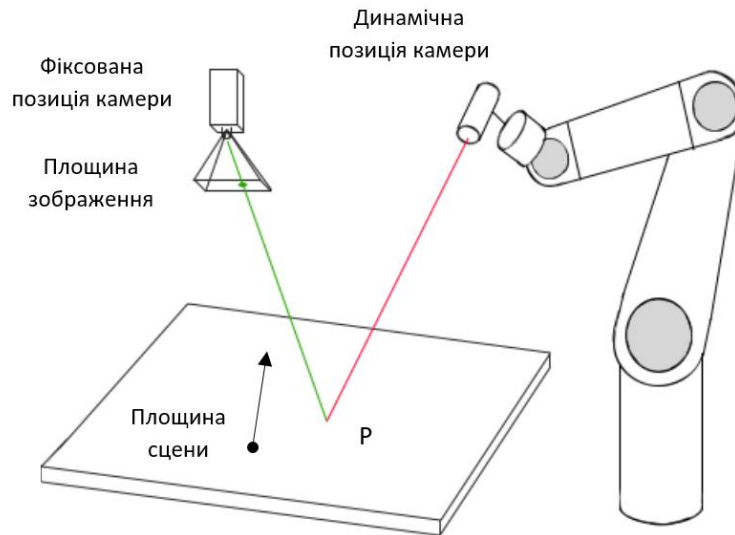


Рисунок 2 – Схеми встановлення камер на виробничій ділянці

Наступним важливим параметром є вибір типу сенсора: CCD (ПЗС) або CMOS (КМОП). Їх відмінності полягають в архітектурі. На відміну від ПЗС на поверхні КМОП сенсора інтегруються електронні схеми, що допомагає швидше зчитувати зображення. Така перевага може добре себе показати на виробництвах, в яких конвеєрна стрічка рухається на високій швидкості. Раніше КМОП був менш поширений у промисловій сфері, проте через значні зміни технології в останні роки зараз витісняє ПЗС з цієї сфери. Крім наведеного при виборі камери слід врахувати такі параметри, як: дозвіл, сенсор і розмір пікселя. Звідси можна зробити висновок, що при виборі камери вже необхідна консультація з фахівцем, оскільки не існує універсального рішення і для кожного виробництва необхідний дуже ретельний підбір компонентів системи.

А другою складовою системи є програмна частина, що відповідає безпосередньо за аналіз отриманого зображення і виконання алгоритмів щодо відбраковування продукції. Вибір програмного забезпечення для системи машинного зору дуже широкий, тому розберемо досить поширені програмні забезпечення.

Система має бути працездатна в умовах підприємства, тобто алгоритм має враховувати перешкоди, шум, світлові відблиски, тіні і багато іншого. Багато в чому цю проблему може знизити правильно підібрана апаратна частина, проте не всі перешкоди і недоліки можна прибрати добре обраною камерою. Тому складений алгоритм має враховувати можливі зміни в зовнішньому середовищі. Після працездатності слід відзначити точність вимірювань. Саме цей параметр і є однією з причин установки систем машинного зору, тому алгоритм аналізу зображення повинен з необхідною точністю визначати досліджуваний параметр.

Наприклад, дефектоскопія деталей, що використовує машинний зір, має точність від 10 мкм [5].

Через різні умови не існує єдиного регламентованого алгоритму, тому його структура варіюється на різних підприємствах.

Хоч загального алгоритму і не існує, проте є досить стандартні методи, які використовуються в більшості ПО.

Ідентифікація – процес аналізу об'єкта і його параметрів, в ході якого визначається його тип і приналежність до якого-небудь класу зі схожими ознаками.

Системи машинного зору здатні ідентифікувати предмет по десятках різних параметрів: геометрична форма, розмір, колір, етикетка і багато інших.

Бінаризація – процес, в ході якого вибирається деякий поріг яскравості пікселя – поріг бінаризації, а потім зображення розбивається на дві області, одна з яких містить пікселі нижче порога, інша відповідно вище. Основною трудностю цього методу є автоматичне визначення порогу бінаризації [7].

Сегментація – процес виділення фрагмента зображення за спільною ознакою.

Сегмент може формуватися за яскравістю, кольором або текстурою. Метод набув поширення. Наприклад за допомогою такої технології визначаються краї досліджуваного об'єкта, що дуже часто використовується в контролі якості.

Оптичне розпізнавання символів – автоматизоване читання тексту. Метод часто застосовується на виробництві, наприклад, в друкованій промисловості.

Від програми ж потрібна можливість реалізації необхідного алгоритму, а також простота використання. Перейдемо до розгляду часто використовуваних ПО.

Першим розглянутим ПЗ є IntraVisualizer. Він використовується в контролі якості на виробництві кришок, етикеток, пляшок і контейнерів. Допомогає вести контроль якості за великим спектром параметрів: недолив, дефекти контрольного кільця, контроль лазерного гравіювання кришок, положення, наявність, ідентичність, а також помилки друку етикеток [8]. Відмінною особливістю цього ПЗ є надання результатів. Так, представник фірми може в будь-який момент отримати доступ до даних з будь-якого пристрою, використовуючи Інтернет. Результати представляються у вигляді графіків і діаграм. Також в системі застосовується унікальна функція, яка використовує лінію тренда для того, щоб передбачити подальший брак. Програма надає зручний інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, який дає змогу одним кліком вибирати для перегляду вимірювані параметри і виводити статистику [6].

Наступним розібраним ПО є AutoVISION. Ця програма призначена для початківців користувачів і виконання завдань базової та середньої складності. Значною мірою спеціалізована на читанні символів, використовує безліч інструментів для розпізнавання важких символів. Має простий інтерфейс, зрозумілий починаючому користувачеві. Зручне з'єднання системи з ПК. Програма може бути оновлена до більш складної версії Visionscape, в якій можливо виконання більш складних завдань. Програма застосовується в різних галузях.

На створенні деталей поширення набула програма Aberlink 3D. Програма, що має зрозумілий інтерфейс, допомагає користувачеві отримати відомості, просто натиснувши на цікаву область на кресленні. Зручний висновок результатів в табличній або графічній формі з можливістю конвертації в Excel. Крім цього до Aberlink 3D додається модуль Aberlink CAD. Цей модуль вдосконалює програму і дає змогу безпосередньо працювати з 3D-зображеннями, що покращує якість аналізу. Для більш точних вимірювань використовується програма Aberlink Vision, а також вона допомагає вимірювати геометричні форми деталей, сканувати профілі і здійснювати контроль різьбових з'єднань.

Проаналізувавши три поширені програми, що застосовуються на виробництві, можна зробити деякі висновки: користувальницький інтерфейс – один з найважливіших параметрів, оскільки всі розглянуті вище програми збудовані таким чином, щоб оператор міг розібратися з ними вже при першому знайомстві. Всі наведені ПО досить вузьконаправлені і застосовуються переважно для якихось схожих завдань, нехай і на різних виробництвах. У багатьох програм є додаткові функції, які дають змогу вигідно

відрізнитися на ринку і активно застосовуються на виробництві. Так, для IntraVisualizer такими додатковими функціями подання результатів і передбачення майбутнього браку на основі раніше проведеної статистики і її аналізу, така система може стати в нагоді при виявленні дефектної ділянки на виробництві.

Тепер розглянемо більш універсальні середовища – LabView. Величезним плюсом даного ПО є гнучкість. У будь-який момент часу може бути змінений спосіб отримання та аналізу даних, тип даних, зовнішній вигляд керуючої панелі. Іншою особливістю є великий список інструментів, простота і зручність створення алгоритму [2]. У цій програмі реалізовано програмування методом блок-схеми. Простим створенням і перенесенням блоків функцій і блоків елементів управління на робочий простір пишеться алгоритм, за яким і буде працювати система. Однак разом з універсальними засобами застосовується і спеціальний програмний модуль, розроблений для створення система машинного зору – Ni Vision. Відмінною особливістю такого модуля є інтеграція технології захоплення зображення IMAQ (IMage AcQuision) [3]. Модуль володіє функціями високого порядку, що допомагають вирішувати складні завдання з аналізу зображення, проте всі функції цього модуля, зрозуміло, підтримують блокову систему LabView. Перевагою такого ПЗ є і те, що воно може виступати як єдиний програмний пакет, при цьому значно скорочуючи витрати на розроблення системи. ПЗ застосовується на десятках різних виробництв (починаючи від легкої промисловості і закінчуючи металургійною) не тільки як програмне забезпечення для систем машинного зору, але і для інших установок завдяки можливості розробляти універсальні алгоритми, які після коригування можна використовувати на різних моделях [4; 5].

Висновки

Підводячи підсумки, слід виділити ряд серйозних недоліків систем машинного зору, які присутні на сучасному етапі розвитку такої технології. Перший і самий значний – відсутність єдиних стандартів систем. Відсутні регламентовані параметри за вибором апаратного та програмного забезпечення. При цьому проблема посилюється частою несумісністю пристроїв різних виробників. Великим мінусом є висока вартість системи, а також складність установки і налаштування під конкретний об'єкт. Є окремі оптичні проблеми, пов'язані з мінливими умовами навколишнього світу (наприклад, освітлення), які заважають коректному аналізу. Повне усунення їх на виробництві на

сьогодні неможливо, тому значно ускладнюється алгоритм аналізу, щоб звести подібні проблеми до мінімуму [6].

Однак, незважаючи на настільки значні недоліки і конкуренцію з робочою силою, у машинного зору є велика кількість позитивних якостей. Робота в спектрах недоступних людському оку. Це дуже перспективний розділ, однак на виробництві він застосовується значно меншою мірою, зважаючи на більш складні налаштування і дорогу техніку.

Впровадження технології машинного зору допомагає відразу перевіряти кожен екземпляр з однаковою точністю на високій швидкості конвеєра,

що не можливо за допомогою людських зусиль. Висока вартість установки компенсується скороченням числа робочих місць і браку на виробництві.

Правильно налаштована система машинного зору здатна розрізняти дефекти на мікроскопічному рівні, якщо цього вимагає виробництво. Так, наприклад, системи машинного зору успішно застосовуються для аналізу структури суперпровідників. Ще однією істотною перевагою є інтеграція в АСУ ТП, що дає змогу мати єдину систему автоматизації, яка буде включати, в тому числі і контроль якості [1].

Список літератури

1. Cheng, Y. *Vision-based online process control in manufacturing applications [Text]* / Y. Cheng, M. Jafari // *Int. J. Automation science and engineering*. – 2008. – V. 5, № 1. – P. 140–153.
2. *Machine Vision: Technologies and Global Markets, Report IAS010C [Electronic resource]* / BCC Research. – 2013. – Available at: \www/URL: <http://www.bccresearch.com/marketresearch/instrumentation-and-sensors/machine-vision-technologies-ias010d.html>
3. Wnuk, M. *Remarks on hardware implementation of image processing algorithms [Text]* / M. Wnuk // *Int. J. of Applied Mathematics and Computer Science*. – 2008. – V. 18, № 1. – P. 105–110.
4. Tsai, D. *A machine vision approach for detecting and inspecting circular parts [Text]* / D. Tsai // *Int. J. Advanced Manufacturing Technology*. – 1999. – V. 15. – P. 217–221.
5. Freeman, H. *Machine Vision for Three Dimensional Scenes [Text]* / H. Freeman. – NY: Academic Press Inc., 1990. – P. 253–260.
6. Parker, J. R. *Algorithms for Image Processing and Computer Vision [Text]* / J. R. Parker. – Wiley Computer Publishing, 1997. – P. 312–330.
7. Davies, E. R. *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. Signal Processing and Its Applications Series [Text]* / E. R. Davies. – Academic Press, 1997. – P. 220–254.
8. Ritter, G. K. *Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra [Text]* / G. K. Ritter, J. N. Wilson. – BR: CRC Press, 1996. – P. 106–155.
9. Golnabi, H. *Design and application of industrial machine vision systems [Text]* / H. Golnabi, A. Asadpour // *J. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2007. – V. 23. – P. 630–637.
10. Bolhouse, V. *Fundamentals of Machine Vision [Text]* / V. Bolhouse. – Mi: Robotic Industries Assn., 1997. – P. 470–522.
11. Цюцюра М.І. Структура інформаційних потоків в інформаційній системі виробничого підприємства [Текст] / М.І. Цюцюра, О.В. Криворучко, Т.М. Мединська // *Управління розвитком складних систем*. – 2019. – № 37. – С. 205–209, [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.9783248](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9783248)
12. Терентьев О.О. Модели визначення фізичного зношення конструктивних елементів будівлі для задач діагностики технічного стану [Текст] / О.О. Терентьев, О.І. Баліна, Є.Є. Шабала // *Управління розвитком складних систем*. – 2016. – № 26. – С. 153–157

Стаття надійшла до редколегії 03.03.2020

Цюцюра Светлана Владимировна

Доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой информационных технологий, orcid.org/0000-0002-4270-7405

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Чернышев Денис Олегович

Доктор технических наук, доцент, первый проректор, orcid.org/0000-0002-1946-9242

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Никодюк Дмитрий Виталиевич

Аспирант, ассистент кафедры информационных технологий, orcid.org/0000-0001-6187-0032

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УЛУЧШЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрены основные аспекты применения машинного зрения. Дана краткая характеристика аппаратной части систем машинного зрения, с упоминанием основных трудностей при установке и выборе компонентов. Рассмотрение программной части проведено на основе короткого сравнительного анализа четырех программных обеспечений различных разработчиков, применяемых на различных предприятиях: AutoVISION, Aberlink 3D, IntaVisualizer и LabView. В характеристике каждого программного обеспечения приводятся их особенности и схожие параметры, преимущества и недостатки. Так AutoVISIO специализируется на считывании тяжелых символов и применяется в основном в печатной промышленности и рассчитана на начинающих. Aberlink 3D специализируется на работе и анализе 3D-изображений и применяется для контроля качества деталей, имеет удобное вывода результатов в табличной или графической форме. IntaVisualizer имеет удобное представление результатов в любой момент из-за использования Интернета, а также способна прогнозировать брак. LabView от всех отличается высокой универсальностью и гибкостью и применяется на производствах различной направленности и специализации. В статье описаны основные методы анализа изображения: бинаризация – процесс в ходе которого выбирается некоторый порог яркости пикселя, а затем изображение разделяется на две части: сегментация – процесс выделения фрагмента изображения с общим признаком; идентификация – процесс анализа объекта и его параметров для определения его типа и принадлежности к какому-либо классу со схожими параметрами; оптическое распознавание символов – автоматизированное чтение текста. Приведено изображение типичной структурной схемы построения разумных камер, а также схемы установки камер на производственном участке предприятий. Приведено описание критериев камеры – одного из важнейших элементов системы, к которым относится область сканирования, интерфейс соединения, активный сенсор и тип матрицы. Представлены основные недостатки систем машинного зрения (на данном этапе разработки технологии), одними из которых являются отсутствие единых стандартов систем, отсутствие регламентированных параметров по выбору аппаратного и программного обеспечения, высокая стоимость системы, сложность ее установки и настройки под конкретный объект.

Ключевые слова: системы управления; машинное зрение; обработка и анализ изображений

Tsiutsiura Svitlana

DSc (Eng.), Professor, Head of Department of Information Technology, orcid.org/0000-0002-4270-7405
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Chernyshev Denys

PhD, Associate professor, First vice-rector, orcid.org/0000-0002-1946-9242
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Nykodiuk Dmytro

Assistant, graduate student of Department of Information Technology, orcid.org/0000-0001-6187-0032
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

MACHINE VISION IMPROVEMENT METHOD DEVELOPMENT

Abstract. This article deals with the basic aspects of machine vision. A brief description of the hardware of machine vision systems, with reference to major difficulties in the installation and selection of components. The review of the software part is based on a brief comparative analysis of four software from different developers used in different enterprises: AutoVISION, Aberlink 3D, IntaVisualizer and LabView. The characteristics of each software gives their features and similar parameters, advantages and disadvantages. Since AutoVISIO specializes in heavy-duty reading and is mainly used in the printing industry, it is beginner-friendly, Aberlink 3D at work and 3D image analysis and is used for quality control of parts, has convenient output in tabular or graphical form, IntaVisualizer is easy to present results at any time through the use of the Internet and the ability to predict marriage, LabView is distinguished by its high versatility and flexibility. It is used in the industries of different orientation and specialization. The article describes the basic methods of image analysis: binarization – the process during which a certain pixel brightness threshold is selected, and then the image is divided into two parts segmentation – the process of selection of a fragment of the image with a common feature, identification – the process of analysis of the object and its parameters to determine its type and belonging to any class with similar parameters, Optical character recognition – automatic text reading. The picture of the typical structural scheme of construction of smart cameras, as well as the scheme of installation of cameras in the production area of enterprises. The description of the camera criteria is one of the most important elements of the system, which include the scanning area, the connection interface, the active sensor and the type of matrix. The main disadvantages of machine vision systems at this stage of technology development are presented, some of which are the lack of common standards of systems, the lack of regulated parameters for the choice of hardware and software, the high cost of the system, the complexity of its installation and adjustment for a specific object.

Keywords: control systems; machine vision; image processing and analysis

References

1. Cheng, Y., Jafari, M. (2008). *Vision-based online process control in manufacturing applications*. *Int. J. Automation science and engineering*, 5, 1, 140 – 153.
2. *Machine Vision: Technologies and Global Markets, Report IAS010C*. (2013). BCC Research. Available at: \www/URL: <http://www.bccresearch.com/marketresearch/instrumentation-and-sensors/machine-vision-technologies-ias010d.html>
3. Wnuk, M. (2008). *Remarks on hardware implementation of image processing algorithms*. *Int. J. of Applied Mathematics and Computer Science*, 18, 1, 105 – 110.
4. Tsai, D.A. (1999). *Machine vision approach for detecting and inspecting circular parts*. *Int. J. Advanced Manufacturing Technology*, 15, 217 – 221.
5. Freeman, H. (1990). *Machine Vision for Three Dimensional Scenes*. NY: Academic Press Inc., 253 – 260.
6. Parker, J.R. (1997). *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*. Wiley Computer Publishing, 312 – 330.
7. Davies, E.R. (1997). *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. *Signal Processing and Its Applications Series*. Academic Press, 220 – 254.
8. Ritter, G.K. & Wilson, J. N. (1996). *Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra*. BR: CRC Press, 106 – 155.
9. Golnabi, H. & Asadpour, H. (2007). *Design and application of industrial machine vision systems*. *J. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23, 630 – 637.
10. Bolhouse, V. (1997). *Fundamentals of Machine Vision*. Mi: Robotic Industries Assn., 470 – 522.
11. Tsiutsiura, M.I., Kryvoruchko, O.V., Medynska, T.M. (2019). *Structure of information flows in the information system of a production enterprise*. *Management of development of complex systems*, 37, 205-209, [dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.9783248](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9783248)
12. Terentyev, A.A., Balina, O.I., Shabala, E.E. (2016). *Models wear determining physical structural elements of the building for problems diagnostics of technical state*. *Management of development of complex systems*, 26, 153 – 157.

Посилання на публікацію

- APA Tsiutsiura, Svitlana, Chernyshev, Denys, & Nykodiuk, Dmytro, (2020). *Machine vision improvement method development*. *Management of development of complex systems*, 41, 187 – 193, [dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2020.41.187-193](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.41.187-193).
- ДСТУ Цюцюра С.В. Розроблення методу покращення машинного зору [Текст] / С.В. Цюцюра, Д.О. Чернишев, Д.В. Никодюк // *Управління розвитком складних систем*. – 2020. – № 41. – С. 187 – 193, [dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2020.41.187-193](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.41.187-193).