

ДОДАТОК А

Апробація результатів наукових досліджень

Міністерство освіти і науки України



NURE

Харківський національний університет
радіоелектроніки

ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

(Випуск 2)

[електронне видання]



<http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>



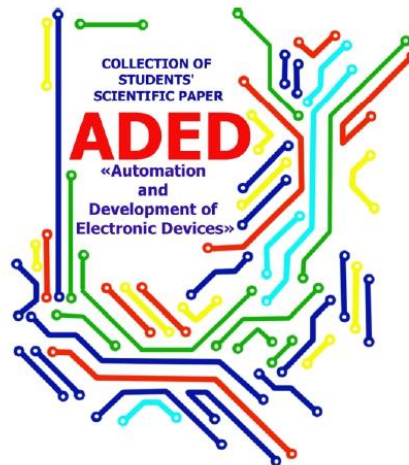
<http://itez.zntu.edu.ua/>



<http://kafea.kdu.edu.ua>

Харків 2023

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(KITAP)



ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

(Випуск 2)

[електронне видання]

Харків 2023

- Головий редактор** **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Редакційна колегія:** **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.
Цимбал Олександр Михайлович, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
Андрусевич Анатолій Олександрович, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету
Косенко Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».
Замірець Микола Васильович, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.
Свищ Володимир Митрофанович, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».
Фомовська Олена Владиславівна, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.
Кухаренко Дмитро Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського
Демська Наталія Павлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
Фурманова Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».
- Відповідальний редактор:** **Євсєєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 2. – 408с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2023 Part 2 (Key infrastructure 2023) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2023. – 408p with.

Рекомендовано рішенням
Науково-технічної ради
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол № 4 від 30.11.2023

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2023 рік

ЗМІСТ

<i>Я.І. Халімонов</i>	
Перспективи: Автоматизації вимірювання умов у житлових та робочих приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих рішень	9
<i>Є.Ю. Гаєриков, А.Я. Осман</i>	
Дослідження технологій виробництва деталей на 3D принтері	12
<i>А.С. Андреев</i>	
QR-коди в науці та техніці	17
<i>Ф. Курьота</i>	
Development of Automated Environmental Control System for Portable Greenway Section ..	23
<i>К.К. Стеценко</i>	
Моделювання BEAM-робота в середовищі TINKERCAD	27
<i>О.В. Удовиченко</i>	
Вплив розвитку штучного інтелекту на комп'ютеризовані та робототехнічні системи ..	30
<i>Б.О. Чеснаков</i>	
3D моделювання роботизованої платформи для гуманітарного розмінуванні	33
<i>Є.В. Шевченко</i>	
Розробка кіберфізичної системи моніторингу технологічних процесів на виробництві ..	37
<i>Є.О. Єфімік</i>	
Розроблення концепт макету малогабаритного мобільного робота підвищеної прохідності	44
<i>М. Манічкін</i>	
Аналіз кінематики та розробка моделі розрахунків елементів матриці гомогенних перетворень для зооморфного мобільного робота	49
<i>М.М. Моргунов</i>	
Розробка методу передачі інформації всередині статичного зображення для мобільних роботів	55
<i>Є.С. Ключник</i>	
Аналіз систем автоматизованого свердління у Industry 4.0	61
<i>О.Д. Юрченко</i>	
Розроблення системи моніторингу роботи засобів виробництва та персоналу приладобудівного приміщення з використанням ESP32-CAM	66
<i>М.О. Бендеберя</i>	
Розробка алгоритмічно-функціональної моделі робота маніпулятора на базі ABB Robot Studio	74
<i>І.В. Балабанов</i>	
Визначення залежності часу та інтенсивності випромінювання на температуру фотополімерної смоли	79
<i>М.Д. Лисун</i>	
Аналіз кінематик 3D принтерів за технологією FDM/FFF	83
<i>С.В. Шматко</i>	
Аналіз сучасних роботів телеприсутності, як людського помічника	87
<i>І.С. Коваленко</i>	
Перспективи розвитку повітряної робототехніки	92
<i>М.С. Лубінець</i>	
Розроблення методу прокладення траєкторії руху робота-сапера на основі даних від металошукача	97

<i>О.О. Рак</i>	
Розробка автоматизованого модуля моніторингу параметрів об'єктів критичної інфраструктури	104
<i>О.І. Черненко</i>	
Автоматизація процесу сортування деталей на виробництві	109
<i>О.А. Тищенко</i>	
Моделювання пристрою позиціонування вантажного робота	114
<i>В.О. Веснянка</i>	
Розроблення інформаційної системи для оптимізації бізнес-процесів закладу харчування	121
<i>Ю.А. Бердник</i>	
Аналіз сучасних автономних роботизованих платформ	126
<i>М.В. Звєгінцев</i>	
Розробка модуля позиціонування сонячних панелей	133
<i>Д.Д. Лещенко</i>	
Моделювання руху маніпулятора робота з використанням динамічної ланки з прямою та зворотною кінематикою	138
<i>П.М. Савченко</i>	
Огляд датчиків положення для обладнання, що працює в умовах аварійних відключень електроживлення	142
<i>П.М. Савченко</i>	
Створення сучасних систем управління з застосуванням мікропроцесорної техніки та засобів автоматизації	148
<i>Є.Р. Васильченко</i>	
Огляд принципів побудови пожежно-охоронної системи	153
<i>А.Д. Єчевський</i>	
Система моніторингу та управління параметрами мікроклімату в офісних приміщеннях	159
<i>А.І. Конєва</i>	
Перспективи розвитку безпілотних систем	164
<i>В.І. Фомін</i>	
Використання робототехнічних систем з елементами штучного інтелекту в приладобудуванні	171
<i>В.І. Фомін</i>	
Застосування 3D-друку у виробництві та промисловості	177
<i>О.В. Чернищенко</i>	
Оптимізація маршрутів в логістичних мережах виробничого процесу	182
<i>Р.Р. Шаталюк</i>	
Використання віртуальної та доповненої реальності для навчання та симуляцій у робототехніці	188
<i>Р.Р. Шаталюк</i>	
Програмування мікроконтролерів для автоматизації систем	193
<i>Т.А. Лихо</i>	
Вибір обладнання для розробки мобільного робота для відеонагляду	197
<i>В.О. Александров</i>	
Безпілотні літальні апарати. види, технічні особливості, автоматизація	203
<i>С.О. Вінниченко</i>	
Еволюція виробництва: Роль MES-системи у оптимізації та контролі промислових	208

процесів на підприємстві	
<i>А.В. Готовська</i>	
Підтримка прийняття рішень в технології проектування роботизованого виробничого процесу	213
<i>Я.В. Олінкевич</i>	
Впровадження егр-системи на виробництві	219
<i>М. Коваленко</i>	
Схема керування транспортними роботами на основі візуальних ознак	223
<i>В.К. Маковецька</i>	
Контейнеризація та оркестрація: DOCKER та KUBERNETES	228
<i>Д.Р. Придятько</i>	
Огляд методів розпізнавання об'єктів за допомогою систем технічного зору	234
<i>А.А. Большаков</i>	
Розроблення архітектури SCADA-системи гнучкого виробництва та вибір апаратних засобів	239
<i>В.С. Головіна</i>	
Розроблення системи керування мобільним пошуково-рятувальним роботом	244
<i>Д.В. Мілько</i>	
Дослідження програмного методу визначення відстані до об'єкту за допомогою параметрів камери	250
<i>І.А. Манякін</i>	
Аналіз методів автоматичного розпізнавання осіб	254
<i>Ю.С. Візір</i>	
Автоматичне енергоефективне управління освітленістю з використанням кіберфізичних підходів в умовах виробництва	259
<i>В.І. Дульський</i>	
Методи оптимізації керуючих програм для верстатів з ЧПУ	264
<i>М.С. Карпов</i>	
Використання бездротових мереж для організації контролю в промисловості	269
<i>М.А. Пісклов</i>	
Алгоритми створення та оптимізації розкладу для загальноосвітніх навчальних закладів	275
<i>А.Ю. Губарь</i>	
Веб-додаток для моніторингу та управління запасами в 3D-друкарні	281
<i>І.А. Поддубняк</i>	
Аналіз сучасних візуальних SLAM систем в робототехніці	286
<i>Д.П. Редько</i>	
Технології транспортування вибухонебезпечних предметів за допомогою роботизованого пристрою	292
<i>В.О. Заїкін</i>	
Роботизовані системи та їх застосування у інноваційних методах виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів	296
<i>К.О. Вадурін, А.С. Шандро</i>	
Розробка структури інформаційно-аналітичної система для збору, обробки та аналізу даних щодо використання енергетичних ресурсів багатопверховою будівлею	302
<i>Є.М. Гриценко</i>	
Аналіз систем контролю виготовлення 3D деталей на потоковому роботизованому виробництві	309

<i>В.А. Савін</i>	
Класифікація роботизованих систем для пошуку вибухонебезпечних предметів	319
<i>М. Збітнев</i>	
Аналіз мобільних робототехнічних платформ для гуманітарного розмінування	329
<i>В.А. Сторожук В.А., М.А. Вісковатов</i>	
Розробка інтелектуального модуля для моніторингу параметрів на базі ПоТ	334
<i>М.В. Толстий</i>	
Аналіз методів намотування дротів на станках з ЧПУ у роботизованому виробництві .	340
<i>В.В. Цешевський</i>	
Огляд сучасних конструктивних схем роботів для переміщення сходами	354
<i>О.О. Зибенко</i>	
Інновації та досягнення в електророзерозійній обробці: формування комп'ютерно-інтегрованого виробництва	356
<i>К.О. Левченко</i>	
Моделювання автоматизованого комплексу безтарного сховища сировини	361
<i>О.Д. Нікулін</i>	
Конвеєрні технології та автоматизація у аддаитивному виробництві	364
<i>Д.В. Пархоменко</i>	
Аналіз систем інжекції з'єднувальної речовини у технології 3D друку 3DP	370
<i>К.Є. Скрипник</i>	
Моделювання та розрахунок дозування пластику у шнековому екструдері	374
<i>С.Ю. Мірошніченко</i>	
Автоматизована система управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів	381
<i>В.Є. Тараненко</i>	
технологія екструзійного 3D друк без підтримок	386
<i>Є.О. Зуєв, М.Ю. Лучанінов</i>	
Дослідження методів автономного позиціонування та навігації робототехнічних мобільних платформ	390
<i>О.С. Пащенко, К.О. Зозуля</i>	
Сучасне виробництво з використанням комп'ютерного управління та інформаційних технологій	394
<i>Є.Г. Федосєєв</i>	
Аналіз методів імітаційного моделювання технологічних процесів складання	401
<i>К.С. Редькін</i>	
Локальна навігація мобільного робота в приміщенні	404

УДК 004.8.032.26

АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ВИГОТОВЛЕННЯ 3D ДЕТАЛЕЙ НА ПОТОКОВОМУ РОБОТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Є.М. Гриценко

Харківський національний університет радіоелектроніки
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: yevhenii.hrytsenko@nure.ua

У даній роботі проведено аналіз систем контролю виготовлення 3d деталей на потоковому роботизованому виробництві. Проаналізовано методи для розпізнавання дефектів. Детально розглянуто та порівняно методи визначення дефектів за допомогою нейронних мереж та признаков Хаара, виділено переваги та недоліки існуючих методів. Проведений аналіз дозволив розробити структурну схему та алгоритм макету.

Ключові слова: автоматизація, алгоритм, дефекти, методи, нейронні мережі, 3D.

ANALYSIS OF CONTROL SYSTEMS FOR MANUFACTURING 3D PARTS IN FLOW ROBOTIC PRODUCTION

Y. Hrytsenko

Kharkiv National University of Radioelectronics
Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauky Ave
E-mail: yevhenii.hrytsenko@nure.ua

In this work, an analysis of control systems for the production of 3D parts in flow robotic production is carried out. The methods for recognizing defects are analyzed. The methods of determining defects using neural networks and Haar signs are considered in detail and compared, the advantages and disadvantages of existing methods are highlighted. The analysis made it possible to develop a structural diagram and layout algorithm.

Keywords: automation, algorithm, defects, methods, neural networks, 3D.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогоднішній день зростає кількість роботизованих підприємств. Разом з цим з'являється проблема з контролем продукції на виробництві.

Дана тема є актуальною сьогодні з кількох важливих причин. По-перше, зростання використання роботів у виробництві створює підвищену потребу в ефективних системах контролю, які забезпечують високу якість виробництва. По-друге, з введенням інтернету речей та обробки даних у реальному часі стало можливим збирати та аналізувати великі обсяги інформації, що дозволяє розробити більш точні та надійні системи контролю. По-третє, питання якості продукції стають все важливішими для підприємств у конкурентному світі, де вимагається висока точність та надійність. На додачу до цього, розвиток штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє розширити можливості систем контролю та забезпечити їх адаптацію до змінних умов виробництва. Усі ці фактори роблять розробку системи контролю деталей на потоковому роботизованому виробництві актуальною та важливою задачею сьогодні.

ОСНОВНА ЧАСТИНА. Системи контролю (або системи керування) – це комплексне об'єднання обладнання, програмного забезпечення та процесів, створене для вимірювання, моніторингу, регулювання та керування певними аспектами деякого системного об'єкта або процесу. Ці системи можуть бути застосовані в різних галузях, таких як виробництво, транспорт, автоматизація, енергетика, медицина, телекомунікації та багато інших.

Основні функції систем контролю включають в себе:

- збір інформації. Вони вимірюють і збирають дані про стан системи або процесу за допомогою датчиків, сенсорів та інших пристроїв;
- аналіз і обробка інформації. Системи контролю обробляють зібрані дані, використовуючи різні алгоритми та методи аналізу, щоб зрозуміти стан системи і виявити аномалії;
- прийняття рішень. На основі аналізу, системи контролю можуть приймати рішення, такі як включення або вимкнення пристроїв, зміна параметрів роботи або відправлення сповіщень операторам;
- керування системою. Вони можуть використовувати зібрані дані та прийняті рішення для автоматичного керування системою або процесом, забезпечуючи оптимальний режим роботи;
- моніторинг і звітність. Системи контролю можуть надавати інформацію операторам або керівництву для моніторингу та аналізу продуктивності та ефективності;
- автоматизація та оптимізація процесів. Системи контролю можуть сприяти автоматизації процесів, зниженню витрат, підвищенню якості та безпеки виробництва.

Системи контролю деталей на виробництві відіграють важливу роль у забезпеченні якості продукції та відповідності стандартам. Існують різні види таких систем, кожний з яких має свої переваги та недоліки.

Ось деякі з них:

- візуальний контроль. Використовується для перевірки візуальних параметрів, таких як розмір, форма, колір і текстура деталей. Перевагами цього методу є низька вартість впровадження і здатність виявляти видимі дефекти. Однак він обмежується об'єктивністю спостерігача та не завжди ефективний для незримих дефектів;
- вимірювальні системи контролю. Використовуються для точного вимірювання розмірів та геометричних параметрів деталей. Вони дозволяють виявити мікроскопічні дефекти, але можуть бути дорогими та вимагати точності при налаштуванні;
- системи контролю за допомогою рентгенівських променів. Використовують рентгенівські промені для проникнення в матеріал і виявлення дефектів, які не видимі на поверхні. Це ефективний метод для виявлення внутрішніх дефектів, але може бути дорогим і вимагає використання радіаційної технології;
- ультразвукові системи контролю. Використовують ультразвук для виявлення дефектів, особливо в металевих деталях. Цей метод ефективний для виявлення тріщин та інших дефектів, але вимагає навчання операторів та налаштування обладнання;
- системи машинного зору та штучного інтелекту. Використовують комп'ютерне зорове сприйняття та алгоритми машинного навчання для автоматичного виявлення дефектів. Ці системи можуть бути швидкими та надійними, але вимагають великої кількості даних для навчання.

Перевагами систем контролю деталей є підвищення якості продукції, зменшення відходів та зниження витрат на перевірку якості. Однак у них можуть бути недоліки, такі як високі витрати на впровадження, потреба в кваліфікованих операторах, та обмеження в ефективності виявлення дефектів, які не завжди видимі або піддаються легкому вимірюванню.

В даній роботі буде розглянуто систему контролю за допомогою машинного зору.

Системи контролю за допомогою машинного зору (MachineVision) використовують комп'ютерне зорове сприйняття для автоматичного аналізу та інтерпретації зображень або відео для виявлення дефектів, вимірювання розмірів, розпізнавання об'єктів та багато інших завдань. Ця технологія дозволяє системам виробництва та автоматизації оптимізувати процеси та підвищити якість продукції. Ось докладніша інформація про системи контролю за допомогою машинного зору:

- засоби візуального сприйняття. Системи машинного зору використовують камери і сенсори для збору візуальних даних. Це можуть бути звичайні кольорові камери, термальні камери, камери з високою швидкістю тощо;

- аналіз зображення. При зборі зображень, система обробляє їх для виділення основних особливостей і аналізу. Це включає в себе виявлення контурів, кольорів, текстур, геометричних параметрів і багато іншого;

- виявлення дефектів. Однією з основних функцій систем машинного зору є виявлення дефектів виробів або матеріалів. Вони можуть виявляти подряпини, тріщини, бульбашки повітря, незбалансованість тощо;

- вимірювання і розпізнавання об'єктів. Системи можуть вимірювати розміри об'єктів, визначати їх форму, розпізнавати маркування та інші характеристики;

- підсумковий аналіз. Після обробки зображень системи можуть зробити рішення щодо допустимості виробу, дати сигнали для роботів або інших систем керування, або створити звіти для операторів або керівництва;

- інтеграція з іншими системами. Системи контролю за допомогою машинного зору часто інтегруються з іншими системами керування та виробництва для автоматичного реагування на знайдені дефекти або для управління робочими процесами;

Комп'ютерний зір може використовуватись у різних сферах та для розв'язання різноманітних задач. Однією з таких задач є ідентифікація об'єктів.

Після того як об'єкт буде ідентифіковано, з ним будуть проводитись інші дії які дозволяє ця технологія, наприклад:

- розпізнавання кольору;
- розпізнавання форми;
- розпізнавання меж об'єкту;
- розпізнавання координат об'єкту.

Дані системи дуже часто можуть бути використані в якості контролю на виробництві. Це дає змогу зменшити таку критичну виробничу проблему як людський фактор. Також це дає змогу зменшити вплив людини на контроль продукції та використовувати її як оператора, а не працівника.

До таких систем можна віднести систему виявлення дефектних деталей на виробничій лінії. Дана система дасть змогу підвищити темп виробництва та зменшити кількість випуску бракованої продукції.

Для вирішення задачі розпізнавання дефектів на деталях можуть застосовуватись різні методи. Ось деякі з них:

- метод шаблону (Template Matching). Template Matching дозволяє виявляти, де на вихідному зображенні знаходиться вказаний шаблон (рис. 1).

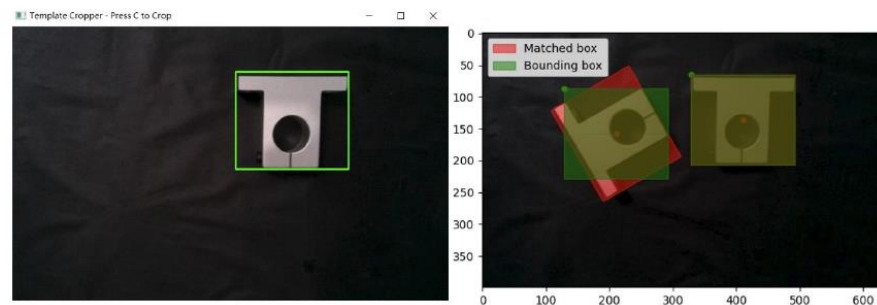


Рисунок 1 – Метод шаблону [6]

Він працює порівнюючи піксель за пікселем величину шаблону з вихідним зображенням та вказує на області, де збігаються значення;

– SIFT (Scale-Invariant Feature Transform). SIFT – це алгоритм, який визначає ключові точки на зображенні (рис. 2).

Кожна ключова точка має свій дескриптор, який описує оточуючі області. Цей метод дозволяє виявляти деталі незалежно від масштабу та орієнтації;

–SURF (Speeded-Up Robust Features). SURF подібний до SIFT, але швидший і менше обчислювально вимогливий. Він також визначає ключові точки та дескриптори для розпізнавання деталей на зображенні;

–ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF). ORB - це ще один метод для визначення ключових точок та дескрипторів (рис. 3).

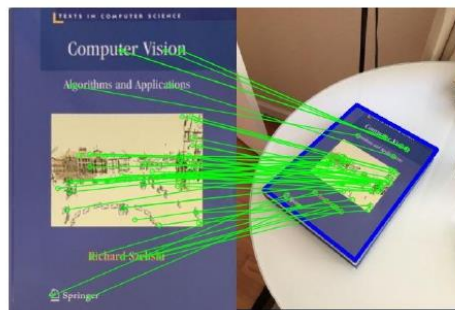


Рисунок 2 – Метод SIFT

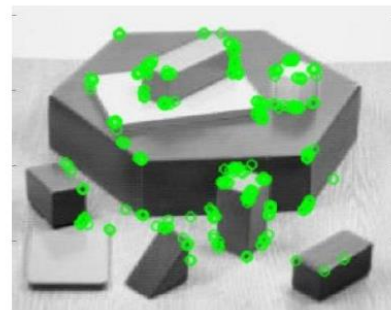


Рисунок 3 – Метод ORB

Він є швидким і підходить для розпізнавання деталей на зображеннях;

–каскади Хаара (Haar Cascades). Каскади Хаара використовуються для детектування об'єктів або облич на зображеннях (рис. 4).

Вони працюють на основі признаков Хаара, які вказують на певні структурні елементи зображення;

–детектор кутів Харріса (Harris Corner Detector). Детектор кутів Харріса виявляє кути на зображенні, які можуть бути використані для визначення областей зі змінним освітленням або граней об'єктів;

–гістограми орієнтаційних градієнтів (HOG). Гістограми орієнтаційних градієнтів використовуються для аналізу текстур та форм об'єктів на зображеннях (рис. 5).

Вони розглядають градієнти пікселів для визначення орієнтації та текстури;

– машинне навчання і нейромережі (рис. 6).

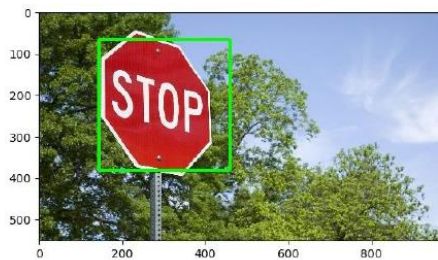


Рисунок 4 – Метод каскадів Хаара



Рисунок 5 – Метод HOG



Рисунок 6 – Метод з застосуванням нейронних мереж

Системи контролю якості та виявлення браку виробництва з використанням нейронних мереж стали дуже популярними завдяки своїй здатності автоматизувати процеси виробництва та виявляти дефекти з високою точністю. Нейронні мережі використовуються для аналізу відео-, зображень, акустичних сигналів та інших типів даних для виявлення аномалій і браку в продукції. Системи контролю якості виробництва використовуються для виявлення дефектів та аномалій в продукції з метою забезпечення високої якості та відповідності стандартам.

Нейронні мережі є ключовим елементом сучасних систем контролю якості. Вони використовуються для обробки даних та виявлення браку.

Для того, щоб навчити нейронну мережу розпізнавати дефекти в першу чергу необхідно підготувати дані для її навчання. Це може включати в себе збір відео або зображень продукції, які підлягають аналізу.

Архітектура нейронної мережі для аналізу зображень – це, зазвичай, глибока згортоква нейронна мережа (ЗНМ). ЗНМ використовують різновид багатoshарових перцептронів, розроблений так, щоби вимагати використання мінімального обсягу попередньої обробки.

Вони відомі також як інваріантні відносно зсуву або просторово інваріантні штучні нейронні мережі, виходячи з їхньої архітектури спільних ваг та характеристик інваріантності відносно паралельного перенесення.

Згорткові мережі взяли за основу біологічний процес, а саме схему з'єднання нейронів зорової кори тварин. Окремі нейрони кори реагують на стимули лише в обмеженій області зорового поля, відомій як рецептивне поле. Рецептивні поля різних нейронів частково перекриваються таким чином, що вони покривають усе зорове поле.

ЗНМ використовують відносно мало попередньої обробки, в порівнянні з іншими алгоритмами класифікації зображень. Це означає, що мережа навчається фільтрів, що в традиційних алгоритмах конструювали вручну. Ця незалежність у конструюванні ознак від апріорних знань та людських зусиль є великою перевагою.

Вони мають застосування в розпізнаванні зображень та відео, рекомендаційних системах та обробці природної мови.

Для вирішення задачі розпізнавання дефектів на об'єктах необхідно чітко визначити алгоритм дій.

Попередній алгоритм може виглядати так:

- фільтрація зображення. Необхідно застосувати фільтри такі як розмиття або фільтр Гауса, для зниження шуму і поліпшення якості зображення. Це допоможе усунути небажані деталі та поліпшити контрастність об'єктів;

- порогова обробка. Необхідно використати алгоритм порогової обробки для відділення об'єктів від фону на основі яскравості або кольору пікселів. Ці параметри необхідно підібрати;

- виділення контурів. Застосувати алгоритм виділення контурів (алгоритм Кенні), для виявлення меж об'єкту на зображенні. Це дозволить проаналізувати форму об'єкта;

- використати HOG-дескриптори або нейронні мережі.

Після того як був складений алгоритм можна перейти до розбору методів за допомогою яких можна визначити дефекти на об'єктах.

Для розпізнавання об'єкта можна використати метод каскадів (признаків) Хаара. Каскади Хаара є алгоритмом комп'ютерного зору, який зазвичай використовується для виявлення і розпізнавання об'єктів на зображеннях. Він заснований на виділенні характерних особливостей (таких як межі, кути або текстури) і використанні їх для класифікації об'єктів. Даний метод підходить для розпізнавання дефектів, але точність буде залежати від наступних факторів:

- якість зображення. Для досягнення високої точності детектування дефектів, важливо мати зображення з високою роздільною здатністю і гарною чіткістю. Якщо зображення низької якості або має артефакти, це може знизити точність визначення дефектів. А так як всі дії будуть проводитись у режимі реального часу, то з цього витікає ще один мінус – вартість обладнання;

- тренування класифікатора. Каскад Хаара вимагає попереднього тренування з використанням великого набору розмічених зображень, що містять як позитивні приклади дефектів, так і негативні приклади без дефектів. Якість тренування і розмір навчального набору можуть істотно впливати на точність визначення.

- тип дефектів. Каскад Хаара найкраще працює для виявлення об'єктів з яскраво вираженими текстурними або геометричними особливостями. Якщо дефекти на деталях мають слабо виражені або неоднорідні характеристики, точність визначення може бути знижена;

- параметри детектора. Налаштування параметрів каскаду Хаара, як-от розмір вікна сканування, порогові значення і число рівнів детектування, може вплинути на точність і швидкість виявлення дефектів. Необхідно провести експерименти й оптимізувати ці параметри для конкретного завдання.

Також слід додати, що зона (місце) де виконується детектування повинно бути гарно освітленим. В протилежному випадку тіні на об'єкті можуть розцінюватись як дефекти, що не дасть ніякої переваги перед неавтоматизованими системами контролю.

Згідно з описом даного методу – його можна використати в якості контролю форми деталі.

Також як зазначалося вище для детектування дефектів можна використати нейронні мережі. Цей метод буде більш точним. Для цього необхідно навчити нейронну мережу. Цей процес доволі довготривалий і це є одним з мінусів їх використання. Використання нейронних мереж для виявлення дефектів на об'єктах має свої плюси та мінуси.

Плюси використання нейронних мереж:

- автоматизація. Нейронні мережі можуть автоматизувати процес виявлення дефектів, що дозволяє швидше і ефективніше проводити контроль якості виробництва;

- здатність до узагальнення. Нейронні мережі можуть навчатися розпізнавати широкий спектр дефектів, включаючи ті, які можуть бути важко програмно визначити;

- адаптація до змін. Мережі можуть бути налаштовані для розпізнавання нових видів дефектів без необхідності перепрограмувати систему з нуля;

- можливість роботи з великими обсягами даних. Нейронні мережі можуть швидко обробляти великі обсяги даних, що важливо для виробничих процесів з високими темпами виробництва.

Мінусами застосування нейронних мереж є:

- потреба в великому обсязі даних. Навчання нейронних мереж вимагає значної кількості даних з достатньою кількістю прикладів дефектів. Якщо відповідних даних недостатньо, модель може бути недоученою;

- складність налаштування. Вибір правильної архітектури та гіперпараметрів для нейронної мережі може бути складним завданням і вимагає фахових знань;

- інтерпретованість. Великі нейронні мережі часто важко інтерпретувати, що ускладнює зрозуміння причини рішень, прийнятих моделлю;
- витрати на обчислення. Тренування та робота нейронних мереж може вимагати значних обчислювальних ресурсів і електроенергії;
- залежність від якості даних. Якість навчальних даних безпосередньо впливає на якість моделі. Якщо дані містять помилки або шум, модель може навчитися неправильно;
- не завжди підходить для всіх дефектів. Деякі дефекти, зокрема ті, які пов'язані із структурними особливостями матеріалу або об'єкта, можуть бути важко виявити за допомогою нейронних мереж.

Загалом стає зрозуміло, що для більш точного виявлення дефектів краще використати нейронні мережі в якості детектора, або розробити алгоритм при якому два методи будуть працювати одночасно.

Як вже стало відомо автоматизовані системи контролю у наш час дуже розповсюджені і можуть використовуватись як на підприємствах так і у звичайних побутових речах. Системи візуального контролю а тому числі. Але системи візуального контролю якості друку 3D принтерів не настільки розповсюджені на цей час, як і сам друк на 3D принтері.

З відомих рішень які застосовуються можна виділити модуль який є у прошивці Klipper.

Klipper –це програмне забезпечення з відкритим кодом, яке використовується для керування 3D-принтерами та іншими обладнаннями для виготовлення. Він був розроблений спільнотою і доступний на безкоштовній основі. Він зазвичай встановлюється на мікроконтролерах, які керують рухом принтера та іншими процесами, пов'язаними з 3D-друку.

Основна ідея Klipper полягає в тому, що весь обробник команд для 3D-принтера виконується на більш потужному комп'ютері (наприклад, на RaspberryPi), і команди передаються на мікроконтролер принтера через зручний протокол. Це дозволяє підвищити точність та швидкість друку, оскільки мікроконтролер може обробляти команди руху більш швидко, а також робити інші корисні функції.

Klipper також підтримує багато типів 3D-принтерів і інших CNC-машин, і його функціональність може бути розширена за допомогою різних плагінів. Він є популярним вибором серед ентузіастів 3D-друку, оскільки надає більше можливостей для налаштування та покращення роботи принтера.

Також Klipper може підтримувати і візуальний контроль якості друку, та в разі чого зупиняти друк, аби не витратити пластик на зіпсовану деталь і не пошкодити обладнання. Зазвичай дану прошивку використовують студії 3D-друку, або так звані ферми. Там обладнання може бути дуже багато, а слідкувати за цим всім процесом дуже складно, адже друк може тривати від кількох годин до кількох днів в залежності від розміру деталі. Приклад дефектів 3D друку зображений на рисунку 7.

Проблемою даної прошивки є те, що звичайний користувач, який або тільки починає знайомитись з даною технологією, або не дуже досвідчений скоріше за все буде мати складнощі зі встановленням, адже для її роботи необхідно перепрошити основний мікроконтролер. Також для роботи з Klipper необхідно мати хост такий як стаціонарний комп'ютер (використовується рідко), або одноплатний комп'ютер такий як RaspberryPi.

Для прошивки Marlin таких відомих рішень немає. Хоча дана прошивка поставляється майже з усіма 3D принтерами з заводу. Можуть бути звичайно різні рішення від різних компаній, але в основному команди нічим не відрізняються.

Постає завдання розробити програмний модуль для принтерів під прошивку Marlin, який би визначав дефекти при 3D друці.

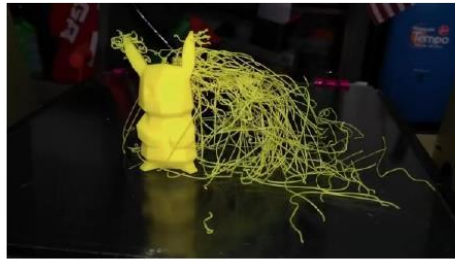


Рисунок 7 – Дефекти при друці на 3D-принтері

Найпоширеніші дефекти 3D друку:

- великий зазор між соплом і столом. Наслідком цієї проблеми є те, що деталь буде друкуватися у повітрі і скоріше за все зіпсує перший шар, після чого деталь відвалиться і принтер буде просто витрачати пластик друкуючи його в повітрі;

- недостатній зазор між соплом і столом. Наслідком можуть бути пропуски на першому шарі. При даній проблемі сопло принтера опущено дуже низько і починає друкувати не тією висотою шару яка потрібна розмазуючи видавлений пластик по поверхні столу внаслідок чого може зламатися обладнання.

Враховуючи те що, метою кваліфікаційної роботи є розробка системи контролю деталей на потоковому роботизованому виробництві, для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити структурну схему макету;
- розробити алгоритм визначення дефектів для друкованих деталей;
- підібрати обладнання для роботи макету.

Так як в даній роботі було зазначено, що розпізнавати потрібно дефекти при друці на 3D принтері необхідно вирішити який метод детектування необхідно використати.

Найпростішим методом у даній ситуації є метод каскадів (признаків Хаара), але він має ряд недоліків через які він не підходить, хоча по швидкодії він один з найкращих:

- необхідно визначати у реальному часі. Каскади Хаара гарно підходять для розпізнавання об'єктів на зображеннях;

- дуже сильно залежить від якості зображення;
- потребує значного використання ресурсів для визначення у реальному часі;
- велика кількість похибок та випадкові виявлення при змінному освітленні.

Методом, що більш підходить для вирішення цього завдання є використання штучних нейронних мереж. Загалом нейронні мережі складніші за інші методи і потребують великої кількості даних та часу, але в порівнянні з іншими методами вони суттєво виграють у розпізнаванні об'єктів.

Ось деякі переваги використання нейронної мережі:

- вища точність. Глибокі нейронні мережі, зокрема згорткові нейронні мережі (CNN), мають здатність до вищої точності при виявленні об'єктів порівняно з більш традиційними методами, такими як каскад Хаара. Вони можуть розпізнавати об'єкти зі складними текстурами та формами;

- здатність до навчання. Нейронні мережі можуть бути навчені виявляти різні типи об'єктів, що робить їх дуже гнучкими та придатними для різноманітних завдань виявлення об'єктів;

- здатність до адаптації. Нейронні мережі можуть адаптуватися до змінних умов, таких як зміна освітлення, масштабу та орієнтації об'єкта, що дозволяє їм ефективно функціонувати в різних сценаріях;

– швидкість роботи. Завдяки оптимізації та апаратній підтримці, нейронні мережі можуть працювати в реальному часі на сучасних обчислювальних пристроях, включаючи мобільні та вбудовані системи;

– можливість виявлення багатьох типів об'єктів. За допомогою глибоких нейронних мереж можна виявляти різні типи об'єктів одночасно на одному зображенні. Це корисно в задачах, де потрібно аналізувати багато об'єктів різних типів;

– здатність до реалізації складних завдань. Нейронні мережі можуть виконувати багато завдань, включаючи сегментацію об'єктів, визначення об'єктів у 3D-просторі та інші завдання, що виходять за межі простого виявлення;

– постійне покращення. Дослідження в області нейронних мереж та комп'ютерного зору постійно розвиваються, що дозволяє вдосконалювати точність та продуктивність систем виявлення об'єктів.

Розробка структурної схеми макету та алгоритму розпізнавання дефектів, рисунок 8.

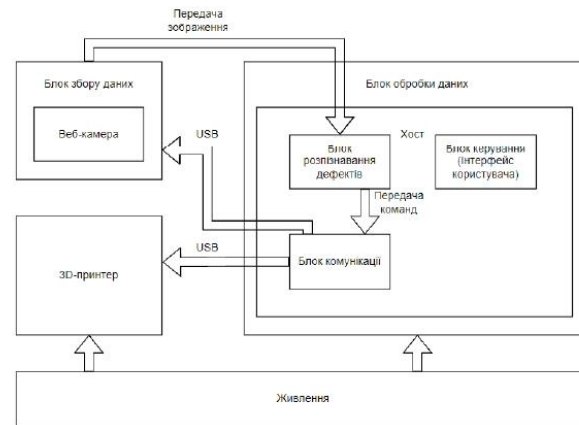


Рисунок 8 – Структурна схема макету

На даній схемі візуально зображено модулі які будуть відповідати за роботу макета. До цих модулів входять:

- блок збору даних – це веб-камера яка стоїть напроти принтера та передає зображення на блок обробки даних

– блок обробки даних – це хост, або комп'ютер;

– 3D принтер – пристрій який виготовляє необхідні запчастини;

– живлення – блок який дозволяє працювати всій системі;

– блок розпізнавання дефектів – програмний модуль, який встановлений на хості. Саме він веде спостереження за 3D принтером і виявляє дефекти. Після виявлення дефекту надсилає команди на блок комунікації;

– блок керування (інтерфейс користувача) – програмний модуль, який надає змогу користувачеві слідкувати за роботою системи;

– блок комунікації – це інтерфейси за допомогою яких відбувається комунікація між камерою та хостом і принтером та хостом.

Даний алгоритм використовує попередньо навчену штучну нейронну мережу. При старті перевіряється зв'язок з камерою. Це зроблено для того, щоб уникнути помилок виконання програми. Після того як зв'язок з камерою встановлено зображення виводиться у вікні на комп'ютері. Це зроблено для того, щоб користувач бачив як працює програма. У програмі є

постійний зв'язок з попередньо навченою нейромережою. При появі дефекту виконується умова, після якої навколо дефекту малюється прямокутник з надписом на якому зазначається вид дефекту. Програма надсилає команди для закінчення друку на 3D принтер. Алгоритм зображений на рисунку 9.

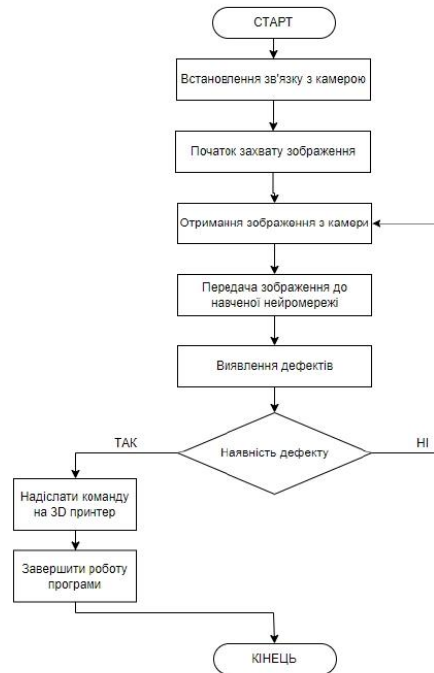


Рисунок 9 – Алгоритм роботи макету

ВИСНОВКИ. В результаті дослідження роботи було проведено аналіз існуючих систем контролю під час виготовлення 3D деталей на потоковому роботизованому виробництві. Проаналізовано методи для розпізнавання дефектів. Детально розглянуто та порівняно методи визначення дефектів за допомогою нейронних мереж та признаков Хаара. В результаті виконано розробку структурну схему та алгоритм роботи макету.

ЛІТЕРАТУРА

1. An Analysis and Implementation of the Harris Corner Detector [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www /](http://www/) URL:<https://doi.org/10.5201/ipol.2018.229>.
2. Slyusar V. Neural Networks Models based on the tensor-matrix theory. Problems of the development of promising micro- and nano electronic systems (MNS2021). 2021. С. 23-28. DOI: <https://10.31114/2078-7707-2021-2-23-28>.

Рецензент: Теслюк Сергій Ігорович, старший викладач кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки.

ДОДАТОК Б

Лістинг програми

```
import cv2
import torch
import time
import serial
from art import tprint

# Функція для вибору СОМ-порту
def choose_serial_port():
    port = input("Введіть назву СОМ-порту (наприклад, СОМ3): ")
    return port

# Функція для підключення до послідовного порту
def connect_serial(port, baud_rate):
    try:
        ser = serial.Serial(port=port, baudrate=baud_rate)
        print(f"Підключено до {port} з швидкістю {baud_rate} біт/с")
        return ser
    except serial.SerialException as e:
        print(f"Помилка: {e}")
        exit()

# Функція для завантаження моделі YOLOv5
def load_yolov5_model(model_path):
```

```
return torch.hub.load('ultralytics/yolov5', 'custom', path=model_path)

# Функція для відкриття вебкамери
def open_webcam(camera_index):
    return cv2.VideoCapture(camera_index)

# Функція для виявлення об'єктів на кадрі за допомогою моделі YOLOv5
def detect_objects(frame, model, confidence_threshold):
    results = model(frame)
    pred = results.pred[0]
    return pred[pred[:, 4] > confidence_threshold]

# Функція для відправлення повідомлення на послідовний порт
def send_message_to_serial(ser, message):
    try:
        ser.write(bytes(message, 'utf-8'))
        return True
    except serial.SerialException as e:
        print(f"Помилка відправлення даних на {ser.port}: {e}")
        return False

# Головна функція
def main():
    # Виведення стилізованого заголовку
    tprint('Defects Detection', font='bublehead')

    # Вибір COM-порту, моделі YOLOv5 та вебкамери
```

```
serial_port = choose_serial_port()
baud_rate = 9600
ser = connect_serial(serial_port, baud_rate)

model_path = input("Введіть шлях до моделі YOLOv5: ")
model = torch.hub.load('ultralytics/yolov5', 'custom', path=model_path)

camera_index = int(input("Введіть індекс вебкамери (наприклад, 0): "))
cap = cv2.VideoCapture(camera_index)

# Пороги та змінні
confidence_threshold = 0.7
timeout_duration_threshold = 15

start_time = None
message_sent = False
custom_message = "\nM112\nM112"
defect_detected = False # Змінна для відстеження першого виявлення дефекту

# Основний цикл для обробки відео
while cap.isOpened():
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        break

    filtered_pred = detect_objects(frame, model, confidence_threshold)
```

```

if len(filtered_pred) > 0 and filtered_pred[0, 4] > confidence_threshold:
    if start_time is None:
        start_time = time.time()
    elif time.time() - start_time > timeout_duration_threshold and not
message_sent:
        message_sent = send_message_to_serial(ser, custom_message)
        start_time = None
    if message_sent and not defect_detected:
        defect_detected = True
        print(f'Об'єкт виявлено з достовірністю: {filtered_pred[0, 4]:.2f}')
        print("Команда M112 відправлена. Завершення...")
        ser.close()
        break # Завершення програми після першого виявлення дефекту
else:
    start_time = None
    message_sent = False

# Намалювати обрамлення та написи на кадрі
for det in filtered_pred:
    x1, y1, x2, y2, conf, cls = det[:6].cpu().numpy()
    x1, y1, x2, y2 = int(x1), int(y1), int(x2), int(y2)

    cv2.rectangle(frame, (x1, y1), (x2, y2), (0, 255, 0), 2)
    cv2.putText(frame, f'fail {int(cls)}: {conf:.2f}', (x1, y1 - 10),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0, 255, 0), 2)

# Показати оброблений кадр

```

```
cv2.imshow('3D Printing Defects Detection', frame)
```

```
# Завершення циклу при натисканні клавіші 'q'
```

```
if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
```

```
    break
```

```
# Звільнення ресурсів
```

```
cap.release()
```

```
cv2.destroyAllWindows()
```

```
# Викликати головну функцію при запуску скрипту
```

```
if __name__ == "__main__":
```

```
    main()
```

ДОДАТОК В
Демонстраційний матеріал

