



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Ђорђе Р. Мијаиловић

**Развој система за контролу квалитета у производној
индустрији заснован на примени технологије
компјутерске визије**

Докторска дисертација

Крагујевац 2024.



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Ђорђе Р. Мијаиловић

**Развој система за контролу квалитета у производној
индустрији заснован на примени технологије
компјутерске визије**

Докторска дисертација

Крагујевац 2024.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF ENGINEERING

Đorđe R. Mijailović

**Development of quality control systems in the
manufacturing industry based on the application of
computer vision technology**

Doctoral Disertation

Крагујевац 2024.

Идентификациона страница докторске дисертације

Аутор	
Име и презиме:	Ћорђе Р. Мијаиловић
Датум и место рођења:	26.04.1995. Аранђеловац, Србија
Садашње запослење:	Стублина Д.О.О.
Докторска дисертација	
Наслов:	Развој система за контролу квалитета у производној индустрији заснован на примени технологије компјутерске визије
Број страница:	123
Број слика:	62
Број библиографских података:	115
Установа и место где је рад израђен:	Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Научна област (УДК):	Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент
Ментор:	др Александар Ћорђевић, ванредни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Број и датум одлуке Већа универзитета о прихватању теме докторске дисертације: IV-04-752/12, 12.10.2022	

Апстракт:

Примена технологије коју обухвата Индустрија 4.0. пружа могућност решавања великог броја изазова из области производне индустрије. У оквиру ове докторске дисертације извршено је истраживање у области контроле квалитета у производним процесима. Развијен је систем на основу реалних потреба за контролу квалитета производа који је заснован на примени технологије компјутерске визије. На основу истраживања закључено је да систем треба бити флексибилан изазовима производне индустрије у складу са примењеном технологијом. Основни циљ је развој система заснованог на компјутерској визији за идентификацију неусаглашености производа у производној индустрији. Сврха рада се заснива на имплементацији развијеног система за контролу квалитета ради аутоматизоване идентификације неусаглашености производа у производном процесу, што доприноси у погледу ефикасности и прецизности идентификације и унапређењу квалитета производа. Главни технолошки фокус је на примени технологије компјутерске визије док велики допринос имају и неуронске мреже, алгоритми идентификације интернет ствари, складиштење података у облаку као и уграђени системи. Исходи рада се заснивају на ефикасној идентификацији неусаглашености производа, интеграција са постојећим производним индустријским системима, брза обрада података у реалном времену. Пре свега неопходно је извршити аквизицију података, обучити систем за дефинисану неусаглашеност, имплементирати неопходан хардвер на производну јединицу, обезбедити комуникацију производне јединице и софтверског дела система. Систем даље на основу алгоритама за идентификацију анализира прикупљене податке у реалном времену и складишти резултате о неусаглашеностима производа. Матлаб анализом података у облаку долази се до укупне ефикасности производне јединице. На основу развијеног система закључено је да свака производна јединица захтева јединствено решење које је специфичне намене и искључиво је намењено за употребу на тој производној јединици. Са аспекта примене систем је развијен за рад у оквиру производне индустрије у колаборацији са постојећим производним машинама као и за рад у оквиру центра за квалитет. Систем је заснован на примени алгоритама идентификације, преносивом хардверу, флексибилној обуци система, што чини систем модуларним. Неопходно је тежити развоју флексибилних решења која ће омогућити брзу интеракцију корисника као и брзу промену места примене. Ово свакако доводи до тога да технологија може пружити велике могућности за даља истраживања и развој.

Кључне речи: Индустрија 4.0, Компјутерска визија, Контрола квалитета, Интернет ствари, Матлаб.

Abstract:

Application of technology covered by Industry 4.0. provides the possibility of solving a large number of challenges in the area of the manufacturing industry. As part of this doctoral dissertation, research was carried out in the field of quality control in production processes. A system was developed based on real needs for product quality control, which is based on the application of computer vision technology. Based on the research, it was concluded that the system should be flexible to the challenges of the manufacturing industry in accordance with the applied technology. The main goal is to develop a computer vision-based system for identifying product nonconformities in the manufacturing industry. The purpose of the work is based on the implementation of the developed quality control system for the automated identification of product non-conformities in the production process, which contributes to the efficiency and precision of identification and improvement of product quality. The main technological focus is on the application of computer vision technology, while neural networks, Internet of Things identification algorithms, data storage in the cloud, and embedded systems also make a major contribution. The results of the work are based on the efficient identification of product non-conformities, integration with existing production industrial systems, fast processing of data in real time. First of all, it is necessary to perform data acquisition, train the system for the defined non-conformity, implement the necessary hardware on the production unit, ensure communication between the production unit and the software part of the system. Based on identification algorithms, the system further analyzes the collected data in real time and stores the results on product non-conformities. Through Matlab data analysis in the cloud, the overall efficiency of the production unit is reached. Based on the developed system, it was concluded that each production unit requires a unique solution that is of specific purpose and is exclusively intended for use on that production unit. From the aspect of application, the system was developed for work within the production industry in collaboration with existing production machines, as well as for work within the quality center. The system is based on the application of identification algorithms, portable hardware, flexible system training, which makes the system modular. It is necessary to strive for the development of flexible solutions that will enable quick user interaction as well as a quick change of the place of application. This certainly means that the technology can provide great opportunities for further research and development.

Keywords: Industry 4.0, Computer vision, Quality control, Internet of things, Matlab.

Садржај:

Списак слика.....	i
Списак табела.....	iii
1. Уводна разматрања и преглед садржаја.....	1
1.1. Предмет рада.....	1
1.2. Научни циљ рада.....	2
1.3. Хипотезе.....	3
1.4. Преглед садржаја и организације дисертације.....	8
1.5. Преглед метода које су коришћене током истраживања.....	10
2. Теоријске основе примене контроле квалитета у концепту индустрије 4.0.....	11
2.1. Технолошки стубови индустрије 4.0.....	12
2.1.1. Примена концепта интернет ствари у контроли квалитета.....	13
2.1.2. Могућност примена рачунарства у облаку у контроли квалитета.....	14
2.1.3. Интеграција уграђених система у процесу контроле квалитета.....	16
2.1.4. Сензорски системи као аналитичке и технолошке методе у контроли квалитета.....	17
2.1.5. Примена компјутерске визије у процесу идентификације квалитета производа.....	19
3. Контрола квалитета у производној индустрији.....	26
3.1. Тренутни начин контроле квалитета производа.....	28
3.1.1. Дефиниција захтева за контролу квалитета.....	28
3.2. Преглед решења доступних на тржишту.....	29
3.3. Неусаглашеност производа.....	30
3.4. Класификација неусаглашености.....	30
3.5. Управљање неусаглашеностима.....	32
3.6. Процес детекције неусаглашености.....	32
3.7. Савремене методе за детекцију неусаглашености.....	33
4. Контрола квалитета у производној индустрији заснована на компјутерској визији. .	35
4.1. Концепт предложеног решења.....	36
4.2. Архитектура система контроле квалитета.....	37
4.3. Хардвер система контроле квалитета.....	39

4.4. Логичка функционалност система.....	41
4.5. Софтвер система за контролу квалитета производа.....	42
4.5.1. Аквизиција слике.....	43
4.5.2. Имплементација Yolo V3 алгоритма, CNN, TensorFlow.....	44
4.5.3. Идентификација неусаглашености производа.....	52
4.5.4. Складиштење података у облаку.....	62
4.5.5. Примена представљеног система.....	63
4.5.6. Анализа података добијених предложеним системом употребом Матлаб-а.....	64
4.5.7. Укупна ефикасност опреме и машина.....	66
4.5.8. Резултати добијени применом система контроле квалитета.....	72
4.6. Имплементација система за контролу квалитета.....	79
4.7. Тестирање система за контролу квалитета.....	81
4.8. Верификација система за контролу квалитета.....	84
4.9. Валидација система за контролу квалитета.....	86
5. Закључна разматрања и смернице за будућа истраживања.....	88
Литература.....	98
Прилог.....	108

Списак слика

Слика 2.1. Прикупљање података и складиштење на cloud систем

Слика 2.2. Приказ примера уграђеног система

Слика 4.1. Концепт система за контролу квалитета применом компјутерске визије

Слика 4.2. Архитектура система компјутерске визије

Слика 4.3. Камера коришћена за аквизицију слика

Слика 4.4. Пример индустријске камере

Слика 4.5. NodeMCU V3 платформа

Слика 4.6. Процес детекције објекта на слици употребом opencv библиотеке

Слика 4.7. Архитектура YOLO V3 алгоритма

Слика 4.8. Пример дефинисања ознака и класа у софтверу vott

Слика 4.9. Гранични оквир класе мехур

Слика 4.10. Дефинисање путања и аргумената

Слика 4.11. Припрема и конверзија података

Слика 4.12. Импортовање библиотека

Слика 4.13. Дефинисање путања до података неопходних за обуку

Слика 4.14. Иницијализација модела

Слика 4.15. Процес тренирања модела

Слика 4.16. Покретање сервера

Слика 4.17. Функција провере статуса сензора

Слика 4.18. Функција за преузимање и складиштење фрејмова

Слика 4.19. Основне поставке мреже на платформи NodeMCU

Слика 4.20. Void Setup функција

Слика 4.21. Void loop функција

Слика 4.22. Функција void sendHttpRequest

Слика 4.23. Импортовање библиотека у процесу идентификације неусаглашености

Слика 4.24. Дефинисање путања до улазних параметара алгоритма

Слика 4.25. Креирање путања за складиштење слика

Слика 4.26. Дефинисање yolo детектора

Слика 4.27. Преузимање класа објеката

Слика 4.28. Функције за праћење промена у директоријуму и покретање детекције

Слика 4.29. Провера исправности слике

Слика 4.30. Дефинисање параметара слике

Слика 4.31. Анализа података

Слика 4.32. Приказ података о идентификацији објеката

Слика 4.33. Класа за праћење промена MyHandler

Слика 4.34. Постављање параметара и праћење нових слика

Слика 4.35. Неусаглашен полупроизвод класе пукотина

Слика 4.36. Неусаглашен полупроизвод класе мехур

Слика 4.37. Неусаглашен производ са ознакама класе пукотина

Слика 4.38. Неусаглашен производ са ознакама класе мехур

Слика 4.39. Подаци у CSV фајлу

Слика 4.40. Дефинисање основних параметара

Слика 4.41. Пример рада Матлаба у спрези са ThingSpeak платформом

Слика 4.42. Подаци складиштени у бази

Слика 4.43. График укупног броја производа

Слика 4.44. График укупног времена рада машине

Слика 4.45. Број неусаглашених производа

Слика 4.46. Идеална брзина рада

Слика 4.47. Укупно време застоја

Слика 4.48. График укупне ефикасности опреме и машина МАТЛАБ анализа

Слика 4.49. Анализа складиштених података применом матлаб-а

Слика 4.50. Складиштење података у облаку

Слика 4.51. Креирање графика за податке добијене матлаб анализом

Слика 4.52. График перформанси

Слика 4.53. График расположивости опреме

Слика 4.54. График квалитета

Слика 4.55. График укупне ефикасности опреме и машина

Слика 4.56. Имплементација система у оквиру центра за квалитет

Слика 4.57. Идентификација неусаглашености

Слика 4.58. Неусаглашеност класе пукотина

Слика 4.59 Неусаглашеност класе Мехур

Слика 4.60. Неусаглашен производ и усаглашен производ

Слика 4.61. Детекција неусаглашеног производа испис у конзоли

Списак табела

Табела 2.1. Класификација сензора у оквиру производне индустрије заснована на типу коришћеног сензора.

Табела 2.2. Примена компјутерске визије у индустрији 4.0.

Табела 4.1. Спецификација коришћене опреме

Табела 4.2. Подаци коришћени при обуци система

Табела 4.3. Подаци коришћени при креирању графика укупне ефикасности опреме и машина

Табела 4.4. Тестирање система са полазним параметрима величине неусаглашености 0.40

Табела 4.5. Тестирање система са полазним параметрима величине неусаглашености 0.25

Табела 4.6. Прецизност рада система и излазни параметри

Табела 4.7. Захтеви система и процес верификације

Табела 4.8. Резултати тестирања система

Табела 4.9. Резултати примене система

1. Уводна разматрања и преглед садржаја

1.1. Предмет рада

Предмет ове докторске дисертације је развој система за контролу квалитета у производној индустрији применом технологија које представљају главне технолошке стубове индустрије 4.0. Основни циљ компанија је увођење индустрије 4.0. која подразумева дигитализацију производне индустрије. Најзначајнији захтеви дигитализације индустрије су: добијање података у реалном времену за сваку од производних машина, тежња за смањењем броја неусаглашених производа који ће се појавити на тржишту, аутоматизована контрола производних процеса, складиштење великих количина података. Аутоматизација производних процеса се заснива на имплементацији хардвера намењеног за индустријску примену. Најчешће имплементација хардвера подразумева примену сензорских система или уграђених система (енгл. *Embedded systems*), употребу интернета и интернет мрежа. Да би наведени хардвер могао извршавати унапред дефинисане задатке неопходно је обезбедити комуникацију као и дефинисати софтвер за специфичну намену. Информационо комуникационе технологије (енгл. *Information and Communication Technologies – ICT*) пружају могућност имплементације различитих технологија у оквиру производних процеса што доводи до побољшања комуникације која се може обављати између производне опреме, производне опреме и запослених, запослених и крајних корисника.

У складу са наведеним предметом рада фокус ће бити на унапређењу и примени савремених софтверских алата за контролу квалитета, која се заснива на компјутерској визији уз примену упоређивања и унапређења алгоритама компјутерске визије за рад у реалном времену.

Правовремена идентификација неусаглашених производа као и сам рад система за контролу квалитета у реалном времену представља један од најбитнијих захтева индустрије 4.0. У зависности од саме области производне индустрије односно предмета производње и саме неусаглашености који може бити изражена на самом производу постоји више начина контроле квалитета. Данас захваљујући развоју технологије многи аутори прилагођавају своје системе специфичној намени идентификације неусаглашености производа. У оквиру ове докторске дисертације предмет изучавања, то јест систем за контролу квалитета је примењен за утврђивање површинских неусаглашености полупроизвода у оквиру производне индустрије засноване на производима од метала, обликовању лима као и производњи полупроизвода од пластике.

Једно од решења за реализацију система који ће радити у реалном времену а у складу са очекиваним временом за које је потребно извршити контролу квалитета намеће се компјутерска визија (енгл. *Computer vision*). Примена компјутерске визије се заснива на аквизицији података која укључује прикупљање слика непосредно у току производње односно након производње одређеног производа. За саму аквизицију се

користи камера или се могу користити подаци који су већ прикупљени и складиштени. Након аквизиције података врши се обрада података употребом алгоритама, на основу којих се долази до броја неусаглашених производа у реалном времену.

Компјутерска визија се може користити за контролу површинских неусаглашености у виду огреботина уколико се ради о производима са премазом, недостатака у виду текста или боје. Додатно, може се примењивати код димензионе контроле квалитета која подразумева примену компјутерске визије само у случајевима када се ради о чврстим материјалима као што су лим, метал, пластика, дрво у супротном постојаће одступања. Прецизност примене компјутерске визије зависи од више фактора међу најзначајнијима су:

- тачност алгорита који се примењује – на тачност алгорита могу утицати спољни фактори као што су вибрације које могу утицати на фокус камере што даље може довести до замућене слике самим тим алгоритам неће дати прецизне податке;
- брзина рада система - зависи од хардверским способности опреме која се користи за обраду података;
- квалитет прикупљених слика - уско је везана за квалитет камере која се користи за аквизицију;
- осветљење – има велики утицај на квалитет слика, неопходно је обезбедити константност осветљења.

Како се тренутно визуелна контрола у Србији у малим и средњим компанијама заснива на контроли коју извршава запослени и која директно зависи од његовог искуства, задатак је дигитализовати тренутни начин рада, обезбедити добијање података у реалном времену, омогућити приступ бази података.

1.2. Научни циљ рада

Основни научни циљ ове докторске дисертације је да се истражи и развије систем за визуелну контролу квалитета и управљање неусаглашеним производима заснован на примени технологија Индустрије 4.0 и Квалитета 4.0, који се може имплементирати у оквиру постојећих производних процеса. Фокус ће бити на пројектовању ефикасних алгорита за анализу визуелних података, детекцију дефеката и аутоматско доношење одлука, чиме се постиже побољшање прецизности и брзине у процесу контроле квалитета. Циљ је истражити како интеграција дубоког учења, напредних техника обраде слика и технологија машинске визије могу допринети стварању робусног система који може аутономно идентификовати и класификовати различите врсте дефеката у реалном времену. Под циљеви укључују побољшање укупне ефикасности процеса контроле квалитета како би се осигурало да финални производ може изаћи на тржиште у складу са захтевима корисника. Нагласак је стављен на доношење одлука о квалитету заснованих на чињеницама, уз примену научних метода и техника, чиме ће се постићи дубље разумевање процеса контроле квалитета. Постављени циљеви ове докторске дисертације ће бити оставрени кроз решавање стварних проблема у домену производне индустрије. Реализација ће бити представљена кроз студију случаја:

У оквиру ове студије случаја, циљ је развити систем за контролу површинске неусаглашености који ће бити заснован на употреби компјутерске визије. Циљеви које треба постићи су: 1. Аквизиција слике; 2. Идентификација површинске неусаглашености на основу обучености система где ће се подразумевати упоређивање тренутне слике са референтном; 3. Комуникација система са производном машином подкретством микроконтролерских платформи и интернет мрежа; 4. Складиштење података на Cloud; 5. Контрола алармног дела система када дође до повећаног броја неусаглашених производа; 6. Приступ подацима у реалном времену; 7. На основу података о броју неусаглашених производа као и пратећих параметара изračунати укупну ефикасност машине.

1.3. Хипотезе

Основне хипотезе докторске дисертације од којих се пошло на основу постављеног циља истраживања, досадашњих истраживачких активности кандидата и резултата других аутора у подручју истраживања, састоје се од следећих претпоставки:

X1. Може се развити унапређен систем за контролу квалитета применом компјутерске визије у концепту индустрије 4.0. који резултира бољим перформансама.

Применом технологије компјутерске визије могуће је развити систем за контролу квалитета производа у оквиру производних процеса компаније. Интеграција савремених технологија доприноси бржој анализи података, аквизиција података је бржа, доступност података је у реалном времену и пружа могућност тренутне реакције. Основни циљ примене компјутерске визије је аутоматизација процеса идентификације неусаглашених производа у производној индустрији. Квалитет производа директно утиче на секундарне циљеве као што су: планирање производње, управљања магацином, управљања сировинама, превентивног одржавања производних линија, смањење шкарта, повећање задовољства купаца. Традиционални начина контроле квалитета производних процеса је зависио од запосленог. Применом технологије компјутерске визије подаци су доступни у реалном времену чинећи управљање производним процесима бржим. Подаци су доступни одмах употребом рачунаства у облаку и њихом анализом могуће је планирати производњу. Свакако смањење шкарта резултира бољим перформансама производних процеса као и већем задовољству корисника производа што даље резултира већем успеху компаније. Систем за контролу квалитета имплементиран на сваком производном месту у оквиру производне индустрије компаније може дати преглед података у реалном времену. За сваку од производних јединица можемо имати увид у број производа које је произвела такође могуће је управљати производњом на овај начин заустављањем одређеног производног процеса где је детектован већи број неусаглашених производа. Прегледом података могу се доносити одлуке које се односе на планирање производње, управљање производњом.

Интеграцијом компјутерске визије у спрези са алгоритмима идентификације, неуронским мрежама у индустрију може се утицати на смањење неусаглашености

производа могуће је управљати процесима као и планирати даљи ток производње. На основу већег скупа подата о свакој производној јединици као и њиховом анализом може се закључити где ће у будућности настати следећи проблем и приближно у ком периоду. Превентивним одржавањем производних процеса може се спречити настап проблема, свакако на овај начин може се вршити планирање одржавања. Компјутерска визија у погледу перформанси доноси низ предности у односу на традиционалне начине контроле квалитета:

- Брзина – Посматрајући једну производну јединицу запослени не може проверавати сваки производ са временом мањим од 2 секунде, потребно му је доста више времена док узме производ погледа и закључи да ли је он довољно добар. Врло често је неопходно да време контроле квалитета производа буде минимално једнако његовој производњи интеграцијом компјутерске визије може се то постићи.
- Прецизност – Поред брзине неопходно је са сигурношћу потврдити да је реч о усаглашеном или не усаглашеном производу. Прецизна идентификација неусаглашености производа се постиже спрегом технологија неуронских мрежа, алгоритама идентификације, компјутерска визија. На основу обуке неуронске мреже која се заснива на примени реалних података из производне индустрије у односу на тренутне податке добијене применом компјутерске визије прецизно се доносе закључци о усаглашености производа.
- Доступност података – Један од значајних фактора који утиче на доношење одлука које се односе на управљање производњом и планирање. Употребом компјутерске визије и рачунарства у облаку подаци су доступни у реалном времену дајући значајну предност у односу на традиционалне начине контроле квалитета где је запослени у сектору контроле квалитета предавао извештаје у писаном формату о квалитету производа.
- Флексибилност – Могуће је систем прилагодити одговарајућем производном процесу, обуком система на новом скупу података може се обезбедити идентификација другог типа неусаглашености.
- Могућност доношења одлука – На основу података о квалитету производа систем може донети одлуку да ли ће обавестити сектор, зауставити даљи ток производње. Нормалан след догађаја уколико дође до појаве неусаглашеног производа систем шаље обавештење. У случају појаве већег броја неусаглашених производа узастопно зауставља се даљи ток производње и свакако обавештава о предузетим мерама.
- Смањење шкарта – Захваљујући наведеним предностима примена компјутерске визије доводи до смањења шкарта производа.

Примена компјутерске визије у процесу контроле квалитета знатно утиче на број запослених који је потребан за наведени процес. Менаџер може имати већи спектар података који му могу допринети у процесу доношења одлука на нивоу производне индустрије а које даље утичу на пословање компаније. Идентификација већег броја неусаглашених производа на одређеној производној опреми може указати на уска грла једне производне јединице, уколико се правовремено делује то може довести до производне индустрије која ће радити без застоја и без шкарта.

Х2. Примена система за контролу квалитета који је развијен у оквиру ове докторске дисертације ће довести до повећања ефикасности и ефективности процеса производње и допринети већој тачности и прецизности, смањити могућност појаве неусаглашених производа на тржишту и допринеће бољем одлучивању са аспекта управљања квалитетом.

Правовремена идентификација неусаглашених производа је од суштинског значаја за спречавање појаве неусаглашених производа на тржишту. Врло често компаније стављају у други план процес идентификације неусаглашених производа тачније узрок који доводи до његове појаве. Али применом система који је заснован на компјутерској визији и идентификацијом неусаглашености производа на одређеној производној јединица даљи ток производње неусаглашених производа ће бити правовремено заустављен. Тек у овом случају разматра се узрок настанка неусаглашености, што може резултирати уклањању узрока. Када је уклоњен узрок који доводи до неусаглашености на свакој од производних јединица повећава се њихова ефикасност и продуктивност а самим тим и читава компанија.

У случају примене традиционалних начина контроле квалитета запослени формирају извештаје најчешће на дневном нивоу, извештаје је неопходно читати и на основу њих донети одлуку. У најбољем случају ако примети веће неусаглашености зауставља даљи ток производње и разматра се могуће решење. Наравно овај начин контроле квалитета је ефикасан али свакако контрола квалитета уз примену компјутерске визије је ефикаснија са аспекта одзива система на наведене проблеме, делује се готово у реалном времену.

Применом система заснованог на компјутерској визији сектор контроле квалитета може лакше доносити одлуке на нивоу целе производње одређене компаније. Чињеница да систем сам доноси одлуке на основу дефинисаних улазних параметара као што су број идентификованих неусаглашених производа након кога ће зауставити рад производне јединице не спречава запосленог у сектору контроле квалитета да ту одлуку промени. Наравно све ово је уско везано за политику компаније као и за њене циљеве, систем пружа податке чијим увидом запослени доноси одлуке и одлучује о критеријумима рада. Када је реч о тачности саме контроле квалитета производа систем има предност у односу на традиционалне начине контроле квалитета у овом случају контролише се квалитет сваког производа не дозвољавајући могућност појаве неусаглашеног производа на тржишту. Уколико контролу квалитета извршава запослени неће моћи да испрати сваки производ већ су могуће рекламације које ће доћи са тржишта уколико се појави неусаглашен производ.

Време које је потребно за контролу квалитета производа једне компаније зависи од више фактора а то су број производа, број производних јединица и време производње сваког производа. Када се узму у обзир сви наведени фактори уколико компанија тежи увођењу потпуне контроле квалитета производа то ће захтевати већи број запослених. Уз примену система на читавој производњи једне компаније односно на свакој од производних јединица имамо потпуну контролу производне индустрије где спречавамо и најмању могућност појаве неусаглашеног производа на тржишту. На овакав начин се контролише квалитет сваког производа, рад сваке производне јединице, рад запосленог односно његов број производа који је произвео у току једне радне смене.

***ХЗ. Унапређени алгоритми и развијен систем доводе до детекције
неусаглашености производа у реалном времену на основу захтева стандарда
ИСО9001/2015.***

У зависности од технологије производње неопходно је применити одговарајуће алгоритме за идентификацију неусаглашености производа. Могуће је на основу слике која је добијена непосредно након завршетка производног процеса извршити анализу исте и утврдити неусаглашеност производа-одступање од дефинисаног квалитета производа и на основу резултата дубоке анализе неуронских мрежа утврдити да ли је производ усаглашен или не. За сваки производ или технологију производног процеса неопходно је извршити обуку система на реалним подацима са базом података која је прикупљена из самог производног процеса. Систем захваљујући алгоритму за идентификацију употребом неуронских мрежа, и на основу обуке истог врши анализу на основу које се као резултат добија излаз са селектованим неусаглашеностима. На функционалност система заснованог на примени компјутерске визије могу утицати следећи фактори:

- Комплексност алгоритма – неопходно је након избора одговарајућег алгоритма извршити његово прилагођавање конкретном захтеву система. Оптимизацијом алгоритма утиче се на његово време извршавања, прецизност које може бити од великог значаја за систем;
- Амбијентални фактори – обзиром да је фокус на технологији која зависи од камере односно слике неопходно је тежити смањењу фактора који могу утицати на квалитет добијене слике најчешће су то вибрације обзиром да се камера имплементира у већ постојећи индустријски систем, осветљење мора бити константно као при обуци неуронске мреже;
- Хардвер система – уколико је неопходно постићи велике брзине пример мање од једне секунде за једну слику приликом обраде неопходне су одговарајуће хардверске перформансе, слика садржи велики број података њена обрада захтева веће ресурсе него када се обрађује текст или бројеви.

Захтеви стандарда ИСО 9001/2015 су усмерени на управљање квалитетом производа односно услуга које одређена компанија производи или пружа. Основни фокус овог стандарда је на задовољству купаца односно корисника, и он дефинише квалитет за сваки производ у односу на захтеве који долазе са тржишта односно од стране купаца. Сходно наведеном захтеви овог стандарда пороизилазе из захтева купаца, применом овог стандарда се може обезбедити квалитет производа који је у дефинисаним границама квалитета. Неки захтева наведеног стандарда на којима је био фокус при развоју система за контролу квалитета се односе на:

1. Брза детекција неусаглашености производа – Применом алгоритама за идентификацију неусаглашености производа могу се идентификовати неусаглашености у реалном времену ово је од изузетног значаја за обезбеђивање консистентног квалитета.
2. Корективне мере – Правовремена идентификација неусаглашености производа може омогућити брже корективне мере које се могу предузети како би се

смањио ризик од појаве производа који према стандарду не задовољавају захтеве квалитета.

3. Извештаји и документација – На основу прикупљених података који се односе на квалитет производа формирају се извештаји на дневном, недељном, месечном и годишњем нивоу за сваку од производних јединица и за сваки од полупроизвода односно производа. Ови извештаји могу помоћи како би се испунили захтеви стандарда о документацији а која се односи на неусаглашеност производа.
4. Предвиђање проблема – Посматрано са аспекта једне производне јединице која извршава једну од операција на одређеном полупроизводу, она на себи поседује алате за обраду који се временом хабају и неопходно их је правовремено заменити. На основу података којима систем располаже може се закључити у ком периоду односно после колико произведених полупроизвода ће доћи до појаве неусаглашености.
5. Планирање пословних процеса – Овај захтев стандарда се фокусира на анализу и смањење ризика. Применом система који је развијен у оквиру ове докторске дисертације анализира се рад сваке од производних јединица компаније спречавајући могућност појаве неусаглашених производа на тржишту. Систем анализира сваки производ смањујући ризик прекорачења дефинисаног броја неусаглашених производа.
6. Управљање контекстом организације – На само управљање организацијом могу утицати како екстерни тако и интерни фактори, свакако један од тих фактора може бити и повећан број неусаглашених производа неопходно је тежити његовом смањењу. Такође за успешно управљање организацијом неопходно је знати број производа као и њихов статус.
7. Управљање ресурсима – У погледу производне јединице један од ресурса је материјал који се користи за производњу одређеног производа. Повећан број неусаглашених производа директно утиче на ресурсе једне компаније. Свакако рекламације су последица неусаглашених производа које долазе од стране купаца. Уколико се потроши велика количина материјала при производњи већег броја неусаглашених производа то може утицати на ресурсе који су потребни за даљи ток производње.
8. Реализација производа-услуга, Неопходно је према стандарду обезбедити да се планиране активности производње производа спроводе у складу са дефинисаним квалитетим производа. Да би се произвела годишња количина производа уз што мање губитке неопходан је константан надзор квалитета производа. Континуираним праћењем квалитета производа може се планирати ток производње и може се деловати превентивно уколико је то неопходно како би се обезбедио потребан квалитет.
9. Управљање променама – Уколико се посматра један производ кроз одређен временски период неопходно је да он у свом животном циклусу претрпи одређене промене, које се могу тицати дизајна. У овом случају када су промене мале и када их је неопходно пратити систем заснован на визуелној идентификацији неусаглашености може флексибилније пратити све промене на основу којих се могу формирати извештаји. Неопходно је обезбедити да промене

производа минимално утичу на квалитет производа а увек пожељно да уколико има утицаја да он буде у позитивном контексту.

10. Непрекидно побољшање – Свака компанија која жели да постигне боље резултате у односу на свој претходни период мора тежити побољшању својих производних процеса, производа а самим тим и квалитета производа. Неопходно је константно пратити захтеве купаца производа или корисника услуга и складу са квалитетом производа тежити његовом побољшању. Поред праћења тржишта подаци из саме производње поготово у реалном времену могу пружити најбољи преглед тренутног стања на основу чега се може закључити где су уска грла компаније и које производне процесе је потребно побољшати као и који су најчешћи недостаци производа. На овај начин се спречава ситуација да се на тржишту појаве неусаглашени производи.

1.4. Преглед садржаја и организације дисертације

Концепт Индустрије 4.0. обухвата примену савремених технологија које се могу интегрисати у скоро сваку индустријску област а све захваљујући развоју технологије и широког опсега који иста обухвата. Овај рад није могао обухватити примену компјутерске визије у области контроле квалитета производа где је изражен утицај спољашњих фактора као што су висока температура, висок ниво влажности и велике вибрације.

Насупрот наведеном овај рад се базирао на флексибилности, програмабилности, ниске цене хардвера. На основу истраживања која су обухваћена овим радом презентован је проблем контроле квалитета у производној индустрији издвојена је студија случаја за решавање проблема.

Прво поглавље обухвата уводна разматрања, циљ докторске дисертације, полазне хипотезе као и очекивани допринос докторске дисертације. Такође обухвата преглед структуре рада као и преглед радова који се односе на увођење контроле квалитета у оквиру Индустрије 4.0. а који се заснивају на примени технологије компјутерске визије.

Друго поглавље се односи на област примене Индустрије 4.0. Поглавље обухвата преглед литературе са фокусом на примену савремених технологија у области Индустрије 4.0. и Квалитета од којих су истакнуте најзначајније: Индустријске интернет ствари (енгл. *industrial internet of things*), Рачунарство у облаку (енгл. *cloud computing*), Уграђени системи (енгл. *embedded system*), Сензорски системи (енгл. *sensors systems*), Компјутерска визија и, Примена компјутерске визије. У оквиру прегледа литературе који се односи на ПИОТ представљене су могућности њене имплементације у производним индустријским системима, низ предности којима ПИОТ доприноси индустрији као што су прикупљање података и контрола индустријских машина. Значај складиштења података као и доступност истим, могућност уноса података у базу непосредно са производне машине читав овај концепт са свим предностима је представљен поглављем које се односи на рачунарство у облаку. Флексибилност индустрије 4.0. је представљена и у оквиру поглавља Уграђени системи, које се односи на могућност имплементације назавистног система у оквиру

постојећег индустријског система. Без обзира да ли је постојећи систем заснован на савременој технологији или не, оваквим приступом се заправо мења читав концепт постојеће производне машине. Такође једна од најзначајних технологија индустрије 4.0. су и сензорски системи који омогућавају прикуљање широког спектра података из индустријске области у коју су имплементирани а у зависности од своје намене. Компјутерска визија на којој је фокус овог рада, представљен је њен значај као и доприности, начин имплементације, аквизиције и обраде података. У оквиру примене компјутерске визије представљени су неки од система примене, као и области у који се иста може примењивати.

У трећем поглављу „Контрола квалитета у производној индустрији“ представљен је значај саме контроле квалитета у индустрији, дефинисан начин примене, време примене, предности правовремене примене као и њен допринос функционисању индустрије. Такође у оквиру овог поглавља представљене су следеће области које су у спрези са контролом квалитета а односе се на: Неусаглашеност производа, Класификацију неусаглашености производа, Управљање неусаглашеностима, Процес детекције неусаглашености и Савремене методе за детекцију неусаглашености. У оквиру неусаглашености производа дефинисана је класа неусаглашености која се може односити на пукотине или мехуре на производу. Свака од класа неусаглашености садржи величину неусаглашености која је изражена бројем од 0 до 1 са две децимале. Што је вредност неусаглашености ближа броју 1 то је неусаглашеност већа. Област класификације неусаглашености дефинише значај и облик неусаглашености као и даљи ток животног циклуса производа. Управљање неусаглашеним производима има два аспекта први се базира на сам настанак неусаглашености и његову конкретну локацију док се други аспект базира на дефинисање даљег тока управљања неусаглашеним производима. Процес детекције неусаглашености представља процес идентификације неусаглашености, временског интервала и примену метода идентификације. Методе идентификације могу бити традиционалне или мануелне и савремене методе идентификације. Мануелне методе захтевају ангажовање запосленог из области контроле квалитета за процес идентификације неусаглашености. Савремене методе детекције неусаглашености се базирају на технологију које се тренутно примењује у области Индустрије 4.0.

У четвртом поглављу „Контрола квалитета у производној индустрији заснована на компјутерској визији“ представља студију случаја ове докторске дисертације. Поглавље почиње дефинисањем концепта површинске неусаглашености производа као и тренутним начинима идентификације површинских неусаглашености производа у оквиру производне индустрије, разматрања начина превазилажења проблема идентификације површинске неусаглашености уз употребу компјутерске визије. Представљање предложеног решења за превазилажење дефинисаног проблема, представљање хардверског и софтверског дела система, начина аквизиције података као алгорита за утврђивање одступања тренутних података од потребних, обука система, аквизиција података који се односе на укупну ефикасност опреме ОЕЕ (енгл. *overall equipment effectiveness*). Такође представљена је дискусија и анализа предложеног решења, смернице за даљи развој и закључак четвртог поглавља.

У петом поглављу су дефинисана закључна разматрања и смернице за даља истраживања у односу на резултате изложене у овој докторској дисертацији.

Шесто поглавље ће обухватати све литературне наводе који су коришћени у току израде ове докторске дисертације.

1.5. Преглед метода које су коришћене током истраживања

У оквиру истраживачког рада ове докторске дисертације коришћене су методе и алати из области индустријског инжењерстава, информационог и комуникационог инжењерства, обраде слика, аквизиција података коришћењем микроконтролерских платформи. У оквиру студије случаја коришћене су методе засноване на обради и прикупљању слика у циљу вршења контроле квалитета, складиштење података у облаку (енгл. Cloud), коришћен је алгоритам YOLO (енгл. *You only look once*) заснива се на коришћењу неуронских мрежа (енгл. Convolutional Neural Networks), машинском учењу, обуци, у овој студији примењује се за детекцију неусаглашености производа, за софтверски део коришћен је Python програмски језик за имплементацију компјутерске визије, комуникација камере која прикупља податке и рачунара на коме је вршена обрада података се обавља подсетством интернет мрежа. Имплементација компјутерске визије у оквиру наведене студије подразумева употребу Open CV библиотеке отвореног кода. Ова библиотека обезбеђује комуникацију софтверског дела система са хардвером који је имплементиран у производној индустрији. Поред наведене библиотеке примењује се TensorFlow библиотека која је развијена за потребе машинског учења као и рад са дубоким неуронским мрежама, Keras – библиотека намењена за рад са неуронским мрежама како би убрзала рад система. На основу добијених података о неусаглашености производа долази се до података о укупној ефикасности машина ОЕЕ (енгл. *overall equipment effectiveness*). За складиштење података у облаку коришћена је платформа ThingSpeak, док је за анализу података коришћен MATLAB. Комуникација са постојећим машинама и управљање машина на основу прикупљених података се обавља посретством микроконтролерских платформи. Поред микроконтролерских платформи неопходна је употреба интернет мрежа, ИОТ-а као и употреба сензорских система.

2. Теоријске основе примене контроле квалитета у концепту индустрије 4.0

Развој технологије који је довео до појаве прве индустријске револуције доводи касније до још бржег развоја и до појаве друге, треће и четврте индустријске револуције (Culot et al., 2020). Примена савремених технологија у индустрији а међу најзначајнијима интернет, софтвер, хардвер и мреже доводи до настанка четврте индустријске револуције (Vaidya et al., 2018; Büchi et al., 2020). Ова револуција као и претходне настаје са циљем обезбеђења лакшег и бржег рада у индустријским областима, комбинујући већ познату и дуги низ година коришћену технологију са новом технологијом (Bigliardi et al., 2020; Horváth et al., 2019). Такође се заснива на контроли производних процеса који се темеље на примени савремених технологија. Поред контроле користи технологију у циљу мерења, управљања и прилагођавања (Albers et al., 2016; Groumpos 2021). Читав концепт индустрије 4.0. заснива се на коришћењу нових технологија где доминира примена интернета у ужем смислу те речи примена IOT (Internet of things) (Bal et al., 2019; Dogaru 2020), база података којима се може приступати било када са било које локације (Müller 2019), примена електронике, интернет мрежа (Тира et al., 2017). Када је реч о софтверском делу а који се примењује у индустрији у зависности од области индустрије постоје различити софтверски системи који пружају низ предности а који се односе на смањење трошкова, ефикасност, ефективност, квалитет, као и брзину која је данас од високог значаја за пословање (Gallo et al., 2021; Reiman et al., 2021). Хардверски део углавном подразумева примену индустријске опреме, најчешће коришћене микроконтролерске платформе су:

- PLC (енгл. programmable logic controller) заступљен у већини индустријских области као основна јединица сваке машине поседује могућност конекције на интернет, комуникацију са актуаторима и могућност управљања процесима. Робустан је и намењен за индустријску употребу отпоран је на утицај спољашњих фактора који се налазе на месту примене,.
- Siemens simatic платформа намењена за индустријску примену има на себи интегрисане модуле за конекцију са интернетом. Представља gateway што јој пружа могућност комуникације са другим платформама и машинама. Та комуникација јој пружа могућност складиштења великих количина података на cloud системе или се може користити као основа за IOT контролу.
- Raspberry pi рачунар малих димензија који поседује сопствени оперативни систем као и могућност конекције на интернет. Комуникација са улазно-излазним модулима и актуаторима, може се примењивати на местима у оквиру индустрије који нису под израженим утицајем амбијенталних фактора,
- Arduino микроконтролерска платформа је осетљива платформа која није отпорна на осцилације амбијенталних фактора али се може користити у условима за које је предвиђена.

Све наведене платформе за обављање специфичних задатака користе актуаторе, сензорске системе, уграђене системе, интернет и базе података. Основа концепта индустрије 4.0. се заснива на cloud системима и умрежавању, који представљају базу података која се налази на интернету, дакле сви подаци прикупљени из индустријске хале-производног поступка се дистрибуирају и складште у базу којој могу приступати

запослени којима је дозвољен приступ односно који поседују приступ налогу (Thames et al., 2016). Најчешће коришћени cloud системи су: Google cloud, Oracle, SAP, VMWare, IBM cloud и други, у даљем тексту биће представљен рад ових система. Циљ овог начина пословања се заснива на смањењу потребних улагања када је реч о хардверским уређајима у случају да не користимо cloud. У оквиру индустријске хале би се налазили хардверски уређаји који би складиштили огромне количине података (Thames et al., 2016; Narayanan et al., 2020), што би представљало ману таквог система, морали би физички доћи до таквих уређаја како би смо користили податке. То није случај са cloud-ом, када се подаци прикупе и складиште на једном месту може им се приступати било када и са било које локације у реалном времену (Thames et al., 2016). Корисницима је омогућено да манипулишу подацима, овакви системи пружају широк спектар платформи које раде на овај начин самим тим пружајући низ начина за обраду истих и представљање корисницима (Thames et al., 2016; Liu et al., 2019).

2.1. Технолошки стубови индустрије 4.0.

Индустрија 4.0. обухвата више технолошких стубова који у спрези омогућавају контролу квалитета производа, праћење индустријских процеса, управљање индустријским процесима, анализу података добијених из производне индустрије. Најзначајнији стубови индустрије 4.0 су (Antonino et al., 2022; Rahman et al., 2023):

- Интернет ствари: Пружају могућност конекције различитих уређаја, сензора и система у циљу прикупљања података из производне индустрије у реалном времену. Затим се врши анализа података у циљу оптимизације производних процеса као и контроле квалитета производа, идентификације насталих грешака у производном процесу.
- Рачунарство у облаку: Пружа могућност складиштења великих количина података, анализу подата, управљање подацима као и приступ са удаљене локације у реалном времену. Може се користити за праћење података о производним процесима као и праћење података о квалитету производа.
- Уграђени системи: Чине основ индустрије 4.0. основна функција уграђених система је прикупљање података из производних процеса, интеграција хардвера у оквиру постојећи система. Доприноси бржем откривању проблема, ефикасном праћењу грешака, праћење квалитета производа током целог циклуса производње.
- Сензорски системи: Користе се за прикупљање података из производних процеса, могу се прикупити подаци о квалитету производа.. На основу добијених података може управљати производним процесима.
- Компјутерска визија: Користи се за идентификацију производа, анализу карактеристика производа путем обраде слика. Омогућава процену квалитета производа, класификацију производа, прецизно мерење, идентификацију дефекта, оптимизацију производних процеса.

Сваки од представљених стубова индустрије 4.0 има одређен значај како у управљању производним процесима тако и у контроли квалитета производа и идентификацији дефекта.

2.1.1. Примена концепта интернет ствари у контроли квалитета

Концепт примене интернета за контролу електричних уређаја, прикупљање података од истих, њихова визуелизација крајњем кориснику назива се IOT (Pasika et al., 2020; Izaddoost et al., 2020; Kullig et al., 2020). Када је реч о индустрији овај концепт користи други термин који се везује конкретно за индустрију и као такав је познат под називом IIOT (Singh et al., 2019). Суштинска разлика примене, IOT је намењен за примену која се односи на контролу електричних уређаја опште намене визуелизацију података и њихову анализу што га не спречава да се користи и у индустријске сврхе (Murugaiyan et al., 2020), IIOT је развијен првенствено за примену у индустријске сврхе односно за велике системе који ће радити са већом количином података, већим бројем актуатора над којима ће бити примењена (Rholam et al., 2019). Систем представљен овим радом ће користити IOT обзиром да нису потребне велике количине података које ће се складиштити, такође сама контрола електричних уређаја не захтева дефинисање већег броја актуатора од оног што подразумева примена IOT-а у случају проширења система односно његових функционалности потребно је прећи на примену IIOT-а.

IOT може пружити већи број бенефита а то су (Mohd et al., 2021): оптимизација производне линије, прикупљање података у реалном времену, управљање залихама, паковање, прикупљање података и контрола квалитета. Оптимизација производне линије пружа могућности увида у реалном времену у тренутно стање како машина у оквиру линије тако и података о производима који су тренутно на линији или о производима који су прошли. Прикупљање података у реалном времену је могуће захваљујући како хардверу тако и софтверу где на основу тренутног стања одређеног сензора а уз употребу интернет ствари можемо прикупљати податке. Управљање залихама може бити значајно и може се посматрати са више аспеката, уколико се залихе односе на потрошни материјал који је неопходан за одржавање производних машина или залихе полупроизвода или готових производа. Паковање бенефити примене IOT-а када се узме у обзир паковање производа или полупроизвода се огледа у подацима у реалном времену и могу се односити на конкретан број производа у оквиру једног паковања, састава паковања уколико се разликује, количине у току радног времена, карактеристика спакованих производа, података о тренутном статусу. Прикупљање података у оквиру производне индустрије које може обезбедити примена IOT-а се може односити на производне машине, запослене који раде на одређеној производној машини, или на производе. Најчешће су то подаци који односе на производе и њихов статус било за неки одређен процес или читав циклус производње једног производа. Контрола квалитета се применом IOT-а може спроводити уз употребу сензорских система, интернета, хардвера који се односи на микроконтролерске платформе, где је основни фокус IOT-а на прикупљању података о квалитету производа и пружања могућности интеракције система у реалном времену.

IIOT може допринети у процесу планирања производње, на основу параметара које можемо добити употребом IOT-а, параметри се могу односити на времена у оквиру производне линије као и тренутни застоји уколико их има због дефекта или шкарта односно појаве неусаглашених производа на некој од производних машина услед неправилног рада машине или проблема који су уско везани за сам производ или полупроизвод (Dhungana et al., 2021, Martikkala et al., 2021). Такође поред података о времену, циклусу производње једног производа које добијамо у реалном времену а који се односе на читаву производњу једне компаније, добијамо податке о сваком актуатору, сензору или контролеру на производној машини где можемо на основу података

формирати читаву мрежу и пратити у реалном времену ток производње од самог уласка сировина до финалног производа (Boyes et al., 2018). IOT пружа могућност визуализације података на различите начине, најчешће у форми графичких приказа или нумеричких вредности. Када је реч о великим системима или дистрибуираним системима односно компанијама које послују на више различитих географских локација такви системи се заснивају на употреби scada система. Примена ових система се заснива на великој количини података, употреби великог броја сензора и актуатора. Уколико је реч о једној производној линији или о малој-средњој компанији по величини употреба IOT система ће бити довољна за наведене потребе компаније (Rosales et al., 2021). Примена IOT система у процесу аутоматизације производне индустрије може утицати на смањење трошкова, смањење губитака, повећања флексибилности, побољшања комуникације, аутор (Cronin et al., 2019) у оквиру свог рада наводи како је употреба IOT-а у оквиру производних линија у аутомобилској индустрији допринела спречи различитих типова технологија где се обезбеђује континуиран рад производне линије уз знатно мање губитака. Велики број микроконтролерских платформи произведен је као платформа намења за IOT пројекте, односно на себи поседују могућност конекције са интернетом као и могућност комуникације са другим платформама или уређајима, такође једна од предности је свакако и та што ови системи нису уско везани-ограничени на употребу одређеног хардвера што пружа низ предности када је реч о програмирању и употреби исти (Cerquitelli et al., 2020). Употреба IOT-а се може посматрати са аспекта повећања енергетске ефикасности, односно не расипати енергију тамо где то није неопходно, у ужем смислу посматрано уколико тренутно у оквиру производње није неопходно да одређена машина ради IOT може тај процес контролисати или се његовом употребом могу видети губици енергије (Zhang et al., 2018). Посматрано са аспекта софтвера IOT платформе су прилагођене за више врста уређаја а то су паметни телефони, компјутери итд, ове платформе захваљујући алгоритмима који у позадини апликације којој приступамо употребом неких од наведених уређаја извршава сложене операције као што су континуирано праћење, контрола уређаја, комуникација између више типова уређаја и платформи, анализа прикупљених података, идентификација тренутних проблема у оквиру производне индустрије и реаговање у складу са дефинисаним процедурама. (Chehri et al., 2021)

2.1.2. Могућност примена рачунарства у облаку у контроли квалитета

Рачунарство у облаку користе се за складиштење података на интернету, ови системи пружају подршку за велике количине података, независне су од платформе или рачунара, приступ им је једноставан и не захтевају активно управљање од стране корисника, не заузимају простор рачунара или снагу. Пружају приступ подацима у реалном времену са било које локације и било ког уређаја. За прикупљање података није неопходно покретање сервера како би се приступало подацима. Иза ових система се налазе читаве компаније које пружају овај вид услуге, такође у зависности од потреба у понуди постоје разне могућности а у које поред осталог спадају количина података која ће се складиштити као и протокола заштите података у зависности од степена поверљивости истих (Simeone et al., 2019). Наравно све ово утиче на цену, данас су цене за овај вид услуга јако приступачне. На слици 2.1. представљен је начин складиштења података из области производне индустрије на cloud систем.

Слика 2.1. Прикупљање података и складиштење на *cloud* систем

Извор: Аутор

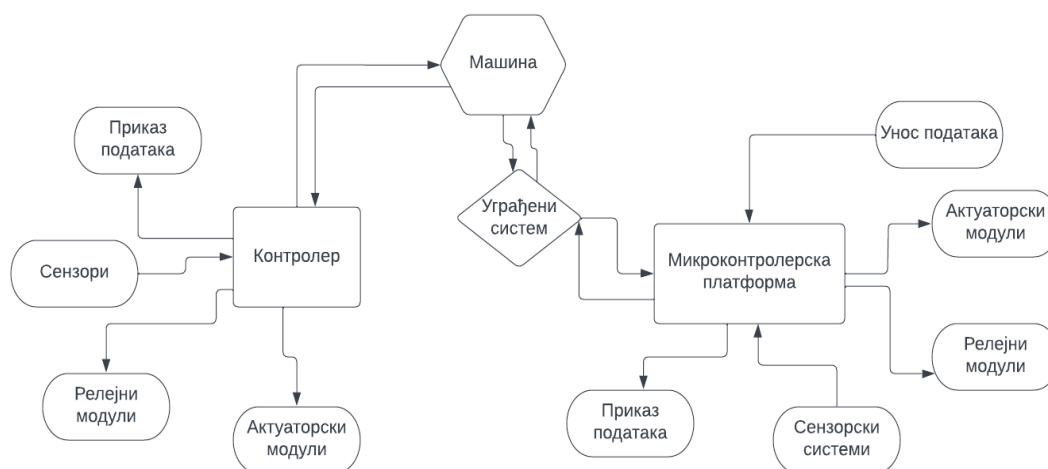
Као што се може видети на слици 2.1. прикупљени подаци из производне индустрије се складиште на *cloud* систем, машине као и паметни уређаји могу без подстретсва компјутера уносити податке на *cloud* систем обзиром да данас скоро свака машина поседује микроконтролер или неки вид програмабилне платформе која има могућност конекције на интернет. *Cloud* даље на основу података које поседује омогућава приступ корисницима система, наравно постоје ограничења приступа подацима у циљу повећања безбедности података или могућности губитака истих. Ови системи пружају могућности прикупљања података, визуелизације истих на више начина у зависности од потреба и дефинисаног начина приказа, алармирање корисника (Kolesnyk et al., 2021). Могу се слати повратне информације машини или производној линији уколико је предвиђено системом да машина на основу неких података који се налазе на *cloud*-у има одређену реакцију односно да на основу тих података изврши неки дефинисани задатак (Liu et al., 2019). Једну од најзначајнијих улога када је реч о подацима имају свакако базе података чија је основна намена складиштење огромних количина података а они представљају конкурентску предност на тржишту, пружајући могућност анализе како би се правовремено донеле значајне одлуке. Развој технологије довео је до појаве већег броја различитих типова база података као и већег броја типова података, у зависности од типа података користиће се одређена база података. Највећи број *cloud* система је заснован на употреби MySQL (енгл. My Structured Query Language) база података, за његов рад неопходан је сервер на коме је покренута MySQL база. Најчешће коришћене базе су релационе у којима се чувају структурирани подаци као пример најчешће коришћених су SQL (енгл. Structured Query Language) док су такође заступљене базе за складиштење неструктурираних или полуструктурираних података (Grevenitis et al., 2019; Welsh et al., 2020). Све чешће коришћене базе података су NoSQL (енгл. Not Only SQL) које су брже од SQL база у смислу задавања упита такође се може вршити бржи унос података, углавном доминирају у комерцијалном сектору где је број докумената знатно већи (Schulz et al., 2016). Главне акције над SQL базом су унос података, претрага, штампање, брисање, измена, све ово се може вршити знатно брже него што је било могуће пре примене ове технологије у индустрији што

доноси низ предности истој. Процес складиштења података је једноставнији, мање захтеван него код употребе SQL базе података. У оквиру практичног дела ове докторске дисертације биће коришћен ThingSpeak cloud систем који се заснива на употреби MySQL база података, пре свега овај cloud систем је развијен за потребе истраживања и употребе у академске сврхе. Данас овај систем у понуди има више могућности и може се користити за потребе примене у индустрији где се складиште велике количине података, захваљујући серверима на којима се налази читава MySQL база података овај систем може одговорити индустријским изазовима. Сви cloud системи у зависности од количине података који ће се складиштити пружају своје пакете, плаћање ових услуга се вржи на месечном или годишњем нивоу где се за узврат добија поред базе података и безбедност података, смањење потреба за сопственим хардвером на коме би биле покренуте базе података.

2.1.3. Интеграција уграђених система у процесу контроле квалитета

Уграђени системи представљају системе који су уграђени у оквиру неког другог система у циљу повећања перформанси истог (Górski at al., 2018). Систем који је представљен овим радом представља уграђен систем из разлога што се може уградити у оквиру неког другог система дајући му више функционалности. Засновани су на интеграцији хардвера који подразумева сензоре, актуаторе, микроконтролерске платформе, RFID (енгл. Radio-Frequency Identification) системе као и читаве системе уз интеграцију софтвера који је коришћен за рад на новом систему (Raj., 2019, Rose., 2015). Када се узме у обзир да представљају системе специфичних намена мисли се углавном на обављање специфичних задатака дефинисаних од стране компјутера, где пројектант система може систем прилагођавати специфичним потребама. Основна функција уграђених система је пружање ширег спектра функционалности система у који се уграђује (Rose, 2015; Baghezza at al., 2020). Ако се узме у обзир индустрија 4.0. уграђени системи се могу посматрати као хардверски систем углавном систем сензора и актуатора који су уграђени у неку индустријску машину. Ови системи поред информација које могу пружати о конкретној машини могу се користити за контролу, комуникацију са другим системима или са крајним корисником. Најчешће је то случај када се комбинујући све поменуте функционалности. Када узмемо у обзир рачунаре опште намене уграђени системи представљају специфични хардвер намењен раду у индустријским условима, као и намењен прикупљању специфичних података (Rose, 2015). Ти специфични подаци се не могу прикупити рачунарима опште намене, они не би могли радити у таквим условима (Rose, 2015). С' обзиром да се ови системи уграђују у самој индустрији непосредно на машини или поред ње, након прикупљања информација или обављања одређеног задатка ови системи комуницирају са рачунарима опште намене или податке прослеђују cloud системима којима можемо приступити на више начина (Raskin at al., 2018). Засновани на примени савремених технологија а уграђени у индустријске машине обезбеђују како мониторинг машинама тако и комуникацију између машина. Без употребе уграђених система читав концепт индустрије 4.0. не би постојао бар не у облику који данас постоји. Користе се како би убрзали процесе, аутоматизовали индустрију, смањили губитке, олакшали комуникацију запослених односно корисника система. Као једна од значајних карактеристика је свакако што представљају real time ситеме или системе који делују у реалном времену, где се интеракција корисника односно запосленог одвија у тренутку неког догађаја а одзив система је једнак деловању корисника (Gorski at al., 2018), што у

многome смањује трошкове услед појаве неке непредвиђене хаварије или застоја где корисник може правовременим деловањем смањити или у потпуности неутрализовати штету. Приказ примера уграђеног система се може видети на слици 2.2.



Слика 2.2. Приказ примера уграђеног система
Извор: Аутор

Из примера који је представљен на слици 2.2. се може закључити како функционише одређени уграђени систем. Као основа овог система је микроконтролерска платформа која комуницира са машином и прикупља податке користећи одређене модуле. У конкретном случају циљ је некој старој машини која већ поседује сопствени контролер као и своје актуаторе пружити нове функционалности применом нових технологија и на тај начин добити савременији систем који је ефикаснији.

Свакако примена интернет мрежа је у многome олакшала приступ уграђеним системима односно машинама у оквиру којих су уграђени системи. Компјутерске визија и неуронске мреже које представљају само неке од могућности уграђених система доприносе у погледу добијања јаснијих података у краћем временском интервалу, тачнијих података. Пружају могућност контроле квалитета и замене запосленог на местима где може постојати опасност по здравље запосленог или на монотоним пословима у оквиру контроле квалитета који одузимају велики део радног времена (Oks et al., 2021).

2.1.4. Сензорски системи као аналитичке и технолошке методе у контроли квалитета

Једна од основних компоненти индустрије 4.0. су сензори који имају функцију прикупљања података. Постоји велики број различитих сензора и њихових подела како у зависности од података које прикупљају тако и од места примене (Wilson, 2005). Једна од основних подела је на дигиталне и аналогне где је основни акценат на сигнаlima којима сензор комуницира са микроконтролерском платформом са којом је повезан, аналогни сензори шаљу аналогне сигнале док дигитални сензори користе дигиталне (Wilson, 2005). Такође постоје и сензори који једну величину конвертују у другу па тако имамо аналогно-дигиталне конвертере и дигитално-аналогне конвертере.

Захваљујући настанку ових сензора данас постоје и уграђени системи, ИОТ па чак и индустрија 4.0. њихов значај је од велике важности (Wilson, 2005). С' обзиром да данас постоји много врста сензора можемо добити широк спектар информација из различитих делова система и из различитих грана. Сензори се користе како у свим гранама индустрије тако и у науци, роботизи, па чак и све чешће у свакодневном животу најбољи пример за то су паметни телефони који данас поседују већи број сензора који нам пружају информације које нам некада нису биле доступне на тај начин. Када је реч о сензорским системима они углавном представљају сензорске мреже које се најчешће састоје од два или више сензора (Kabashkin 2019). Сензорске мреже су системи који се могу налазити у оквиру неког другог система и на тај начин пружајући додатне функционалности или чинећи дистрибуиране сензорске системе који се могу налазити како у оквиру два или више система који су физички на малој удаљености један од другог тако и оне који сарађују на већим удаљеностима. Сензоре који се користе у оквиру производне индустрије можемо класификовати према типу сензора, најчешће коришћени типови сензора се могу видети у табели 2.1.

Табела 2.1. Класификација сензора у оквиру производне индустрије заснована на типу коришћеног сензора (Javaid et al., 2021, Jovanović et al., 2020, Mijailović et al., 2018).

Р.Бр.	Тип сензора	Опис сензора
1	Сензори силе (Давачи силе)	Основна примена сензора силе је свакако добијање силе која се налази између актуатора и неког покретног дела машине, могу се користити у процесима тестирања производа или полупроизвода где је неопходно задатом силом деловати одређеним актуатором на неки производи на тај начин остварити контролу силе односно добити повратне податке.
2	Сензори положаја	Имају јако значајну улогу у оквиру производне индустрије користе се за дефинисање положаја покретних делова производних машина или производних линија, за одређивање положаја полупроизвода у односу на референтни део машине.
3	Температурни сензори	Обухватају широку примену од мерења температуре машина до мерења амбијенталне температуре и мерења температуре производа.
4	Сензори притиска	Користе се за детекцију притиска најчешће компримованог ваздуха који се користи за покретање производних машина, приликом тестирања производа где је значајно добити податке о притиску који се користи у оквиру тестирања производа а који ће деловати на производ у процесу употребе истог.
5	Рфид сензори	Могу се поделити на рфид читаче и тагове. Читачи се користе за детектовање рфид тагова односно ознака који су заправо носиоци података о статусу производа или могу садржати неке друге информације.
6	Ултрасонични сензори	Примењују се за детекцију удаљености предмета. Функционише тако што предајник шаље звучни талас

		који путује кроз простор који се одбија од неког предмета и враћа назад до пријемника. На основу податка о времену које је протекло од слања таласа до пријема таласа се може доћи до податка о физичком растојању два предмета односно тачне удаљености.
7	Контактни сензори	Састоје се од перекидачког дела се најчеће активира механички односно уз употребу неког актуатора.
8	Оптички сензори	У оквиру групе оптичких сензора се налазе светлосни сензори засновани на фотоћелијама, инфрацрвени користе се за детекцију предмета, ласерски сензори који емитују сноп зрака на основу чијег одбијања од неког предмета и пријема одбијеног зрака се може одредити растојање.
9	Сензори влажности	Припадају групи сензора који мере амбијенталне факторе у оквиру којих је свакако један од фактора влажност ваздуха, могу мерети влажност земљишта итд.
10	Сензори за детекцију гаса	Користе се за детекцију концентрације одређених гасова у ваздуху, своју примену могу пронаћи у детектовању штетних гасова који утичу на здравље запослених.
11	Сензори осетљиви на присуство метала	Врло честу примену имају у оквиру производне индустрије са фокусом на машине које се користе за монтажу полусклопова или склопова производа, ови сензори детектују пкрисуство метала на различитим дистанама, што даље на основу сигнала сензора пружа могућност контролисања процеса машине.

Чинећи основу уграђених система ови системи функционишу на унапред дефинисан начин, састојећи се од одређених сензора. Где сваки од њих има само једну али јако значајну улогу а то да прикупи одређени податак. Тако прикупљен податак се даље прослеђује микроконтролерској платформи која даље комуницира са gateway-ом који даље прослеђује податке cloud систему а коме може приступити корисник, корисник тада својом реакцијом може деловати на систем.

2.1.5. Примена компјутерске визије у процесу идентификације квалитета производа

Примена компјутерске визије се заснива на аквизицији, обради, креирању визуелних података као што су слике или видео записи, који се могу користити у оквиру производне индустрије за производњу производа или за контролу квалитета производа (Stavropoulos et al., 2020;). За само прикупљање слика се могу користити камере опште намене али када је реч о примени у оквиру производне индустрије неопходно је користити индустријске камере. Обрада података се обавља на компјутеру опште намене или на индустријским рачунарима, обзиром да компјутерска везија и алгоритми који се користе у производној индустрији због потребне брзине обраде података захтевају примену компјутера са високим перформансама (Stavropoulos et al.,

2020;). Три основна корака у оквиру компјутерске визији су класификација објеката на основу слике или видеа, идентификација објеката који се налазе на слици, праћење објеката на видеу (Stavropoulos et al., 2020; Mijailović et al., 2023). У самој основи компјутерске визије се налази алгоритам који се користи за праћење објеката или препознавање, врло често се комбинује са употребом неуронских мрежа (енгл. Neural Network) а у циљу што прецизнијих података као и што бржем добијању истих. Компјутери употребом алгоритама обрађују слике пиксел по пикселу што захтева велику процесорску или графичку снагу компјутера како би се подаци добили у што краћем временском интервалу (Almazán-Lázaro et al., 2022, Popper et al., 2020). У зависности од потреба и сложености алгоритма све чешћи случај је покушај смањења потребних хардверских перформанси где год је то могуће а све у циљу смањења цене имплементације система, где се задња фокус на брзини али које условно покренута од стране самог места употребе односно ако је реч о имплементацији система у оквиру одређене производне машине са основном наменом контроле квалитета излаза машине неопходно је узети у обзир време које је потребно машини за један циклус и на основу добијених података обезбедити хардвер који ће моћи обезбедити коректан рад алгоритма у захтеваном временском интервалу (Almazán-Lázaro et al., 2022;). Обзиром да сам софтвер, начин обраде слике тј. сам алгоритам директно утиче на време обраде слике и на хардверске перформансе које ће бити неопходне за функционисање система потребно је тежити у што већој мери смањењу сложености алгоритма и на тај начин се може директно утицати како на крајње време тако и на саму цену целокупног система али свакако треба пре свега узети у обзир тачност алгоритма која за само место примене не сме бити нарушена погрешним избором хардвера као и недовољно тачним алгоритмом (Almazán-Lázaro et al., 2022;). Уска грла компјутерске визије се могу посматрати из угла резолуције и осветљености, где се резолуција може посматрати као број пиксела на једној слици већи број пиксела у овом случају ће захтевати више времена за обраду слике, осветљеност ће директно утицати на квалитет слике што даље може имати директан утицај на тачност алгоритма, камера се мора поставити на чврсту површину потпуно је обезбедити да вибрације које ствара индустријска машина при свом раду не могу утицати на саму аквизицију слике, неопходно је максимално смањити могућност утицаја спољних фактора који могу утицати на сам квалитет слике. Све чешће ови системи користе примену вештачке интелигенције (енгл. Artificial Intelligence), дубоког учења (енгл. Deep Learning), машинско учење (енгл. Machine Learning) а све у циљу добијања што квалитетнијих, тачнијих података где се овим системима даје могућност закључивања на основу узорка односно предходно извршене обуке система а која се обавља на основу великог броја слика, података на основу којих овакви системи могу дати прецизније податке што даље захтева јаку интеграцију хардвера нарочито када је реч о малим временским интервалима а о великом броју података и великој сложености алгоритма. Доприноси примене компјутерске визије се огледају у смањењу појаве шкарта у оквиру производне индустрије, када се узме у обзир интеграција компјутерске визије и индустријских робота могу се производни задаци извршавати прецизније и брже што доводи до повећања аутоматизације индустрије, смањење трошкова до којих доводе честе грешке димензија производа, правовремена реакција на појаву шкарта на производној линији, смањење потребног броја запослених на позицијама контроле квалитета (Vukicevic et al., 2019). Компјутерска визија проналази примену у скоро свим производним индустријским процесима у комбинацији са већ постојећом и имплементираном технологијом само неки од процеса примене су: димензиона контрола производа (Vukicevic et al., 2019),

површинска контрола квалитета (Doowon et al., 2023), контрола боје производа (Ettalibi et al., 2024), контрола паковања производа (Giefera et al., 2020), контрола да ли склоп производа уколико је реч о производу који се састоји из више производа садржи све неопходне производе и да ли је њихова монтажа коректна (Basamaklis et al., 2022), оријентација објеката што у многome може користити индустријским роботима (Du et al., 2023), итд.

Примена компјутерске визије у оквиру индустрије 4.0. се може дефинисати на основу 7 основних начина примене а који обухватају: Детекцију дефекта (Haleem et al., 2021), Поклапање патерна (Wang et al., 2023), Праћење објеката (Bao et al., 2023), Сортирање (Cho et al., 2022), Визуелно контрола робота (Deshpande et al., 2023), Оптичка верификација (Nguyen et al., 2021), Скенирање баркодова (Javaid et al., 2022). Детекција дефекта подразумева визуелну контролу неусаглашености производа у оквиру производне индустрије што је шире дефинисано у оквиру наслова 4. Поклапање патерна подразумева континуирано праћење сложених склопова и поређене тренутне слике са задатом, на основу резултата може се доћи до одступања уколико их има. Праћење објеката се најчешће заснива на праћењу кретања објеката у оквиру производног процеса било да се ради о једној производној машини или једној производној линији као и праћењу од почетне фазе производње до финалне, уз документовање о сваком производном процесу. Сортирање један од најчешћих видова употребе компјутерске визије у оквиру индустрије нарочито на местима која захтевају велике брзине а где се сортирање заснива на препознавању контура производа наравно овакви системи захтевају велику процесорску снагу уређаја на којима ће се извршавати алгоритам поређења. Визуелна контрола робота је корисна када се захтева од робота да препозна објекат у свом окружењу, користећи грипери ухвати предмет и даље га употреби у процесу монтаже захтевног и прецизног склопа, такође се користи за дефинисање кретања робота у простору на основу референтних објеката. Оптичка верификација подразумева верификовање објеката са слике односно процес препознавања објеката када се ради о већем броју сличних објеката користи се за даљи процес селектовања и монтаже, паковања. Скенирање баркодова подразумева препознавање садржаја баркода на основу силIKE, користи се за аутоматизацију магацина или паковање производа у оквиру индустрије. Основни кораци су компјутерске визије су (Javaid et al., 2022;): Прикупљање слике, Обрада прикупљених података, Акција која следи након обраде података. Прикупљање слике је релативно брз процес који је најчешће у оквиру производне индустрије дефинисан неком претходном акцијом коју је извршила нека производна машина, најчешће се прикупљање врши након добијања неког сигнала од сензора који се налази на постојећој машини. Обрада прикупљених података подразумева употребу алгоритама, компјутера, све чешће због потребе за већом брзином добијених података употребу конволуционалних неуронских мрежа (енгл. *Convolutional Neural Networks*), дубоког учења (енгл. *Deep Learning*). На основу претходна два корака долази се до финалног корак који подразумева неку акцију односно најчешће се акција занима на неколико процеса који се извршавају готово у истом тренутку. Најчешће подразумевају стартовање неког хардверског актуатора, уписивање подата у неки вид меморије, алармирања уколико се ради о грешци или застоју, уколико постоји могућност и уколико је систем предвиђен отклањање грешке.

2.1.6. Могућност примене компјутерске визије за контролу квалитета у производној индустрији

Имплементацијом компјутерске визије у оквиру индустрије 4.0. омогућио би се приступ ширем спектру података обзиром да се компјутерска визија може користити за контролу квалитета у оквиру производне индустрије, прецизну позицију робота у окружењу, контрола димензија профила, препознавање објеката на производној линији, праћење кретања објеката и формирање извештаја, провера баркодова, прикупљање података (Louw et al., 2019, Würschinger et al., 2020). Контрола квалитета у производној индустрији се може посматрати са више аспеката а све у зависности од тога шта је потребно контролисати на конкретној позицији која је уско везана за саму област производње одређене компаније. Уколико је реч о фарбаним позицијама уз коришћење компјутерске визије се могу контролисати површине да ли поседују огреботине или оштећења настала услед транспорта на покретној траци, код ливених позиција могу се контролисати подливи или визуелне грешке које се могу односити на недостајање одређеног детаља на одливку, обликовање лима може имати недостајуће отворе или текст који је утиснут. У оквиру аутоматизације индустрије све чешће користе индустријски роботи који примену проналазе за монтажу сложених склопова или обављање монотоних послова. Компјутерска визија имплементирана са индустријским роботима се може користити за инспекцију недостајућих позиција у склопу, одређивање прецизне позиције објекта који се имплементира у слоп или прецизна позиција робота у односу на окружење у коме се налази. Контрола димензија профила има широку примену нарочито када се узму у обзир сложени профили, где велики утицај може имати квалитет камере као и утицај самог хардвера који је потребно да поседује високе перформансе, где време добијања повратних информација такође може утицати на саму спецификацију потребних перформанси. Ако је реч о прецизним димензијама профила спољни фактори као што су осветљење, фокус камере, вибрације које може изазвати машина могу имати огроман утицај на тачност мерења. За транспорт позиција у оквиру производне индустрије се најчешће користе транспортне линије које транспортују позиције од једне производне машине до монтаже склопова. Употреба компјутерске визије проналази високу примену како за препознавање позиција тако и за њихову селекцију. Праћење објеката и формирање извештаја може имати велики значај у оквиру једног производног циклуса где за сваку произведену позицију можемо формирати извештај на основу кретања те позиције односно можемо пратити позицију од њене производне до паковања и имати комплетне податке у оквиру једног извештаја где ћемо између осталог имати податке о шкарту, доради, боји и другим карактеристикама које се могу препознати камером. Провера баркодова је монотон посао који захтева доста запослених који ће ручно проверавати сваки од баркодова, али употребом компјутерске визије време провере свих баркодова се значајно смањује и не захтева велики број запослених. У оквиру табеле 2.2. се могу видети најчешћи начини примене компјутерске визије у оквиру индустрије 4.0.

Табела 2.2. Примена компјутерске визије у индустрији 4.0. (Javaid et al., 2022, Brogan et al., 2021, Yang et al., 2021, Wurschinger et al., 2020.)

Рб.	Примена	Опис предложене примене
1.	Контрола квалитета производа	Када је реч о контроли квалитета производа применом компјутерске визије контрола квалитета се односи на визуелну контролу односно контролу површина производа и неусаглашености које могу бити видљиве на завршним слојевима производа.
2.	Прикупљање података	Подаци који се прикупљају се могу односити на податке о времену израде производа стања производа на основу слике, препознавања производа, класификације, препознавање запосленог који је произвео производ или дорадио., итд.
3.	Анализа окружења	Најчешће се односи на простор у коме се налази производ и његове локације у односу на референтни објекат, анализа да ли се у линији кретања производне машине налази нека препрека или неки други актуатор.
4.	Праћење производа-запослених	Праћење се може обављати од уласка сировине која је потребна за производњу производа до финалне производње и складиштења у магацин готових производа, за сваку од фаза производње постоји сачувана фотографија на основу којих се може креирати извештај или проценити у којој фази најчешће долази до појаве неусаглашености.
5.	Тестирање квалитета	На основу идентификације неусаглашености производ се може додатно укључити у тестирања односно у процесу производње и на основу дефинисања фазе производње у којој је највиши степен неусаглашености увести додатно тестирање производа како би се смањила појава неусаглашености на основу резултата компјутерске визије.
6.	Контрола кретања робота	На основу видео снимка камере у реалном времену а која се налази на руци индустријског робота кретање робота у простору је знатно олакшано, фокус је у препознавање производа које робот узима или у препознавању препреке односно да ли се у зони кретања робота налази запослени, где се правовременим заустављањем спречава повреда.
7.	Инспекција машина	Подразумева праћење стања машина односно може се одосити на фазу обраде-производње производа или само стање које односи на производну машину да је она тренутно у застоју и зашто, детектовање

		квара или потребе за одржавањем машине.
8.	Скенирање баркодова	Скенирање баркодова који се налазе непосредно на производу или паковању производа се може вршити употребом индустријске камере која се налази на машини за паковање, покретној траци или у оквиру магацина готових производа за одређивање састава паковања или локације палете или производа.
9.	Проналажење-препознавање производа	Дефинисање прецизне локације производа односно дефинисање положаја производа у односу на сам облик производа а у поређењу са референтном сликом у циљу лакшег прихватања производа од стране манипулатора или робота и даље монтаже или класификације.
10.	Смањење грешке при производњи	Смањење грешке при производњи могу имати шири спектар неке од грешака где је могуће уочити грешке применом компјутерске визије су свакако фарбани производи односно процес фарбања где се може зауставити процес приликом настанка грешке, процес паковања, процес монтаже, процес препознавања производа.
11.	Идентификација-класификација дефекта	Представља процес утврђивања врсте оштећења-дефекта производа на основу улазне фотографије а у поређењу са низом задатих фотографија на којима су дефинисани и уочљиви дефекти.
12.	Контрола производних линија	Најчешће се може односити на класификацију производа који се налазе на производним линијама на основу облика, боје, контура, препознавање грешке и заустављање линије.
13.	Праћење количине произведених производа	Се може односити на одређену производну машину где се најчешће посматра једна смена и број производа произведених у оквиру једне смене као и број добрих производа и неусаглашених. Такође се може посматрати читава производња и пратити циклус производње одређеног производа где је неопходно наведени производ обрађивати на више различитих производних машина.
14.	Контрола монтаже склопова производа	У случају када се ради о склопу који садржи велики број позиција, монтажа се може контролисати употребом компјутерске визије, где се прецизно може идентификовати сваки производ који се налази у склопу и утврдити да ли је монтажа успешна или не.

За сваку од наведених примена компјутерске визије у оквиру табеле 2.2 се развија софтвер и прилагођава конкретној намени, постоји више разлога за развој софтвера један од основних је свакако различита намена што се може закључити на основу дефинисане табеле и описа који она садржи. У неким од наведених примера је фокус на времену односно циклусу производње па је неопходно да алгоритам може извршити потребну калкулацију у оквиру дефинисаног времена, у зависности од самог места имплементације различит хардевер се користи, док у неким примерима је неопходна огромна прецизност система. Свакако ови системи могу радити у реалном времену што им пружа огромну предност у односу на технологију која се користила за решавање сваког од наведених места примене.

3. Контрола квалитета у производној индустрији

Контрола квалитета у производним процесима се може дефинисати као процес који подразумева идентификацију, и компарацију стања квалитета у току производње производа као и по самом завршетку реализације производње (Powell et al., 2021;). Идентификација подразумева процес мерења квалитета производа, док се компарација заснива на поређењу тренутног квалитета производа са оним који је потребно остварити (Powell et al., 2021;). Основне одреднице контроле квалитета су свакако карактеристике или својства квалитет као појам који по дефиницији представља параметре квалитета који задовољава потребе корисника и произвођача (Rodrigues et al., 2020; Powell et al., 2021; Ji et al., 2018). Карактеристике квалитета или његова својства имају одређени ниво вредности тек када су уско повезани са одрђеним захтевима купаца или корисника (Ventura et al., 2021). На квалитет једног производа утиче читав низ карактеристика квалитета које имају различит ниво значаја за купца (Rodrigues et al., 2020;). Са аспекта квалитета може се закључити да постоји разлика између производа који су намењени за примену у индустрији и производа широке потрошње. Карактеристике квалитета се могу исказати на два начина: квантитативно и квалитативно (Rodrigues et al., 2020;). Квантитативно карактеристике се односе на карактеристике квалитета које се могу исказати у континуалним величинама, најчешће се користе јединице SI система (међународни систем јединица). Квалитативно квалитет се може исказати номиналним и ординалним скалама, дискретним величинама као што су: иде-не иде, оцена на скали 1-10, тврдоћа 1-10 итд.

Основна улога система контроле квалитета на нивоу производне организације се може посматрати са више аспеката а то су (Powell et al., 2021;):

- Контрола квалитета спречава појаву производа ниског нивоа квалитета на тржишту, када се каже низак ниво квалитета то се односи на вредности карактеристика квалитета које нису задовољене а које су прописане стандардом.
- Ниво вредности карактеристика квалитета производа се применом контроле квалитета одржава у дефинисаном опсегу.
- Спровођењем контроле квалитета одржава се ниво вредности карактеристика квалитета за производе на излазу из производње финалних производа.

Када је реч о значају контроле квалитета може се посматрати са два аспекта: са стране корисника и са стране произвођача (Rodrigues et al., 2020;). Значај контроле квалитета са аспекта корисника се огледа у задовољењу потреба које производ или услуга треба да задовољи и који треба бити у дефинисаном опсегу (Lierić et al., 2014;). Са аспекта произвођача контрола квалитета представља један од услова успешног пословања, где задовољство корисника или купца производа директно утиче на пословање компаније (Inman et al., 2014). У зависности од потреба односно од прописаних мера као и саме индустријске области контрола квалитета се може вршити у различитим интервалима, према фазама технолошког процеса производње. Свакако једна од значајних индустрија за све људе је прехранбена индустрија која захтева контролу квалитета, и која директно може утицати на здравље људи. У оквиру прехранбене индустрије контрола квалитета обухвата контролу хигијене, исправности

производа, садржаја производа, изводи се у строго прописаним правилима (Topliceanu et al., 2015). Аутомобилска индустрија представља једну од најзаступљенијих с' обзиром да се број аутомобила константно повећава, да би се одржао квалитет аутомобила као и тржишна конкурентност неопходне су честе контроле како готових производа тако и свих компоненти које чине један аутомобил а које могу утицати на људе који их користе (Lixandru 2016; Rodrigues et al., 2020;). Према већ наведеном се може закључити да је контролу квалитета неопходно вршити у свим индустријским областима, да има висок значај како са аспекта здравља људи тако са аспекта основних потреба.

При процесу извршавања контроле квалитета неопходно је утврдити да ли компанија има уведене стандарде који дефинишу квалитет. Стандард ISO 9001:2015 представља стандард који се односи на управљање квалитетом, а квалитет производа представља један од најбитнијих показатеља конкурентске предности једне компаније у односу на друге. Креиран је за примену у свим индустријским областима, такође заснован је на критеријумима по којима се треба управљати приликом примене овог стандарда, односећи се како на квалитет самог производа тако и на квалитет производње истог као и на менаџмент (Sanz-Calcedo et al., 2015; Karkoszka 2017). Стандард ISO 9001 дефинише начин управљања квалитетом који треба пратити у супротном производи које је произвела нека компанија неће одговарати захтевима овог стандарда што ће довести до мањег профита као и незадовољства купаца (Sik et al., 2015; Fonseca et al., 2017). Примена овог стандарда доводи до смањења трошкова док позитивни утицај има на мотивацију, а као крајњи резултат примене је побољшање квалитета производа за шта је овај стандард и задужен. Такође доводи до позитивног утицаја на потрошаче односно купце или клијенте у смислу већег задовољства купљеним производом. Након извршене контроле квалитета неопходно је правилно прикупити документа која ће дефинисати квалитет а који је прописан овим стандардом, сам начин прикупљања докумената и читава методологија се може разликовати од компаније до компаније али је значајна чињеница да њихов резултат мора бити у складу са прописаним стандардом. Менаџмент систем за квалитет (енгл. Quality Management System - QMS/ISO 9001) општи је ниво који објашњава, веома јасним терминима, неопходне компоненте система за управљање квалитетом. Предност QMS-а је што не намеће, не дефинише како нешто да се уради, већ само захтева да предузеће усмери свој менаџмент систем да одговори на захтеве и да се фокусира на купце и тржиште (Rodrigues et al., 2020;).

Основни принципи пословања произилазе из захтева стандарда ISO 9001:2015 (Quality Management System - QMS/ISO 9001, ISO 9001:2015):

- Планирање пословних процеса и активности који утичу на квалитет заснива се на анализи, оцењивању и превенцији ризика и коришћења прилика,
- Процесни приступ у пословању, уз сталну оптимизацију и побољшавање пословних процеса и остваривања позитивних пословних резултата,
- Пружање услуга корисницима на ефективан и ефикасан начин, уз врхунски квалитет, по најповољнијим ценама и у договореним роковима,
- Задржавање постојећих и освајање нових тржишта,
- Модели пословања предузећа Усвајање и примена нових знања и подизање свести запослених, корисника и других заинтересованих страна о значају квалитета производа и услуга,

- Успоставање узајамно корисних и партнерских односа са испоручиоцима,
- Примена савремене рачунарске подршке пословању и побољшавање комуникације са корисницима и другим заинтересованим странама,
- Усклађеност пословања са законском регулативом, техничким стандардима и захтевима заинтересованих страна.

3.1. Тренутни начин контроле квалитета производа

Један од најчешћих начина контроле квалитета у малим и средњим компанијама у оквиру производне индустрије представља мануелна контрола квалитета која зависи од запосленог без обзира да ли је реч о визуелној контроли која се може односити на површине предмета производње или се ради о контроли састава материја. Коришћење ручних алата за визуелну контролу одузима доста времена и заснива се на провери сваког производног комада углавном се користе профил пројектори где је фокус на контурама или димензијама предмета, такође су присутни алати који служе за проверу отвора које запослени поседује када одлази до сваке производне машине и контролише одређен број производа. Када је реч о мануелној визуелној контроли она подразумева периодичност односно компаније најчешће немају велики број експерата у области квалитета сходно наведеном запослени који врше контролу квалитета периодично у току радног дана обилазе производне машине што даље доводи до податка да временски интервал у коме није вршена контрола на првој производној машини у односу на последњу може довести до великих губитака који ће се манифестовати производњом неусаглашених производа. Ово може имати огроман утицај на даљи ток производње ако се узме у обзир да је неопходна дорада производа наравно уколико је она могућа у супротном губици су знатно већи.

3.1.1. Дефиниција захтева за контролу квалитета

Из угла сектора за контролу квалитета потребно је обратити пажњу на парчињеница које се одосе на саму контролу квалитета производа у оквиру производне индустрије:

- Мануелна контрола квалитета захтева доста времена, што може резултирати да ће се на некој производној машини произвести већи број шкарта док запослени који врши контролу квалитета поново дође до исте машине.
- Уколико би смо желели да смањимо број неусаглашених производа и уколико се ради о већем броју производних машина у оквиру производне индустрије а контрола квалитета је мануелна неопходно је повећати број запослених који раде у сектору контроле квалитета, што даље повећава трошкове компаније.
- Производња неусаглашених производа директно утиче на профит компаније, неопходно је тежити смањењу производње неусаглашених производа као и производа који ће ићи на дораду.
- Ручни алати који су намењени за употребу у сектору контроле квалитета одузимају доста времена.

- Мануелна контрола квалитета директно зависи од обучености запосленог.
- За процес обуке нових запослених неопходно је време експерта из области квалитета који ће пренети специфично знање запосленима.

3.2. Преглед решења доступних на тржишту

Обзиром на доступност технологије на тржишту која се може огледати како у софтверу тако и у хардверу данас постоји низ компанија које производе системе за контролу квалитета засноване на компјутерској визији. Оно што свакако разликује понуђене системе је свакако висина цене за имплементацију система, сложеност система као и само место примене и услови који заправо дефинишу сложеност система. Фактори који свакако додатно утичу на висину потребних средстава су време одзива система обзиром да се ради о системима који се најчешће имплементирају у оквиру постојећих система време одзива система је у директној спрези са системом у који се имплементира, прецизност система коју треба остварити, начин складиштења података, количина података, начин комуникације машина и система.

Поред компанија које производе системе за контролу квалитета засновану на примени компјутерске визије постоји велики број истраживача који покушава да нађе адекватна решења за конкретне проблеме који се могу јавити у оквиру производне индустрије. Када је реч о проблемима они произилазе из самог захтева система односно његове сложености, највећи утицај свакако има време за које је потребно добити резултат, прецизност система, начин складиштења података. Наравно када се ради о малим или средњим компанијама циљ је креирати систем који ће наведене компаније моћи да имплементирају у своју производну индустрију а да сам период повраћаја средстава не буде превише дуг. Такође један од битних фактора је свакако предмет препознавања односно да ли се ради о препознавању контура, пребројавању производа, површинској неусаглашености, препознавању боје, текста итд. Површинска неусаглашеност може се видети на основу контура-димензија профила које недостају на производу у раду аутора (Akundi et al., 2021), наводи се начин препознавања контура производа као предуслов димензионе контроле самог профила. Аутор рада користи машинску визију за контролу квалитета засновану на димензионој контроли која заправо да би се извршила неопходно је детектовати контуре производа након чега је неопходно извршити калибрацију система према којој ће се рачунати величина производне позиције. Иза сваког детектовања коришћењем компјутерске визије стоји алгоритам који врши анализу слике, аутори се у већини случајева труде да унапреде постојеће алгоритме или креирају нове намењене за специфичне задатке. Такође у оквиру рада аутора (Frustaci et al., 2020) се може видети начин употребе компјутерске визије за процес контроле квалитета с тим што је основна примена у оквиру наведеног рада са фокусом на процес монтаже.

Пре свега први корак је углавном исти за све алгоритме и представља аквизицију слике дакле издвајање интересног подручја предмета. Други корак је процес издвајања контура са слике. Трећи корак је процес детекције контуре која је захтевана самим захтевом система у конкретном случају неопходно је издвојити кружницу, због утицаја осветљења-сенке која се може јавити у реалним условима примене често не можемо добити правилну контуру круга или контуру која је

захтевана. Да бих се издвојила контура која је неопходно то се може урадити на више начина углавном се користи разлика у боји обзиром да је слика конвертована у слику која садржи две боје црну и белу на основу њих и на основу највећих димензија круга у конкретном случају може се издвојити правилна кружница. Како је често у процесу монтаже неопходно издвојити центар кружнице или контуре која је захтевом дефинисана а што је даље неопходно због саме позиције у простору за монтажу може се на основу више тачака које се налазе на самој контури дефинисати центар.

3.3. Неусаглашеност производа

Да би се извршио процес контроле квалитета на основу захтева стандарда ISO 9001:2015 неопходно је утврдити тренутни број неусаглашених производа који се налазе у оквиру производне индустрије. Према дефиницији стандарда ИСО 9001 (Quality Management System - QMS/ISO 9001, ISO 9001:2015) „неусаглашеност представља не испуњавање једног или више захтева, ови захтеви се могу извести из стандарда, купца или било које друге интересне стране“. Неусаглашеност може постојати на било ком нивоу организације од производње до самог кадровског врха, ако појава неусаглашености расте или је на високом нивоу то може имати негативан утицај на читаву организацију што може довести до престанка рада компаније. Да не би дошло до тако високог нивоа неусаглашености постоје стандарди и стандардизација коју компаније користе што осигурава да сви раде по већ прописаним истим правилима (Lierþa et al., 2014;). Неусаглашени производи могу довести до губитака који могу настати интерним откривањем и екстерним (Powell et al., 2021;). Интерно откривање неусаглашених производа доводи до трошкова шкарта и трошкова дораде. У оквиру производне индустрије чест је случај да се неусаглашен производ може дорадити, дорада врло често подразумева корекцију димензија објекта док производ који се одлаже у шкарт се може искористити уколико се ради о обради метала (Hoyle 2009). Екстерни трошкови се односе на трошкове рекламације и трошкове замене производа као и на могућност губитка тржишта до које може довести честа појава неусаглашених производа.

3.4. Класификација неусаглашености

За успешно управљање неусаглашеностима производа неопходно је класификовати неусаглашености, као и дефинисање ограничења које наведене неусаглашености доводе код употребе производа, додељивање нивоа неусаглашености. Према наведеном нивоу неусаглашености могу бити:

- мања неусаглашеност - подразумева очигледно одступање од захтева, која нису обухваћена спецификацијама,
- већа неусаглашеност - обухвата већи број мањих одступања од захтева у спецификацијама,
- критична неусаглашеност - одступање од захтева које директно утиче на употребу производа са исходом немогућности употребе.

До повећаног броја неусаглашених производа у оквиру производње може доћи из више разлога најчешћи разлози појаве неусаглашених производа су: квар производне машине који може довести до даљег тока производње неусаглашених производа,

непажња запосленог или не знање који ради на одређеној машини може довести до производње неусаглашених производа, материјал који се користи за производњу одређеног производа може имати дефект, параметри на машини нису подешени како је потребно, свакако у оквиру производње иако немамо повећан број неусаглашених производа он је неизбежан (Singa et al., 2018;). Све ово може довести до појаве неусаглашености која може бити изражена у виду оштећења на производу а која могу бити унутрашња или спољашња у зависности од самог начина производње истог (Singa et al., 2018; Monteiro et al., 2019;). Најчешће су то одступања од предвиђених димензија производа, одступања тежине, порозност материја, огреботине или површинска оштећења, оштећења на фарбаним производима (Monteiro et al., 2019;). Приликом појаве неусаглашености у производњи неопходно је поступити према унапред дефинисаном поступку:

- Уколико је утврђена неусаглашеност производа на изласку из производне машине неопходно је зауставити даљи ток рада машине и спречити даљу производњу неусаглашених производа (Monteiro et al., 2019;),
- Проверити производе које је машина произвела у току радног дана, дефинисати количину неусаглашених производа као оријентационо време почетка производње неусаглашених производа (Gamme et al., 2019;),
- Запослени на крају радног дана предаје свом руководиоцу радни налог са дефинисаним бројем неусаглашених производа као и назначеним бројем усаглашених,
- Класификује усаглашене и неусаглашене производе, одлаже неусаглашене производе према дефинисаним правилима о месту одлагања неусаглашених производа које се разликује од места одлагања усаглашених производа, означава производе према дефинисаном начину означавања (Gamme et al., 2019;).

За дефинисање броја неусаглашених производа неопходно је спровести процесе у оквиру индустрије који се односе на неусаглашеност а то су: процес идентификације неусаглашености, процес управљања неусаглашеностима и процес детекције неусаглашености (Monteiro et al., 2019; Powell et al., 2021;). Процес идентификације неусаглашености производа је искључиво завистан од природе неусаглашеног производа и има директан утицај на даљи животни циклус производа који може имати два исхода тренутно-привремено повлачење производа или трајно повлачење производа (Gamme et al., 2019;). Након идентификовања неусаглашеног производа приступа се означавању производа које се може обавити на више метода неко од најчешће коришћених када је реч о производној индустрији је стављањем етикета или картона црвене боје (Powell et al., 2021;). На основу картона односно боје може се визуелно закључити да ли се ради о усаглашеним производима или неусаглашеним сходно томе зелене етикете или картони се користе за усаглашене производе. Са тим приступом се може лако-ефикасно на брз начин закључити статус производа, што доводи до класификације усаглашених и неусаглашених производа спречавајући њихово мешање и могућност да неусаглашени производ оде у даљи ток обраде или у крајњем случају на тржиште што може довести до великих губитака.

3.5. Управљање неусаглашеностима

Процес управљања неусаглашеним производима захтева долазак до одговора на питања која су директно повезана са неусаглашеношћу и односе се на: временски интервал који дефинише када је дошло до појаве неусаглашености производа, ко је надлежан односно ко је донео одлуку да је производ неусаглашен, тренутно стање производа који је неусаглашен, локација на којој је утврђено да је производ неусаглашен, тренутно спречити даљу употребу производа док се не утврди његов даљи ток. Да би се спречила даља ненамерна употреба неусаглашеног производа уколико је немогуће дорадити производ због његове природе и начина даље примене или производње неопходно је одмах приликом идентификовања проследити га на уништење на прописан начин (Hoyle 2009). Али уколико је могућа дорада производа приликом идентификације истог потребно је одложити производ на унапред дефинисану локацију и свакако означити локацију и производе.

У случају утврђивања неусаглашености производа може се поступити на више начина неки од њих су (Hoyle 2009; Powell et al., 2021;):

- дорада производа, уколико је могуће неусаглашен производ учинити усаглашеним,
- у зависности од нивоа неусаглашености преговори са корисником да прихвати производ онакав какав је или након преправке,
- прекласирање производа,
- одлазак производа у шкарт.

3.6. Процес детекције неусаглашености

Процес детекције-идентификације неусаглашености производа у индустријским системима се може дефинисати као процес утврђивања-детектовања одступања од спецификација и може се реализовати у различитим временским интервалима најчешће је то у време испитивања производа, током инспекције, на основу процеса идентификације производа креирају се извештаји о идентификованим неусаглашеностима (Donauer et al., 2015; Powell et al., 2021;). Након идентификације неусаглашености самог производа може се приступити идентификацији производног процеса који је довео до појаве неусаглашених производа, након успешне идентификације производног процеса или машине која се налази у производном процесу потребно је креирати извештај који садржи опис детекције након креирања извештаја неопходно је поступити у складу са већ дефинисам процедурама (Ligarski, 2012; Powell et al., 2021;). Може се користити за утврђивање унутрашњег дефекта или спољашњег, унутрашњи дефект се односи на пукотине или појаву рупа у одливку док се спољашњи дефект односи на неправилности на површини производа који могу бити у виду огреботине, појаве различитих боја, облика производа који може настати услед цурења лива уколико се ради о процесу ливења челика (Koucha et al., 2021;), недостатака текста уколико потребно да постоји, удубљења.

3.7. Савремене методе за детекцију неусаглашености

Пре свега методе које се користе за детекцију неусаглашености се могу поделити на: методе које се користе за детекцију дефекта која се налази на површини производа и методе за детекцију дефекта унутрашњих недостатака. Детекција спољашњих недостатака се углавном односи на детектовање мрља, разлике у боји, дефекти који се могу наћи на површини производа, огреботине. Унутрашња детекција подразумева дефекте који се могу наћи у производу и то су углавном рупе у одливку, пукотине, структура материјала. У процесу дефинисања унутрашњих неусаглашености производа може се користити више различитих метода неке од метода које се данас примењују су: ултразвучна, методе зрачења, док се за детекцију спољашњих неусаглашености могу користити метода машинског вида, машинско учење (Yang et al., 2020). Ултразвучна метода се примењује за детекцију унутрашњег дефекта чија величина се утврђује на основу правца ширења ултразвучног таласа као и јачине сигнала који се пропуштају кроз производ у делу где се налази празан простор таласи слабе и на тај начин се може видети величина дефекта и да ли постоји у производу (На et al., 2021). Недостатак ове методе су фактори који могу утицати на квалитет добијених података а то су одабир одговарајуће сонде, квалитет инструмента који прикупља сигнале. Методом зрачења уз коришћење гама зрака који се пропуштају кроз производ може се утврдити да ли се у производу налазе дефекти (Cасасе et al., 2021).

Традиционалне методе детекције површинских неусаглашености се углавном заснивају на томе да се детекција површинских неусаглашености обавља ручно односно да зависи од запосленог који је задужен за контролу квалитета, ослања се на искуство запосленог на поменутој позицији и његово знање и вредновање на начин који је њему дефинисан. Ослања се на визуелну контролу где запослени долази до места производње одређеног производа и на основу своје визуелне контроле може рећи да ли производ задовољава неопходне критеријуме. Наравно уколико се ради о одступањима која се односе на димензије производа користи ручне алате за утврђивање тренутних димензија или примену профил пројектора, скенера димензија, ручни алати за утврђивање центричности (Powell et al., 2021;). Ручни алати имају високе цене, откривање дефекта са њима је поуздано и са великом прецизношћу али јако споро, одузима доста времена и захтева константну присутност запосленог који ће искључиво вршити контролу квалитета. Метода машинске визије се користи за визуелну контролу квалитета на површини производа или на тешко доступним местима, за детекцију неусаглашености користи примену камере, компјутера, алагоритама (Yu et al., 2019).

У поређењу са другим методама које се користе за спољашњу детекцију неусаглашености производа машинска визија је у знатној предности када се узме у обзир одзив система-време детекције неусаглашености, чињеница да када се једном интегрише систем и када се унесу неопходни параметри систем је независан не захтева интеракцију запосленог, док се недостатак компјутерске визије може посматрати на више начина брзина детекције неусаглашености у знатној мери зависи од квалитета опреме, комплексности алгорита за утврђивање неусаглашености (Oqaidi et al., 2021, Sivkov et al., 2020, Steenkamp et al., 2017, Chai et al., 2021). Све чешће визуелна контрола која се заснива на машинској визији спрегнута је са роботиком, дубоко учење (енгл. Deep learning), управљања индустријским уређајима преко интернета (енгл. IIOT), Индустрије 4.0., уграђеним системима, сензорским системима, дистрибуираним базама података, интернет мрежама, рачунарство у облаку (енгл. Cloud), додатно, велики број микроконтролерских платформи и актуатора (Andres et al., 2021, Oks et al.,

2021, Khan et al., 2020, Shavetov et al., 2019). У оквиру ове докторске дисертације биће примењена метода компјутерске визије због самог места примене и дефинисане неусаглашености.

4. Контрола квалитета у производној индустрији заснована на компјутерској визији

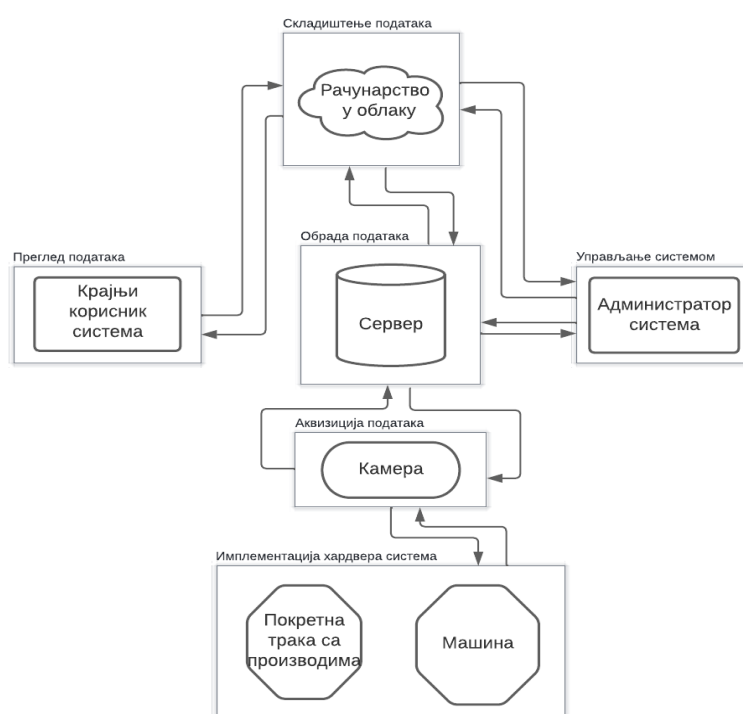
Свака област индустрије има потребу за процесом контроле квалитета, у зависности од предмета-области производње примењују се различити типови и начини контроле квалитета. Свакако контрола квалитета у малим и средњим компанијама се углавном заснива на мануелном начину контроле где запослени врши процес контроле квалитета и где се резултат контроле заснива на искуству запосленог, обучености, физички посматрано од периодичности контроле која зависи од обима производње. Што знатно може утицати на крајњи квалитет производа као и профит који компанија остварује продајом својих производа. Производи који нису дефинисаног квалитета не да они стварају трошкове својим процесом производње него значајно могу утицати на време које је утрошено за њихову производњу, време дораде производа уколико је она могућа, време запосленог, трошкове одржавања производних машина. Како се компаније развијају и шире своје производне капацитете, расте потреба за већим бројем експерата у области квалитета који ће бити задужени за квалитет производа, захваљујући развоју технологије могућа је примена савремених софтверских и хардверских решења који могу смањити трошкове процеса контроле квалитета, смањити потребу за већим бројем експерата, смањити трошкове које може изазвати прекомерна производња неусаглашених производа, од решења издваја се употреба компјутерске визије. Наравно свака технологија има и својих ограничења али и предности, ограничења компјутерске визије се могу посматрати са аспекта да се она може користити искључиво за површинске неусаглашености, условно зависи од спецификација рачунара на коме је покренут систем, предности су многобројне време процеса је јако кратко и може се имплементирати на производној машини и вршити процес контроле брже него што би то могао запослени, након обуке система он је самосталан није му неопходан запослени, доступност података, флексибилност система. Ова технологија је заснована на употреби хардвера и софтвера, хардвер укључује примену камера које врше аквизицију података у зависности од квалитета примењене камере ће завити и сам резултат, рачунар на коме се врши обрада подата и управљање системом од чијих спецификација зависи брзина рада система врло често је јако значајна обзиром да индустрија захтева све краће време обраде, посматрано са софтверске стране тачност система зависи од алгоритама који се користе за обраду података што такође значајно може утицати на брзину рада система. Обзиром да се технологија развија и да цене хардвера падају, он постаје доступнији самим тим је могуће израдити пројекте који ће вршити контролу квалитета са знатно нижим средствима које могу применити мале и средње компаније.

У оквиру ове доктроске дисертације развијен је систем за контролу квалитета где је фокус имплементације након процеса ливења, за потребе тестирања рада система коришћени су реални подаци из производне индустрије. Обзиром да се систем заснива на површинској неусаглашености идентификација се врши на основу видљивих оштећења полупроизвода који су у фази након ливења или су отпремљени до машине за монтажу производа. Иако данас постоји велики број система и истаживача који

укључују примену компјутерске визије у процес контроле квалитета ова област је још увек недовољно истражена и примењена, развијена решења су често развијана за специфичну употребу и захтевају огромна средства за њихову реализацију. Када се узме у обзир све наведено потреба за развојем и употребом ове технологије у области контроле квалитета постоји као и чињеница да сваки допринос истраживања може омогућити низ предности.

4.1. Концепт предложеног решења

Циљ је развити систем за контролу квалитета који се може имплементирати у производну индустрију а који је заснован на примени савремених технологија који су заправо стубови индустрије 4.0 (компјутерска визија, рачунарство у облаку енгл. cloud, интернет стварима преко интернета енгл. Internet of Things). Неопходно је обезбедити флексибилност система, управљивост система, минимално време обуке, обрада, анализа, визуелизација података и складиштење података. Систем треба да функционише у реалним времену, уз што нижу цену олакшану уградњу хардвера. За функционалност система најзначајнији хардверски део је камера која врши аквизицију слике. Неопходно је да камера буде фиксно постављена на машини и да нема физичке сметње као што су вибрације и недовољно светлости у супротном их треба отклонити. Представљени систем је тестиран у реалним условима рада, где је било могуће уочити све предности и недостатке развијеног и имплементираног система у оквиру производне индустрије. На слици 4.1. се може видети концепт предложеног система.



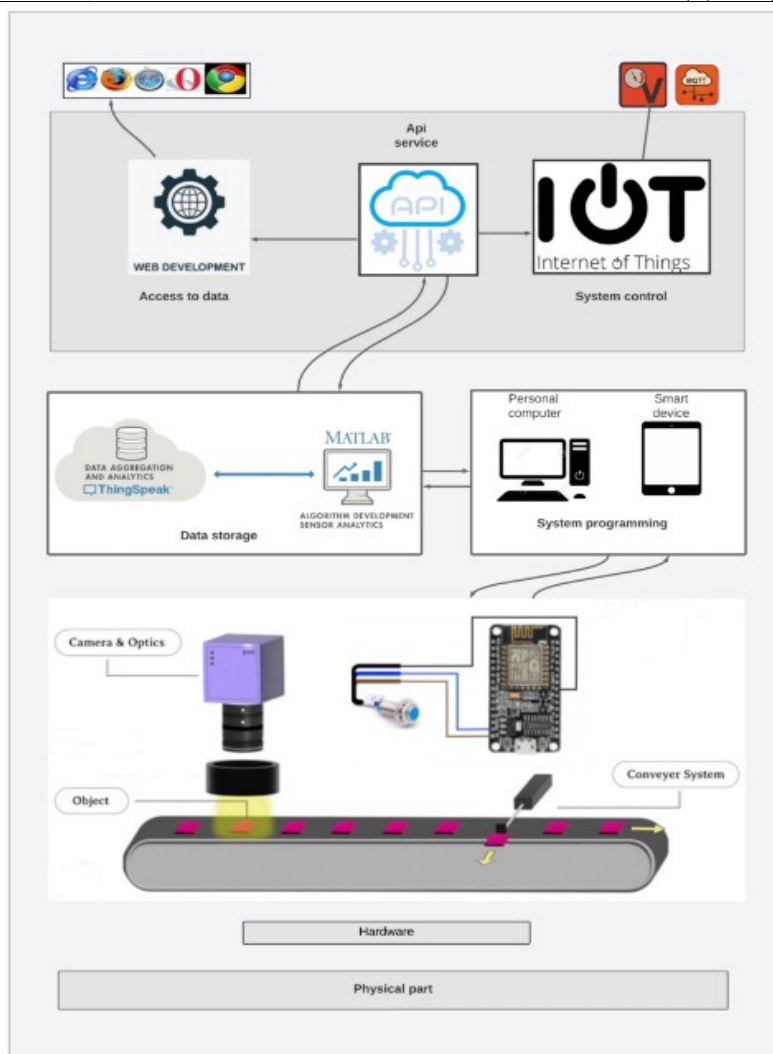
Слика 4.1. Концепт система за контролу квалитета применом компјутерске визије

Извор: Аутор

Као што се може видети на слици 4.1. концепт предложеног система се заснива на имплементацији камере у оквиру производне машине или изнад покретне траке која преноси полупроизводе или готове производе. Камера врши аквизицију слике у тренутку када је производ на покретној траци. Слика се даље шаље ка серверском рачунару на коме се извршава алгоритам компјутерске визије и целокупан софтвер који је заслужан за детекцију неусаглашености. Подацима и систему који се налази на преносивом рачунару приступа корисник система односно администратор. Обрађени подаци прикупљени помоћу система се смештају на cloud где се поред скаладиштења врше визуелизације и додатна обрада података. Администратор система уколико је потребно омогућава приступ запосленима који поседују налог односно запосленима којима су додељене одређене привилегије за приступ систему. Такође систем на основу детектованих производа у зависности од њиховог статуса извршава класификацију на неусаглашен и усаглашене.

4.2. Архитектура система контроле квалитета

Систем за контролу квалитета који је заснован на примени компјутерске визије а који је развијен и представљен у оквиру ове докторске дисертације се може поделити на неколико слојева архитектуре. Најнижи слој ове архитектуре представља хардвер система који је имплементиран у производној индустрији. Други слој архитектуре се базира на употреби неуронских мрежа и алгоритама за идентификације неусаглашености производа. Трећи и највиши слој архитектуре овог система је заснован на алатима за складиштење, обраду и визуелизацију података. На слици 4.2. је представљена архитектура система.



Слика 4.2. Архитектура система компјутерске визије

Извор: Аутор

Као што се може видети на слици 4.2. најнижи слој архитектуре представља хардверски део система чинећи уграђен систем у једну од производних машина. У конкретном случају може се видети трака са производима који на себи има имплементирану камеру која ће вршити аквизицију слике производа. За одређивање тренутка аквизиције слике задужена је микроконтролерска платформа која на основу активације сензора препознаје локацију производа и шаље сигнал серверу који у комуникацији са камером преузима слику. На другом слоју архитектуре налази се софтвер који је покренут на рачунару и комуницира са нижим слојем архитектуре односно хардвером у циљу прикупљања података и контроле производне јединице. Такође на овом слоју подаци се складиште употребом рачунарства у облаку као и матлаба. Највиши слој ове архитектуре представља слој који је задужен за анализу података, визуелизацију података и могућност за управљање системом односно успостављањем реакције која се може проследити до најнижег слоја архитектуре. На овом слоју користе се апликативни сервиси за приступ анализираним подацима и приступ интернет стварима који могу управљати системом. Овај слој је задужен за

4.3. Хардвер система контроле квалитета

Посматрано са аспекта примене хардвера у оквиру студије случаја која је приказана у овој докторској дисертацији основу чини мрежна камера. Dahua модел IPC-HFW5541T-ASE-0360B је мрежна камера 5MP. На слици 4.3. се може видети камера која је коришћена за процес аквизиције слика неопходних за рад система.



Слика 4.3. Камера коришћена за аквизицију слика

Извор: Аутор

На основу слике 4.3. се може видети поред камере и сам носач који се користи за монтажу камере. Првенствено је предвиђен за монтажу на зид или стуб, обзиром да је ово мрежна камера а не индустријска. Камера са слике 5. је коришћена у оквиру лабораторије Центра за квалитет Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, и за потребе тестирања рада алгорита система монтирана је на стуб. Обзиром да је реч о мрежној камери пружа могућност повезивања на интернет LAN конекцијом или се може директно повезати са рачунаром. Ова камера нема могућност повезивања на бежични интернет, он често може бити непоуздан када је реч о индустријском простору. У конкретном случају камера је повезана са прекидачем преко кога добија интернет конекцију. Произвођач камере има и сопствени софтвер за надзор и конфигурисање камере. Након конфигурације потребних параметара а који се односе на интернет адресу, камери се може приступити са рачунара који је коришћен за програмирање као и извршавање софтверског дела развијеног кроз студију случаја. Индустријске камере су знатно мањих димензија и могу се лакше имплементирати на индустријске машине. Такође могу поседовати посебан фокус који се користи како би приближио додатно посматрану позицију. На слици 4.4. се може видети пример индустријске камере без додатног фокуса.



Слика 4.4. Пример индустријске камере

Извор: Аутор

Предност примене камере која је представљена на слици 4.4. у односу на мрежне камере опште намене се огледа само у димензијама. Представљена камера је знатно мањих димензија што јој омогућава имплементацију на мање доступним местима. Такође камере опште намене се могу користити у индустријском окружењу на местима где њихова величина нема утицај на примену. За извршавање софтвера коришћен је преносиви рачунар Acer Aspire3, најзначајније спецификације овог преносивог рачунара су: RAM 8Gb, Процесор AMD Ryzen 2.10 GHz, SSD 250 GB, Quad-core. Наведене спецификације преносног рачунара ће утицати на брзину обуке система. Поред наведеног хардвера неопходно је обезбедити интернет конекцију како би опрема комуницирала и како би било могуће складиштење података на cloud. Није било неопходно користити мрежну камеру већ је са аспекта функционалности система могуће бити повезан на камеру каблом. Међутим мрежна камера пружа могућност да рачунар или платформа која ће обрађивати податке не мора бити у непосредној близини производне машине. Што може имати низ предности најзначајније се огледају у бољим перформансама рачунара, изолованост од фактора који владају у индустрији, може се користити рачунар који компанија поседује. Недостатак се огледа у поузданости интернет конекције. За процес тестирања рада алгоритма овакав начин примене је био довољно добар, за имплементацију у производној индустрији софтверски део система који ће бити представљен у оквиру наслова 4.4.2. би био реализован на некој од платформи. Рачунар је изабран и због брзине обуке система као и бољих хардверских перформанси које може обезбедити у односу на платформе, што након обуке модела пружа могућност покретања обученог модела на некој од платформи. Још један од разлога овог начина примене представљеног система је његова могућност примене у оквиру Центра за квалитет компаније где би се наведени систем користио за процес детекције неусаглашености више различитих производа као и више типова неусаглашености и где се подаци архивирали.

Поред камере да би се обезбедила комуникација машине и софтвера који је задужен за идентификацију неусаглашености неопходна је употреба микроконтролерске платформе или плц-а. Ово је значајно са аспекта тренутка када је потребно преузети слику производа са производне машине или самог производног процеса. У оквиру ове докторске дисертације за наведене потребе коришћена је NodeMCU микроконтролерска платформа која је намењена студентима и истраживачима. Пре свега ова платформа је заснована на употреби ESP8266 чипа који пружа могућност бежичне конекције на интернет мрежу што је био и један од разлога употребе. За програмирање ове микроконтролерске платформе се користи Arduino IDE окружење које је засновано на C++ програмском језику уз употребу библиотека које

обезбеђују комуникацију микроконтролера са сензорима. Предност ове платформе су мале димензије хрдвера, имплементиран чип за интернет конекцију што пружа могућност покретања сервер и клијент стране. Недостатак ове платформе се огледа у мањем броју дигиталних и аналогних улаза односно излаза рад на малом напону обзиром да ради на 5 воти једносмерног напона док се у производној индустрији примењује углавном 24 волте. Представљени недостаци заправо не морају бити недостаци уколико се испланира употреба платформе. На слици 4.5. се може видети NodeMCU V3 платформа.



Слика 4.5. NodeMCU V3 платформа

Извор: Аутор

Платформа представљена на слици 4.5. има 16 дигиталних пинова и само један аналогни, док су пинови за напајање 3.3 волте и један излаз на 5 волти. На себи поседује: интегрисан сериски чип CH340G, Flash Memory: 4 MB, SRAM: 64 KB. За пренос кода који се ради у Ардуино окружењу неопходна је УСБ конекција са рачунаром, након преноса кода платформа може независно радити али неопходна је употреба екстерног напајања.

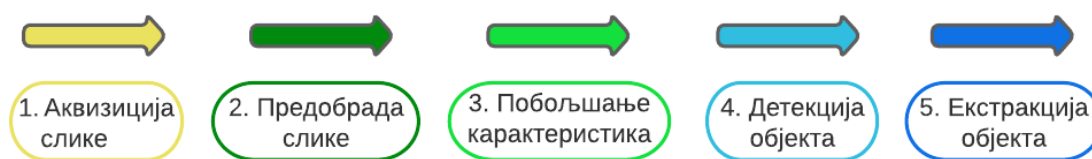
4.4. Логичка функционалност система

Идеја предложеног решења произилази из захтева као и хипотеза ове докторске дисертације, где је фокус на развоју система за контролу квалитета употребом компјутерске визије. Како данас постоји већи број истраживача који развијају решења заснована на компјутерској визији за примену у разним областима. И на основу резултата других истраживача пошло се са идејом да је могуће развити систем за контролу квалитета са основном применом система у области производне индустрије. Предложено решење се заснива на примени алгоритама за идентификацију објеката, неуронским мрежама, употреби хрдвера који подразумева примену основног хрдверског елемента овог система који је заправо камера, програмирање као и извршавање софтверског дела система се извршава на преносивом рачунару. Систем је обучен на подацима са реалним проблемима који се могу пронаћи у области

производне индустрије и систем развијен за детекцију неусаглашености производа на производима-полупроизводима који су предмет производње једне компаније. Сходно наведеном систем се обучава на скупу података за одређену индустријску области и зависи од производне индустрије, једном обучен алгоритам се може примењивати искључиво за обуком дефинисани проблем стога је развијени и обучени систем јединствен. Свакако то не искључије могућност поновне обуке система на другом скупу података што даље чини систем прилагодљив, уколико компанија престане производњу производа који коришћен у процесу обуке систем се може обучити за други производ. Поред идентификација неусаглашености производа систем се може обучити за процес селекције-класификације производа, бројање. Такође систем поред идентификације неусаглашених производа а на основу излазних података пружа могућност добијања података о укупној ефикасности опреме и машина за шта је коришћен матлаб. Подаци се складиште у облаку у реалном времену и може им се приступати независно од платформе која се користи. У оквиру коришћеног cloud система постоји могућност употребе интернет ствари односно управљања системом. Складиштени подаци се односе на број неусаглашених производа што је био полазни циљ ове докторске дисертације, број производа који су шкарт, укупан број производа који је произведен у оквиру једне смене, укупна ефикасност опреме и машина, квалитет, расположивост опреме и машина, време застоја у току једне смене.

4.5. Софтвер система за контролу квалитета производа

Софтверски посматрано систем је развијен употребом до 90 процената python програмског језика који заправо представља један од објектно оријентисаних језика. Предност примене python програмског језика у односу на друге објектно оријентисане језике вишег нивоа се између осталог огледа у употреби библиотеке или програмских додатака који овом програмском језику пружају могућност једноставније интеграције на различите платформе које ће бити независне од самог оперативног система који је покренут на самим уређајима. Свакако модуларни приступ и сама могућност имплементације више различитих платформи као и више различитих оперативних система у један пројекат даје предност овом програмском језику за решавање проблема који су презентовани у овој докторској дисертацији. Велики број аутора који се бави истраживачким радом из области компјутерске визије примењује у својим пројектима већи број различитих система и баш због потребе за спрегом и комуникацијом између њих примењују python програмски језик. Са друге стране посматрано окружење које се користи за програмирање као и сам програмски језик не утиче много на перформансе компјутера који се користи за програмирање за разлику од других програмских језика. Поред python програмског језика за употребу компјутерске визије била је неопходна употреба opencv библиотеке која представља спрегу програмског језика и окружења, алгоритама који се могу имплементирати у оквиру пројекта. Основана примена opencv библиотеке се огледа у процесу прикупљања-аквизије слике, праћење објеката на видеу у реалном времену, препознавање објеката, контрола димензија објеката, препознавање боје објекта, препознавање текста на слици, контрола квалитета. На слици 4.6. се може видети процес детекције објекта на слици употребом компјутерске визије (Islam khan et al., 2020).



Слика 4.6. Процес детекције објекта на слици употребом `opencv` библиотеке (Islam khan et al., 2020).

Као што се може видети на слици 4.6. процес детекције објекта на слици употребом `opencv` библиотеке подразумева употребу пет основних корака:

- 1) Аквизиција слике – Подразумева употребу хардверског дела система који се пре свега односи на камеру која прикупља слике, контролну јединицу односно компјутер који врши обраду слике
- 2) Предобрада слике - Складиштење прикупљених слика на дефинисану локацију, припрема за даљи рад са системом.
- 3) Побољшање карактеристика – Односи се на карактеристике слике као што су осветљеност слике, сметње које се најчешће односе на замућеност слике.
- 4) Детекција објекта – Подразумева процес селекције контура објекта на слици у зависности од самог рада алгоритма ће бити извршена селекција контура.
- 5) Екстракција објекта – Након селекције контура често је неопходно издвојити селектоване контуре објекта са слике како би се он могао даље уз употребу алгоритма поредити за задатом сликом или већ издвојеним објектом на основу чега се могу добити валидни подаци.

4.5.1. Аквизиција слике

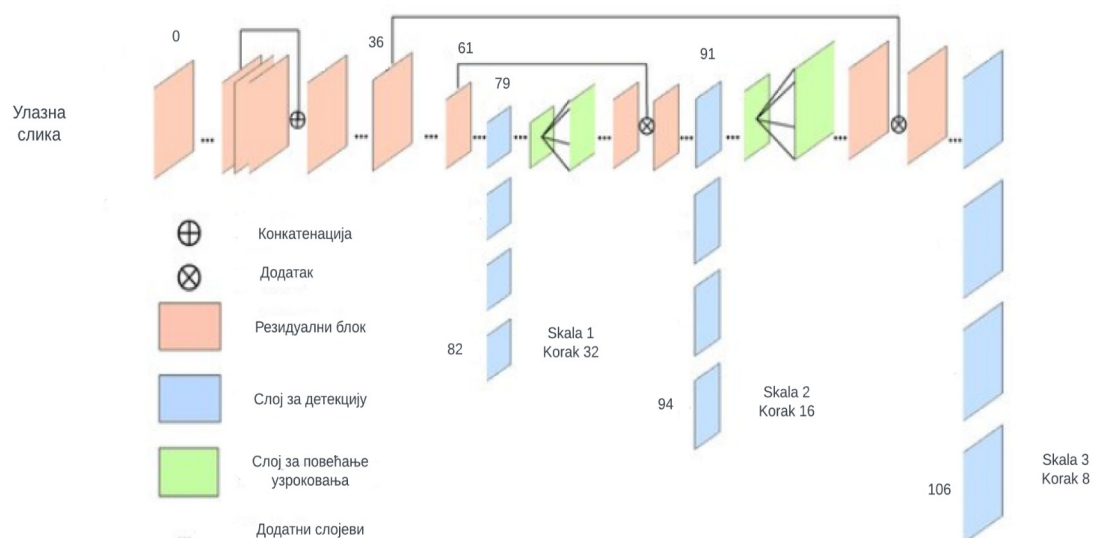
Процес аквизиције слике представља један од основних процеса који је неопходан за функционисање система који је развијен у оквиру ове студије случаја. Представља аквизицију слике посредством камере, микроконтролерске платформе, рачунара, интернет мрежа. Неопходно је поставити камеру на локацију на којој ће се вршити прикупљање слике, носач камере причврстити за фиксни део машине. Обезбедити добар фокус камере тако да екстерни фактори не утичу на саму слику, вибрације такође могу утицати на прецизност слике, осветљење је неопходно да има дневну светлост. За рад камере је неопходно обезбедити напајање у зависности од произвођача камере разликује се и јачина струје у конкретном случају камера је повезана на 9 волти једносмерне струје. Након монтаже камере неопходно је обезбедити интернет конекцију, када је камера повезана може јој се приступити употребом софтвера `Config Tool`, и подесити порт као и интернет адресу. Ова два податка су значајна за комуникацију између камере и лаптопа која ће се вршити у софтверу који је развијен овом студијом случаја. На основу дефинисаних параметара алгоритам ће знати на коју локацу ће слати податке односно са које локације ће примати податке. Процес се извршава на следећи начин микроконтролерска платформа у одређеном тренутку у зависности од софтвера даје сигнал рачунару да може преузети од камере слику, камера прикупи слику путем мреже шаље слику назад компјутеру. Где се даље врши обрада слике или се складишти на одређену локацију, поступак се понавља у зависности од даљег развоја софтвера. Предност примене `web` камере се огледа у флексибилноости врло брзо се може преместити на другу локацију где се може

примењивати за контролу квалитета, наравно неопходно је обезбедити приступ интернету.

4.5.2. Имплементација Yolo V3 алгоритма, CNN, TensorFlow

Данас постоји низ алгоритама који се могу користити за детекцију једног или више објеката на слици или видео снимку један од алгоритама је и Yolo алгоритам. Основна предност примене овог алгоритма се огледа у брзини детекције припада алгоритмима који раде у реалном времену. Развијено је више верзија овог алгоритма које се могу користити у зависности од сложености слике, ресурса рачунара итд. За саму детекцију овај алгоритам користи обучени модел који се заснива на скупу класа и слика које су коришћене за обуку система. У зависности од самог пројекта и његовог захтева могу се користити већ обучени модели и класе на скуповима података који се могу видети у свакодневном животу. Ти скупови подата се могу преузети са интернета и углавном се односе на детекцију аутомобила, људи, животиња и предмета из свакодневне употребе. Али ако је потребно детектовати објекат који није у свакодневној употреби односно неки предмет који не садржи обучени скуп података, потребно је модел обучити на сопственом скупу података за објекат специфичне намене.

Yolo алгоритам се заснива на конволуционим неуронским мрежавама за детекцију објеката на сликама или видео снимцима у реалном времену и представља конволуциону неуронску мрежу (Shi et al., 2019, Jiang et al., 2021). Фокус овог алгоритма је на класификаторима који имају за циљ обраду слика или низова података како би препознали одређени објекат или патерн на слици. Концепт овог алгоритма се заснива на једном прегледу целе слике у потрази за одређеним објектом и он то ради у реалном времену што му пружа предност у односу на друге алгоритме (Shi et al., 2019). То функционише на следећи начин: Yolo алгоритам добија улазне параметре на основу којих је обучен најзначајнији параметри се односе на класе објеката, прецизних података о ознакама на слици и улазну слику на којој је потребно детектовати објекат. Затим дели улазну слику у регионе или области које пореди са дефинисаним класама у оквиру обуке система и чува податке са највишим бодом. На слици 4.7. се може видети архитектура YOLO V3 алгоритм.



Слика 4.7. Архитектура YOLO V3 алгоритма (Jiang et al., 2021)

Као што се може видети на слици 4.7. YOLO V3 алгоритма на улазу добија слику коју дели у регионе или области, ти региони чине мрежу квадрата, представљајући мрежу која се састоји од пиксела у дефинисаном формату. Посматрано са другог аспекта YOLO V3 алгоритм се састоји од слојева који се користе за екстракцију модела и детекцију објеката, укупно има 106 слојева од којих су 53 слоја намењена екстракцији модела података док су преостала 53 слоја намењена детекцији објеката на слици (Jiang et al., 2021). Такође на слици се могу видети додатна карактеристике као што су (Jiang et al., 2021, Shi et al., 2019):

- Конкатенација – представља операцију спајања више података са различитих слојева неуронске мреже пружајући могућност добијања прецизнијих података или већег броја података. Овде долази до спајања тензора, формирају се дужи тензори који садрже веће скупове података из различитих слојева, захваљујући овој функционалности алагоритам може прикупљати податке из више слојева. Тензори се углавном користе за рад са векторским системима ако посматрамо једну слику као тродимензионалну где се прве две димензије односе на величину слике у смислу ширине и висине изражене у пикселима док трећа вредност представља боју.
- Додатак – односи се на додатке у смислу додатних слојева неуронске мреже који побољшавају брзину рада алгоритма или прецизност. Могу се односити на разна прилагођавања слојева мреже који се могу односити на боју, величину објекта као и величину слике итд. Као што могу довести до повећања брзине могу имати и негативан утицај односно супротан ефекат уколико се не примене правилно. Најчешће се користе у специфичним пројектима или пројектним задацима где стандардне поставке алгоритма нису довољне.
- Резидуални блок – представља једну од основних компоненти неуронских мрежа, развијени су за потребе учења мреже и како би се превазишли проблеми губљења података. При великом броју слојева губи се прецизност алгоритма,

долази до губитака одређених података употребом резидуалног блока података са слоја који се обрађује се додаје на почетак следећег слоја чиме се смањује грешка као и губитак података

- Слој за детекцију – један од најзначајних слојева где се врши детекција објекта на слици у односу на класе и кординате ознака које су дефинисане у процесу обуке алгорита. Основи циљ слоја за детекцију је утврђивање присуства објекта, прецизно утврђивање локације објекта као и величине објекта.
- Слој за повећање узроковања – Основна функција слоја за повећање узроковања је повећање димензија слике, услед промена резолуције улазне слике може доћи до губљења детаља на слици. Овај слој повећавањем просторне резолуције може довести до детектовања објеката малих величина који променом резолуције нису били видљиви.
- Додатни слојеви – представљају слојеве који се могу додати на основну архитектуру алгорита у циљу повећања ефикасности алгорита а када је реч о захтевним моделима који стандардном архитектуром не би дали довољно добре резултате. Подразумева примену додатних резидуалних блокова као и употребу додатних слојева што доводи до веће дубине неуронске мреже.

YOLO V3 алгоритм је развијен за детекцију објеката у три размере где имамо велике објекте на сликама, средње објекте и мале објекте, за њихову детекцију најзначајнији су слојеви 82, 94 и 106. Када је реч о малим објектима они се детектују на 82-ом слоју мреже, за објекте средње величине је одговоран 94 слој мреже док се мали објекти детектују тек на 106 слоју мреже, ово не утиче значајно на брзину алгорита већ на прецизност. Основни улазни параметар који алгоритам добија поред слике је представљен величинама које се односе на број слика, ширину и висину слике изражену у пикселима обзиром да сваки алгоритам који се користи за детекцију објеката и ради са сликама представља величину слике у пикселима, број канала. Пример који представља број канала се може посматрати са аспекта слике која је представљена као РГБ где је свака боја представља један од канала у конкретном случају имамо три канала. Још један од значајних података је да је слика најчешће резолуције 416 x 416 пиксела постоји више разлога најзначајнији је тај да је систем обучен са сликама димензија 416 x 416, уколико се покуша детекција објекта на већим сликама алгоритам ће аутоматски променити величину слике на дефинисану (Shi et al., 2019).

Други разлог је подела слике на мрежу која се састоји од 13 x 13, 26 x 26, 52 x 52 дакле величина слике мора бити дељива са наведеним бројевима без остатка. Наведени бројеви представљају мрежу сачињену од квадрата пиксела где је један квадрат ширине 13 пиксела и висине 13 пиксела, такође ово се понавља у свим наведеним односима. Након проласка кроз целу мрежу коју је формирао алгоритам вредност која се добија на основу компарације мреже са означеним објектима на слици представља вероватноћу да је центар објекта баш у том квадрату мреже. Вредности са највишим вредностима се узимају као центри објекта након чега се селекује детектовани објекат. Све ово се понавља за све три величине објекта. Вредности истинитог догађаја односно вероватноће да је центар објекта у баш том квадрату је исказана бројем 1 док се нула додељује квадратима у којима нису центри.

Процес припреме података за обуку

Уколико се YOLO V3 алгоритм користи за детекцију објеката из свакодневног живота није потребно вршити обуку алгоритма веће се могу преузети унапред обучени модели. Ти скупови података садрже чак и до 80 класа објеката као што су аутомобили, људи, животиње итд. За обуку тих модела коришћене су слике 416 x 416 пиксела, најчешће преузете из неке од база које се могу пронаћи на интернету, то су велике базе подата које садрже огроман број слика. Ако се алгоритам примењује за детекцију објеката које нису уобичајени као из горе поменутих база, реч је о индустријским објектима, производима или полупроизводима за које није вршена обука алгоритма неопходно је исту извршити. За саму обуку неопходно је испунити неколико корака који ће бити представљени у наставку текста.

Обука YOLO V3 алгоритма захтева следеће кораке:

- Аквизиција података за обуку
- Дефинисање класа објеката
- Дефинисање граничних оквира око објеката
- Припрема унапред обучених тежина алгоритма

Аквизиција података за обуку алгоритма представља први и основни корак самим тим и најзначајнији, представља корак аквизиције велике количине података у конкретном случају слика. Обзиром да је за практични део ове докторске дисертације потребно у индустријском окружењу дефинисати на сликама неусаглашеност производа неопходно је из саме индустрије прикупити податке. Неопходно је напоменути да обај скуп података-слика треба садржати слике са конкретном неусаглашеношћу једне позиције сликане из више разлиитих углова, због боље обуке и добијања бољих података. Пре свега неопходно је издвојити производе који су неусаглашени у сарадњи са службом задуженом за квалитет, неопходно је дефинисати неусаглашеност на производима. Након селекције потребно је прикупити велики број слика ово је могуће урадити на више начина употребом телефона или поставити камеру изнад производне линије. Свакако представља мануелни процес који захтева доста времена. Количина прикупљених података ће утицати на тачност алгоритма, што већи број података обука ће бити боља самим тим и резултат алгоритма. Следећи корак се односи на дефинисање класа објеката, где једна класа представља „тип-врста“ неусаглашености.

У конкретном случају тип неусаглашености односно класе се може односити на саму неусаглашеност која може бити у виду огреботина, недостатака материјала, појаве мехура на ливу итд. ово је у директној спрези са самом производњом тип производње ће утицати на саму неусаглашеност односно у зависности од начина израде производа да ли је то ливење, бризгање, штампање производа или нека друга технологија зависиће и сама неусаглашеност. У оквиру ове студије случаја коришћен је скуп података из области ливења где се могу уочити неусаглашености у виду мехура, рупа на позицији. Да би се подаци користили за обуку система неопходно је након прва два корака креирати граничне оквири око неусаглашености на сликама, то се може урадити на више начина и уз употребу више различитих софтвера. За рад на дефинисаним скупом подата коришћен је софтвер vott (енгл. Visual Object Tagging Tool). Vott је софтвер који

је развила компанија Microsoft за потребе означавања објеката на сликама или видео записима који ће се даље користити за обуку алгоритама компјутерске визије. За обуку YOLO V3 алгорита је неопходно припремити велики скуп података односно слика објеката које желимо препознати на новим сликама. Након припремљених података неопходно је исте сортирати по класама које се најчешће односе на назив објекта или у конкретном случају на неусаглашеност. Када имамо по фолдерима класификоване слике неопходно је поставити ознаке за сваку од класа и за сваку од слика у оквиру једне класе. За дефинисање ознака (енгл. bounding box) се може користити више различитих софтвера у оквиру којих је потребно да се увезу слике, креирају класе и ознаке затим је неопходно податке конвертовати у одговарајући формат за обуку. У оквиру табеле 4.1. се може видети спецификација коришћене опреме.

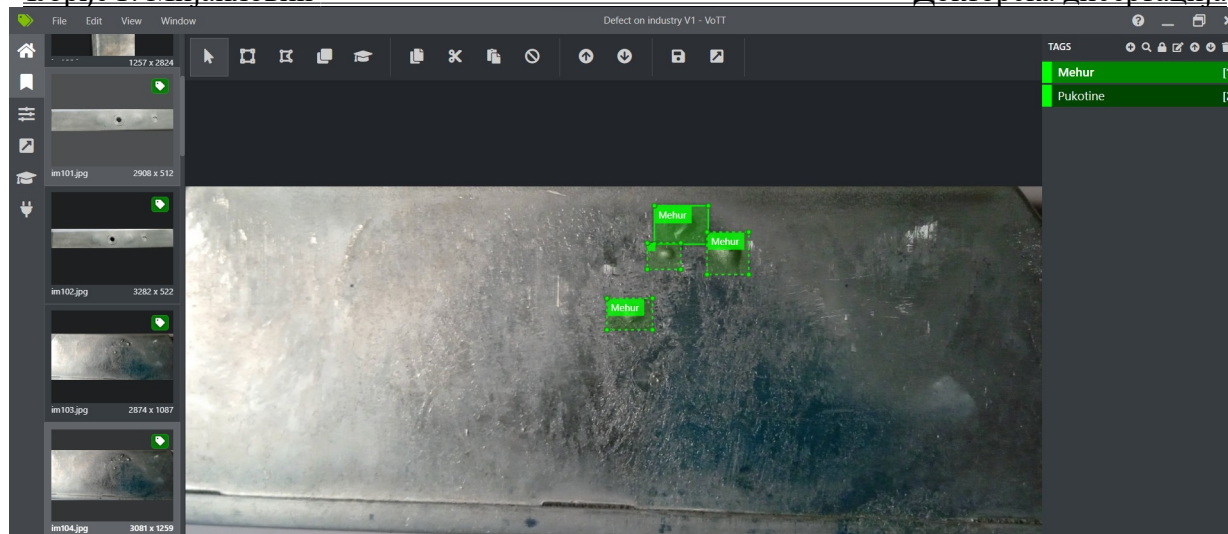
Табела 4.1. Спецификација коришћене опреме

Конфигурација коришћене опреме		
1.	Централна процесорска јединица	AMD Ryzen 5 3500U
2.	Унутрашњи простор	8GB
3.	Графичка процесорска јединица	AMD Radeon Vega 8 Graphics
4.	Хард диск	SSD 250GB
5.	Оперативни систем	Windows 11
6.	Софтвер	TensorFlow, Keras, YoloV3, Python, Cloud

Као што се може видети на основу табеле 4.1., коришћени преносиви рачунар има просечне хардверске спецификације, сходно томе процес обуке захтева више времена. Софтер је представљен у даљем тексту ове докторске дисертације.

Опис рада у vott софтверу и ознаке на конкретним сликама.

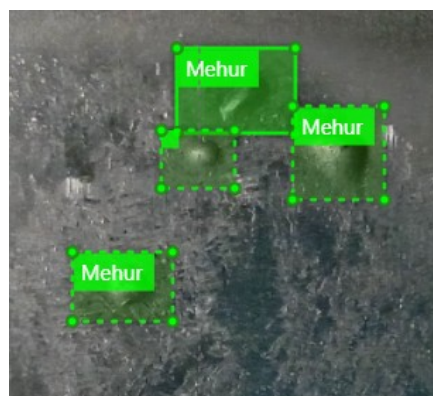
Први корак се односи на креирање пројекта где је неопходно дефинисати класе, фолдер који садрже слике. Након дефинисања класа и додавања слика може се кренути са означавањем неусаглашености на сликама. На слици 4.8. се може видети пример дефинисања ознака и класа у софтверу vott.



Слика 4.8. Пример дефинисања ознака и класа у софтверу vott

Извор: Аутор

На слици 4.8. се може видети пример дефинисања класа и ознака у софтверу vott за једну од слика која је коришћена у процесу обуке модела. Као што се може видети на левој страни слике 4.8. могу се видети слике које се налазе у дефинисаном фолдеру, са десне стране су дефинисане класе за обуку које смо креирали при креирању пројекта. У централном делу се налази слика на којој је потребно поставити оквире изнад ње се налазе алати за ознаку као и за додатне функционалности. Када се одабере слика на којој је потребно поставити граничне оквире то се ради превлачењем преко неусаглашености након чега је неопходно доделити класу одабиром из десног менија. На једној слици се може наћи један или више граничних оквира као и једна или више класа. На слици 4.9. се могу видети гранични оквири класе мехур.



Слика 4.9. Гранични оквир класе мехур

Извор: Аутор

Поступак дефинисања граничних оквира који се може видети на слици 4.9. је потребно поновити за сваку слику из базе. Ово представља мануелни процес који захтева доста времена које је повезано са количином података које је неопходно обрадити на овај начин. Када се читав процес заврши са ознакама неопходно је податке конвертовати у одговарајући формат за обуку. Овај формат ће садржати податке који се

односе на класу, величину ознаке као и локацију ознаке на слици, слике са ознакама и слике без ознака, локацију слике са ознакама. Све ово ће извести на следећи начин креираће тхт. датотеку који ће садржати податке који се односе на локацију слике, класу, величину ознаке, позицију ознаке, назив слике. Креираће тхт. датотеку са називима класа које су коришћене, фолдере који садрже слике са ознакама и слике без ознака.

Да би се припремили подаци за обуку система неопходно је извезене податке конвертовати у одговарајући формат. Неопходно је фајл сместити на локацију пројекта и дефинисати путање и аргументе како би се конверзија извршила. У прилогу на слици 4.10. се може видети функција `get_parent_dir` чијом употребом се долази до путање родитељског директоријума односно до нивоа који је изнад радног, такође поставља се путања за импортовање функције за конверзију. Дефинисање путања и аргумената подразумевају путање до директоријума који ће садржати слике за обуку, слике за тренинг, текстуални фајл који је добијен обрадом података у `vott` софтверу, експортираним подацима као и путањи до `csv` фајла. Припрема података која се може видети у прилогу на слици 4.11. подразумева идентификацију јединствених ознака као и мапирање ознака у нумерички облик. Затим се подаци конвертују у `yolo` формат и генеришен се фајл са класама објеката. Након овако припремљених података може почети процес обуке неуронске мреже.

Процес обуке система

Сам процес обуке неуронске мреже за алгоритам `Yolo` је развијен и доступан је корисницима, међутим за саму обуку система и његову специфичну примену потребно је извршити додатна прилагођавања у самом процесу обуке. У наставку текста ће бити представљен процес обуке који је прилагођен специфичној намени система који је развијен у оквиру ове докторске дисертације. Поред дефинисаних класа и ознака а које су добијене конверзијом из софтвера `VOTT`, да би се покренуо процес обуке неопходно је преузети са интернета већ обучене тегове на основу њих и сопствених података покренути процес обуке модела. Неопходно додатна подешавања се односе на: број класа, слојева архитектуре алгоритма, дефинисање путања до припремљених података и модела који ће се користити у процесу обуке. У процесу обуке алгоритма била је неопходна примена библиотека које ће омогућити дубоко учење као и развијање неуронске мреже на основу које ће се добијати резултати алгоритма, примењене су `TensorFlow` библиотека и `Keras` библиотека. Ове библиотеке су већ развијене и није неопходно њихова корекција већ је неопходно обратити пажњу на верзију библиотеке која ће бити примењена.

Библиотеке које су неопходне у процесу обуке се могу видети на слици 4.12. која се налази у прилогу, поред наведених библиотека дефинишу се основни директоријуми који садрже додатне фајлове-податке који су неопходни у процесу обуке. `TensorFlow` библиотека је заснована на брзом рачунању великих бројева као и математичких операција над великим скуповима података уз употребу хардвера који се заснива на примени централне процесорске јединице и графичке картице. Брзина обраде ових скупова података уско је везана са наведеним хардвером. Сама библиотека нуди опцију избора хардвера који ће се користити приликом обраде података. Обзиром да је најзахтевнији део софтвера у смислу времена извршавања сама обука из разлога огромне количине података које је потребно обрадити, препоручује се употреба графичких картица обзиром да је на тај начин обрада података бржа. Међутим тачност

података који се добијају након обуке не зависе од избора хардвера који је коришћен при истој већ он може утицати на време које је потребно рачунару да обради податке. За разлику од TensorFlow библиотеке Keras библиотека је задужена за виши ниво обуке неуронске мреже заснована је на моделима, евалуацији неуронске мреже, управљању слојевима неуронске мреже. Представља оквир за дубоко учење који је изнад TensorFlow библиотеке пружа могућност кориснику прилагођавање мреже. Ове две библиотеке раде у спрези из разлога веће ефикасности као и флексибилности система. Да би се покренуо процес обуке ове две библиотеке добијају улазне параметре који се односе на припремљене и обрађене податке у `vott` софтверу а који се односе на класе и ознаке објеката на сликама. Улазни подаци за ове библиотеке је модел података који садржи текстуални фајл са класама, текстуални фајл са ознакама, већ обучене тегове који се могу преузети са интернета, фолдер са сликама, `csv` фајл. Текстуални фајл који садржи класе је заправо фајл који је креиран у оквиру софтвера `vott` и односи се на класе објеката које ће бити коришћене у тестирању алгоритма. Текстуални фајл са ознакама је такође креиран у софтверу `vott` приликом дефинисања граничних оквира на сликама око објеката и он садржи тачну локацију слике или путању до слике, локацију ознаке објекта на слици, класу односно број који се односи на класу обзиром да може постојати велики број класа користи се број а који је даље повезан са називом класе у оквиру текстуалног фајла који садржи називе свих класа. Затим је неопходно дефинисати путање до физичких локација података то се може видети у прилогу на слици 4.13. Сходно наведеном уколико би код покренули на неком другом рачунару не би радио све док полазна подешавања као и путање, подаци нису на одговарајућим локацијама које су дефинисане у оквиру развијеног пројекта. Након дефинисаних путања неопходно је извршити иницијализацију модела који је представљен на слици 4.14. у прилогу. Постављају се тежине модела, или се креира нови модел, постављају се ознаке-гранични оквири око објеката који се идентификују, постављају се класе објеката. Након свих поставки података за тренирање модела може се покренути тренирање замрзнутих слојева затим се може проћи кроз све слојеве мреже. Може се покренути процес тренирања модела који се може видети на слици 4.15. у прилогу. Преузимају се подаци који су постављени за улазне параметре као што су ознаке на сликама, класе, величине ознака затим се пролази кроз замрзнуте слојеве мреже. Све епохе које се односе на проласке кроз мрежу се снимају, као излаз тренираног модела добија се тежине за развијени модел који се чува и који ће бити коришћен у систему за идентификацију неусаглашености. Фолдер са сликама садржи све слике које ће бити коришћене приликом обуке система, одређен број слика ће бити коришћен за валидацију добијених података, тај број обично садржи 10% од броја слика који садржи база за обуку. У табели 4.2. се могу видети подаци који су коришћени при обуци система, као и одзив система.

Табела 4.2. Подаци коришћени при обуци система

	Укупан број слика	Усаглашени производи	Неусаглашени производи	Број слика класе мехур	Број слика класе пукотина
Подаци за обуку	110	30	80	40	40
Валидација обуке	11	3	8	4	4
Резултати обуке	11	3	8	4	4

На основу табеле 4.2. може се видети да је у процесу тренирања модела коришћено укупно 110 слика од којих је 10% коришћено за процес валидације система. Од укупног броја слика 30 су представљале усаглашене производе, док је преосталих 80 представљало неусаглашене производе, за сваку од класа по 40 слика. Након процеса валидације добијени су резултати алгорита који подају коректно детектовану сваку класу као у тачан број усаглашених производа.

4.5.3. Идентификација неусаглашености производа

Након прилагођавања параметара обуке може се покренути обука алгорита, као што је наведено обука ће у зависности од количине података, хардверских перформанси рачунара параметара обуке трајати и пар сати. Као излаз обуке алгорита добија се обучени тагови на скупу података који је припремљен и обрађен овим радом. Најзначајнији подаци за употребу на обученом скупу су обучени тегови, фајл који садржи називе класа, фајл са параметрима обуке, модели. Обучени модел садржи две класе мехур и пукотина, намењен је за примену у оквиру производне индустрије, производња полупроизвода од силицијума, након ливења полупроизводи иду даље у монтажу где се могу уочити неусаглашености уколико контрола квалитета то није учинила раније што може представљати губитке. Да би се спречили губици овај систем се може поставити непосредно након процеса ливења на одвајање позиција од ливачке гравуре или запослени може користити систем на једној локацији где ће донети различите полупроизводе и проверити да ли они на себи садрже неусаглашеност.

Алгоритам који је развијен у оквиру ове докторске дисертације на основу улазних параметара формира излазне који су у виду текстуалних података, складиштени на облаку и може имати одзив система у виду заустављања даљег тока производње неусаглашених производа.

Као улазне параметаре узима следеће податке:

- Сliku које се преузима у реалном времену са камере која је постављена изнад производне линије
- Обучене тегове
- Класе објеката
- Ознаке објеката

Сходно наведеном може се закључити да су основни процеси аквизиција слике, комуникација са производном машином у смислу одређивања тренутка када се може преузети слика и обрада слике. На основу дефинисаних процеса подељен је и софтверски део ово система на:

- Сервер за преузимање података – Неопходно је на рачунару који ће вршити обраду података покренути сервер који ће преузимати податке од клијента.
- Дефинисање импулса за преузимање слике – Уз употребу уграђених система обезбеђује се комуникација производне машине и сервер стране овог пројекта. На основу импулса који је генерисан од стране производне машине дефинише се тренутак преузимања слике.
- Обрада података – Представља главни део софтвера развијеног система, у овом делу софтвера врши се процес идентификације неусаглашености производа на основу обуке система и на основу улазних параметара.

Сервер за преузимање података

Основни улазни параметар за рад развијеног система је слика која је преузета у реалном времену непосредно из производног окружења односно са произведене машине. Један од начина преузимања слике је да је рачунар повезан са камером и налази се на самој производној машини док други начин је слање односно преузимање слике са камере која је умрежена што значи да се сама камера налази на машини док је рачунар физички удаљен. Ово пружа већу мобилност односно прилагодљивост система. Али је неопходно дефинисати тренутак када се слика може преузети са машине, свака производна машина има циклус производње који је дефинисан од стране произвођача машине, технологије, фактора који могу утицати на време рада. Према томе да би се обезбедила бежична комуникација машине, камере и рачунара неопходна је имплементација харвера односно употреба уграђених система.

За преузимање фрејма односно слике са камере у процесу тестирања рада система коришћена је микроконтролерска платформа NodeMCU. Ова микроконтролерска платформа пре свега обезбеђује комуникацију производне машине и рачунара. Обзиром да је потребно у одређеном тренутку преузети слику са машине потребна је спрега машине и рачунара како би рачунар знао када може преузети слику и наставити са обрадом. У овом случају најчешће се на крају производног циклуса налази сензор ако посматрамо једну машину као производну јединицу, у овом случају када је позиција завршена активира се сензор. Сигнал са сензора преузима микроконтролерска платформа која сигнал шаље серверу у овом случају рачунару који преузима слику затим је обрађује на основу система који је развијен и дефинише да ли

је производ усаглашен или не усаглашен, на основу чега се дешава повратна реакција система и складиштење подата. За цео процес који је укратко дефинисан потребно је мање од две секунде. Наравно платформа која је коришћена намењена је студентима и истраживачима у реалним условима рада који подразумевају индустријско окружење користио би се ПЛЦ (програмабилни логички контролер) или нека друга микроконтролерска платформа. Још један од разлог употребе микроконтролерске платформе се заснива на самом процесу, систем да би радио брзо и ефикасно захтева већу процесорску снагу. Сходно наведеном систем се мора извршавати на рачунару како не би био поред машине довољно је да на машини буде постављена камера и платформа која ће вршити комуникацију. У прилогу на слици 4.16. се може видети део кода покретање сервера на рачунару. Покреће се сервер затим се постављају параметри камере који чине корисник, лозинку, интернет адресу и порт. Додељује се величина слике и поставља се бројач који ће бројати слике. Затим је неопходно креирати функцију за проверу статуса сензора део кода намењен овој функцији је представљен на слици 4.17. која је у прилогу. На самом почетку дефинише се функција која ће вршити проверу статуса сензора од кога зависи када ће бити преузета слика са камере. Затим се поставља глобална променљива `sensor_activated` како би ова вредност могла да се користи у целом пројекту. Проверава се статус сензора и исписују одговарајуће поруке за његов тренутни статус који је послат од стране клијента. Неопходно је креирати функцију која ће бити задужена за преузимање фрејма односно слике функција је представљена на слици 4.18. у прилогу. Преузимање фрејма-слике од клијента односно производне машине је најбитнији део система, брзина преузимања и складиштења слике може утицати на брзину одзива система. Проверава се величина слике, додељује се назив и путања односно локација на којој ће слика бити сачувана. На дефинисаној локацији се налази фолдер од кога ће главни део софтвера који је задужен за идентификацију неусаглашености објеката анализирати слике.

Дефинисање имулса за преузимање слике

За разлику од сервер стране пројекта клијент страна је задужена за комуникацију са хардвером и даљи пренос података серверу. Обзиром да је за потребе тестирања рада система коришћена NodeMCU платформа програмирање је рађено у Ардуино ИДЕ окружењу. Пре свега основна намена ове платформе је идентификација одговарајућег тренутка када се може преузети слика производа. Платформа је повезана са сензором који се налази на производној машини и идентификује крај циклуса производње. Употреба ове платформе полази од идеје мобилности хардвера, како би систем могао једноставно да се у најкраћем временском интервалу премести на другу производну машину уколико је то потребно и обучи за даљи рад. Конекција ове платформе на интернет је бежична, што је свакако предност када је реч о мобилности. Платформа шаље сигнал рачунару, рачунар у даљој комуникацији са камером преузима слику и ради процес идентификације неусаглашености. Да би се овај процес реализовао и обезбедила комуникација наведеног хардвера неопходно је покренути клијент на овој платформи што је представљено на слици 4.19. у прилогу. Пре поставке мреже морају се примени неопходне библиотеке за комуникација затим је потребно поставити SSID (име бежичне мреже дефинисан од стране корисника) као и password (шифра дефинисана од стране корисника). Дефинисање дигиталног улаза за сензор и покретање клијента. Да би процес реализовао неопходно је дефинисати функцију `Void Setup`. Ова функција је представљена на слици 4.20. у прилогу. Позива се само једном и то сваки пут када се стартује микроконтролерска платформа. Врши се иницијализација

серијске комуникације, конекција на бежичну интернет мрежи и серијски се исписују параметри мреже.

Void loop функција се извршава у бесконачној петљи обезбеђујући константну проверу статуса сензора представљена је на слици 4.21. у прилогу. Након добијања сигнала да је сензор активан позива функцију `sendHttpRequest ()`. HTTP (енгл. Hypertext Transfer Protocol request) је протокол који је намењен комуникацији између сервера и клијента. Овај протокол садржи неколико основних елемената који обезбеђују комуникацију а то су:

- Метода – Односи се на врсту захтева може бити GET (преузимање података од сервера), POST (слање података серверу), PUT (ажурирање података). У оквиру ове клијент стране коришћен је HTTP GET за добијање информација од сервера.
- URI (енгл. Uniform Resource Identifier) – представља идентификацију ресурса на серверу којима клијент жели управљати или добити, користи се за проверу стања сензора.
- HTTP – Постоји већи број протокола који се могу користити за комуникацију између клијента и сервера да би комуникација била успешна неопходно је да обе стране користе исте протоколе, у оквиру наведеног примера коришћена је HTTP/1.1 верзија протокола.
- Заглавље (енгл. Headers) – може садржати додатне информације које клијент шаље ка серверу, заглавље у овом примеру није било потребно користити.
- Тело захтева (енгл. Request Body) – употребом POST и PUT захтева клијент може слати податке серверу, тело захтева у овом примеру није било потребно користити.

Након слања захтева `sensor_activated` се поставља на false како би након поновне активације могао послати промењено стање. Функција `void sendHttpRequest ()` која је представљена у прилогу на слици 4.22. има основно задужење слање података серверу употребом HTTP GET захтева. Пре свега функција покушава да успостави TCP/IP конекцију ка серверу са дефинисаном IP адресом и портом. Затим се шаљу захтеви серверу где се дефинише метода и путања, поставља се Host заглавље. Чита се одговор од сервера и исписује се у циљу провере и праћења комуникације. Затвара се конекција уколико је дошло до грешке при конекцији исписује се порука.

Идентификација неусаглашености

Процес идентификације неусаглашености производа представља главни део развијеног система где је основни фокус на идентификацији неусаглашености на основу прикуљених параметара. Према томе потребно је поред самог рада алгоритма обезбедити потребне ресурсе као што су библиотеке, обучене тегове, класе, ознаке објеката, слику у реалном времену. На слици 4.23. у прилогу се може видети импортовање неопходних библиотека за процес идентификације неусаглашености, односе се на процес обуке мреже, али у овом случају користиће се за процес идентификације неусаглашености производа. Наведени део кода представљаја основна подешавања у оло алгоритма овде није основни фокус на њима али је неопходан за даљи рад. У прилогу на слици 4.24. се може видети дефинисање директоријума-путања до улазних параметара алгоритма оне су јединствене за развијени систем. Обухватају

путање до улазних података као што су обучени тегови, модел, ознаке, класе, слике односно фолдер где је складиштена улазна слика односно слика која ће бити коришћена у процесу идентификације. Такође дефинисање излазних параметара који се односе на путање до фолдера са резултатима алгоритма који се у овом случају складиште локално односно на лаптопу на коме је покренут развијени систем, складиште се слике са оквирима и фајл који садржи податке о класама, локацији слике, називу слике и локацији граничних оквира. Неопходно је креирати путање за складиштење излазних слика што је представљено на слици 4.25. у прилогу. Такође неопходно је дефинисати путању за оквире на сликама.

Један од значајних делова кода је представљен на слици 4.26. у прилогу представља уоо детектор који подразумева преузимање „anchors” за дефинисане путање, anchors су вредности које се односе на величину оквира означених објеката на сликама. Иницијализација dataframe-а у конкретном случају представља дводимензионални скуп података. Обзиром да се креира празан скуп садржаће наведене податке. Затим се дефинише Yolo детектор са одређеним параметрима као што су:

- путања до обученог модела,
- путања до датотеке са вредностима anchors-а
- путања до датотеке са именима класа објеката који могу бити детектовани
- поузданост детекције
- број GPU-а (графичке картице које се користе за рад система) који ће бити коришћен
- величина слике која се користи за детекцију

Затим се приступа фајлу који садржи називе класа објекта што се може видети на слици 4.27. у прилогу. Исписује се назив класе за сваки од идентификованих објеката као и њихов број. Креирају се функције за праћене промена у директоријуму и покретање детекције објеката на сликама што се може видети у прилогу на слици 4.28. Функција `get_image_paths(folder)` која прима путању до директоријума и враћа листу путања до слика унутар тог директоријума. Листа се сортира према времену последње измене у опадајућем редоследу. Функција `detect_objects(image_path)` врши детекцију објеката користећи обучени TensorFlow модел. Проверава се валидност слике на дефинисаној путањи уколико је слика валидна и може се отворити систем враћа `True` у супротном `False` и исписују се поруке о грешци. Проверава исправност слике се може видети у прилогу на слици 4.29., помоћу функције `is_valid_image` ако је слика исправна наставља се даље извршавање кода. Учитава се слика са путање `image_path`, затим се иницијализује `YoloModel`. Позива се функција за детекцију објеката `detect_object` са одговарајућим аргументима који укључују инстанцу модела, путању до слике, параметре за чување слике као и префиксе за чување.

Потребно је преузети параметре слике што се може видети у прилогу на слици 4.30. врши се обрада предикције детектованих објеката са одговарајућим информацијама. Дефинише се димензија слика односно висина, број канала, креира се `DataFrame` објекат из предикције детектованих објеката. Спајају се информације о слици са сваком предикцијом појединачног објекта. Свака предикција садржи листу

података која садржи „xmin“, „ymin“, „xmax“, „ymax“, „label“, „confidence“, затим се додају величине слике на крају сваке листе. На основу детектованих предикција креира се табела са релевантним информацијама и чува се у csv фајлу. Приступа се претходно сачуваним подацима у csv фајлу како би могли даље да се обрађују што се може видети у прилогу на слици 4.31. Креира се листа података, затим се пролази кроз редове csv фајла и проверава се да ли има бар 8 елемената, вредност са индексом 7 се додаје у листу вредности.

Приказ података је представљен у прилогу на слици 4.32. исписује податаке у конзоли односно локалном испису који служи за надзор односно проверу рада система. Сортирају се подаци у листи вредности затим се исписује највећа вредност, проверава се да ли је вредност детекције већа од 0.25 уколико јесте исписује се да је производ неусаглашен. Такође исписује се путања до слике са резултатима односно граничним оквирима детектованих објеката. Приказује се слика са неусаглашеним производом, у супротном се исписује да је производ усаглашен. Уколико је листа вредности празна односно у току рада система није било неусаглашених производа исписује се порука да је листа празна односно да су сви производи усаглашени.

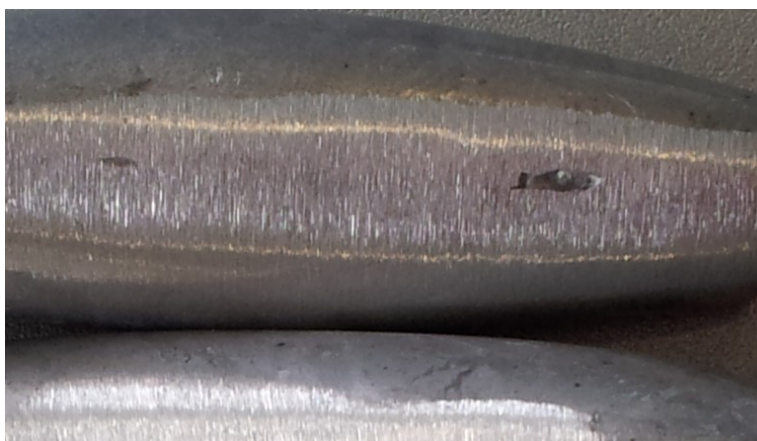
Класа MyHandler која је представљена на слици 4.33. у прилогу је задужена за праћење промена у фолдеру. Ово се односи пре свега на локацију на коју сервер који је представљен раније у тексту складишти слике. Када се слика појави у фолдеру класа идентификује промену у фолдеру и наставља процес идентификације неусаглашености. Конструктор класе поставља почетне вредности атрибута self.folder на путању фолдера иницијализује празан сет. Метода is_valid_image проверава да ли је датотека на путањи валидна слика, покушава да је отвори ако је слика валидна враћа True у супротном враћа False. Метода on_created проверава да ли је слика у фолдеру већ обрађена и да ли је валидна слика, уколико су услови испуњени покреће детекцију објекта. Ово се ради како би се избегло поновно процесирање над истим сликама. На слици 4.34. у прилогу се могу видети најзначајнији параметри за праћење нових слика, поставља се путања до фолдера где сервер складишти слике. Наведена путања је везана за физичку локацију фолдера на рачунару на ком је покренут систем, у случају примене софтвера на другом рачунару неопходно је прилагодити путање. Креира се инстанца класе MyHandler, креира се observer који ће пратити промене у фолдеру користећи event_handler, observer.schedule поставља параметре за праћење фолдера. Поставља се бесконачна петља која континуирано прати фолдер, детектује нове слике које се појаве и извршава детекцију објеката над тим сликама.

Излазни параметри система

Систем који је развијен овим радом има као излаз неколико параметара који се могу даље користити, најзначајнији параметри су:

1. Слика са ознакама објекта-класе-неусаглашености производа са називом класе обзиром да можемо имати више различитих класа у оквиру једног пројекта односно у оквиру једне слике
2. CSV фајл који садржи податке који се односе на резултат алгоритма односно, назив слике, назив класе, локација слике, координате граничног оквира
3. Складиштење података на cloud

У зависности да ли ће систем аутоматски у реалном времену прикуљати и обрађивати податке или ће корисник система насумично „ручно“ проверавати производе се мало разликује начин рада алгорита. У случају да је камера постављена изнад производне линије и да се у реалном времену прати квалитет производа, алгоритам би на основу одређеног сигнала складиштио слику и затим проверавао да ли се ради о неусаглашености производа, овај процес се константно понавља докле год је испуњен услов да имамо производа на производној линији или докле год то није софтверски другачије дефинисано. Затим податке складишти на cloud где се даље врши њихова обрада. Други случај примене овог система се односи на појединачну контролу производа напосебне у сектору управљања квалитетом прикупи у производњи узорке производа донесе их у центар за квалитет где је постављена камера и систем затим сваки од производа проверава на овај начин да ли је усаглашен или не, може се на овај начин користити и за обуку запослених у сектору управљања квалитетом. Свакако у оба случаја излазни подаци су дефинисани на исти начин, с тим што се у другом случају примењују информативно и неће зауставити даљи ток производње већ то мора урадити запослени. На слици 4.35. се може видети неусаглашен производ класе пукотина.



Слика 4.35. Неусаглашен полупроизвод класе пукотина

Извор: Аутор

На основу слике 4.35. се може видети да је класа неусаглашености полупроизвода са слике типа пукотина. Класом пукотина дефинисано је издубљење материјала које је настало из више различитих разлога као што су недостаци у процесу ливења, физичка оштећења настала након ливења услед квара машине или непажње запослених. Уколико би овакав производ даље отишао у процес фарбања пукотине би биле још уочљивије и свакако би истакле још више неусаглашеност производа. Обзиром да је реч о недостатку материјала односно мањој маси није нужно да би полупроизвод наравно уколико је мања неусаглашеност имао велики утицај на склоп производа, али то свакако зависи од намене полупроизвода, функционалности у склопу. Свакако посматрано са аспекта квалитета овакав производ утиче на задовољство односно незадовољство купаца. Поступак у случају детекције неусаглашености је исти у свим случајевима за сваку од класе обзиром да је тип производње исти у конкретном случају за две класе које су коришћене у овој докторској дисертацији реч је о ливењу производа, производа од силумина. Предност ливења материјала као и бризгања пластике је што се неусаглашен производ може поново користити уколико се претопи и на тај начин поново направи. Наравно ово има огроман утицај на цену производа. С

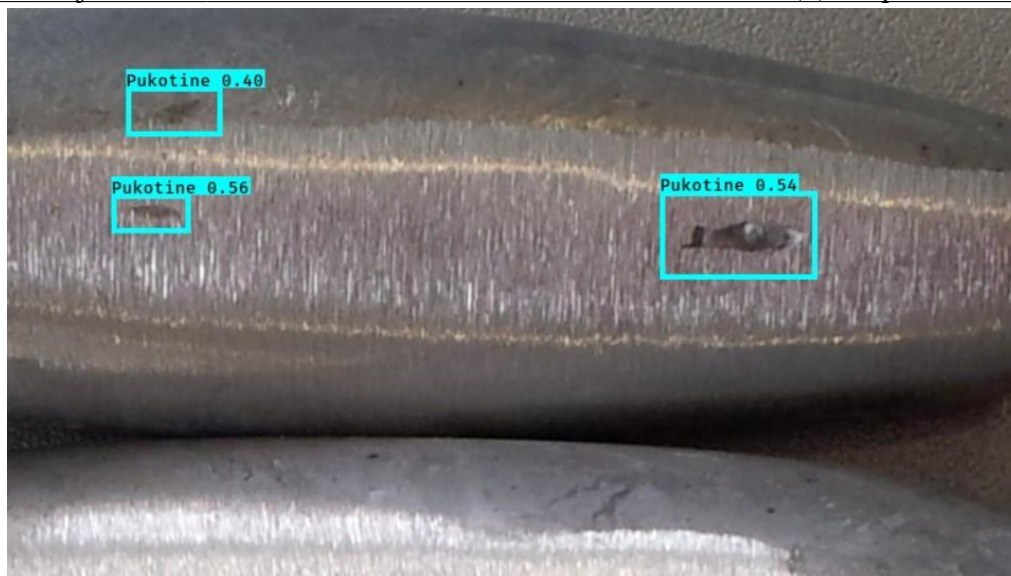
друге стране погрешно одштанцан производ или погрешно обрађен производ неком врстом обраде се једино може продати као секундарна сировина, јако мали број случајева је када се он може дорадити. Свакако правовремено заустављање производње неусаглашених производа утиче на број неусаглашених производа као и на финалну цену производа. На слици 4.36. је представљен неусаглашен производ класе мехур.



Слика 4.36. Неусаглашен полупроизвод класе мехур

Извор: Аутор

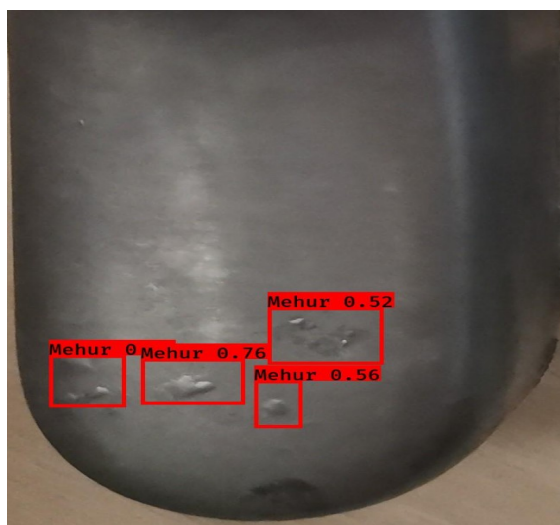
На основу слике 4.36. се може видети да је класа неусаглашености полупроизвода са слике типа мехур. Класом мехур дефинисана је избочина материјала које је настала у процесу ливења, најчешће употребом лоших параметара на машини за ливење који се могу односити на температуру, вишак ваздуха који доводе до појаве мехура. Уколико би овакав производ наставио даљи ток производње и отишао на процес брушења мехур односно сваки вишак материјала би био одстрањен што би довело до појаве рупа или пукотина у материјалу што свакако претставља неусаглашеност производа. Или процес фарбања мехур односно вишак материјала би био још видљивији, свакако уколико је реч о даљој монтажи у склоп који се састоји од више полупроизвода овај вишак материјала може утицати на његову функционалност. У наведеним случајевима дорада производа није могућа једина опција је повлачење полупроизвода, заустављање тока производње, утврђивање шта је довело до појаве неусаглашености производа. Након евидентирања узрока који је довео до појаве неусаглашености производа потребно је предузети мере које ће спречити даљу појаву неусаглашености. Што се тиче неусаглашеног производа са њим се може поступити на следећи начин, обзиром да је производња неусаглашених производа заустављена и да тренутно нема већи број неусаглашених производа исти се може одложити на унапред дефинисану локацију а према политици компаније и сектора за управљање квалитетом. Када дође до појаве одређене количине неусаглашених производа који су настали у току времена могу се поново вратити у ливницу где ће се претопити и од њих ће настати нови производи. Овај процес изазива додатне трошкове производње, обзиром да захтева додатно време и ресурсе. Употребом овог система смањује се могућност појаве неусаглашених производа. На слици 4.37. се може видети неусаглашен производ са ознакама класе пукотина.



Слика 4.37. Неусаглашен производ са ознакама класе пукотина

Извор: Аутор

На слици 4.37. се могу видети ознаке детектованих пукотина на полупроизводу након употребе алгоритма представљеног овим радом. У зависности од квалитета прикупљених слика као и обуке алгоритма ће зависити и сама детекција површинске неусаглашености. Након детектовања неусаглашености испртава се гранични оквир око детектоване неусаглашености где је центар неусаглашености гледано површински у центру граничног оквира. Такође детектована класа неусаглашености се исписује изнад граничног оквира, у конкретном случају назив класе је једнак одредници неусаглашености на основу чега се одмах може закључити о којој неусаглашености је реч то је погодно уколико имамо велики број класа. Након детекције и исписа резултата алгоритма подаци се складиште на cloud, може им се приступити у реалном времену и могу се додатно обрађивати. Посматрано са аспекта рада система који је постављен изнад покретне траке производне линије на основу рада система односно излазном времену које је потребно за производњу једног полупроизвода или производа може се закључити да ли машина или производна линија у аутоматском или мануелном моду. Податке можемо даље обрађивати како би добили ширу слику производње, могу се израчунати губици производње, време застоја, укупна ефикасност опреме и машина. Умрежавањем више оваквих система у оквиру једне производње можемо имати податке у реалном времену и у сваком тренутку знати колико имамо производа у производњи или магацину као и где су највеће грешке. На основу свих података може дефинисати политику управљања одржавања опреме и машина. На слици 4.38. се може видети неусаглашен производ са ознакама класе мехур.



Слика 4.38. Неусаглашен производ са ознакама класе мехур

Извор: Аутор

На слици 4.38. може се видети неусаглашен производ са ознакама класе мехур, изнад граничних оквира је исписан назив класе као и процентуална вредност неусаглашености која је у опсегу од нула до један. Што је вредност неусаглашености ближа јединици то је вредност неусаглашености већа. Компарација се може направити у процентуалној вредности где нула представља нула процената док је јединица сто процената.

Дакле излаз алгоритма поред приказа слике са граничним оквирима је и CSV фајл који се складишти локално на рачунару или платформи на којој је систем покренут. Разлог постојања овог фајла је безбедност система, обзиром да је примарна база података која се користи за складиштење података на интернету односно зависи од интернет конекције у случају проблема који се могу јавити у погледу конективности система локална може послужити као резервна копија података. На слици 4.39. се може видети део базе у оквиру CSV фајла.

```

1 image,image_path,xmin,ymin,xmax,ymax,label,confidence,x_size,y_size
2 im83.jpg,C:/Users/m_djo/PycharmProjects/DetectDefectV1/Data/Source_Images/MyTestImages/im83.jpg,269,924,511,1044,0,0.59336627,1287,2369
3 im28.jpg,C:/Users/m_djo/PycharmProjects/DetectDefectV1/Data/Source_Images/MyTestImages/im28.jpg,771,1337,925,1549,0,0.49294484,1017,1852
4 im28.jpg,C:/Users/m_djo/PycharmProjects/DetectDefectV1/Data/Source_Images/MyTestImages/im28.jpg,145,255,388,404,0,0.63807577,1017,1852
5 im28.jpg,C:/Users/m_djo/PycharmProjects/DetectDefectV1/Data/Source_Images/MyTestImages/im28.jpg,524,166,734,343,0,0.64251375,1017,1852
6 im28.jpg,C:/Users/m_djo/PycharmProjects/DetectDefectV1/Data/Source_Images/MyTestImages/im28.jpg,189,1416,478,1612,0,0.79609036,1017,1852
7 im49.jpg,C:/Users/m_djo/PycharmProjects/DetectDefectV1/Data/Source_Images/MyTestImages/im49.jpg,1007,1040,1473,1333,0,0.6088432,2383,2911
8 im15.jpg,C:/Users/m_djo/PycharmProjects/DetectDefectV1/Data/Source_Images/MyTestImages/im15.jpg,152,0,180,33,0,0.50041974,761,690

```

Слика 4.39. Подаци у CSV фајлу

Извор: Аутор

Као што се може видети на основу слике 4.39. подаци складиштени у овој бази се односе на локацију слике, назив слике, величину граничног оквира и класу која је детектована. Ова база се може користити за даљу обраду уколико је то потребно, такође може се имплементирати у базу која се налази на интернету. Подаци складиштени на интернету се односе на нумеричке вредности, оријентисани су на вредност детектованог граничног оквира, време детекције, класу, број детектованих неусаглашених производа.

4.5.4. Складиштење података у облаку

У оквиру ове докторске дисертације за складиштење података коришћена је ThingSpeak cloud платформа. ThingSpeak такође представља интернет ствари или (енгл. IOT, internet of things), односно платформу која се може користити за управљање уређајима који су повезани на ову платформу подсретством интернет технологија (Mijailović et al., 2021). Пре свега да би се користила ова платформа неопходно је креирати налог, ова платформа у понуди има пет различитих опција налога. У зависности од потреба при креирању налога може се одабрати једна од понуђених опција, прва опција се односи на кориснике који су студенти или истраживачи, друга опција се односи на кориснике који ће користити ову платформу за индустријску примену као што су мале компаније и више опција за велике компаније. Без обзира на сам одабир налога сваки од налога има ограничења у смислу количине података који се могу складиштити где се посматра један унос података у базу. Ова ограничења утичу на месечну надокнаду за складиштење података. Прва опција која је намењена студентима је бесплатна и може подржати до 8192 уноса вредности максималне величине вредности у једном пољу је 255 бајтова. Док остале опције захтевају месечну надокнаду. За разлику од корисника који приступа платформи како би прегледао податке или управљао њима, машина односно платформа мора имати комуникациони канал који се обезбеђује употребом јединственог кључа који је генерисала платформа ThingSpeak и поље у које се подаци уписују односно график.

Наравно за управљање индустријским производним машинама неопходно је обезбедити интернет конекцију до сваке од машина, обезбедити неопходан хардвер као и додатно програмирати машине. Употребном ове платформе подаци се складиште у реалном времену и независни су од платформе која ће приступати подацима приказ истих је прилагођен за паметне телефоне, таблете и рачунаре (Mijailović et al., 2021). Као што се може видети у прилогу на слици 4.40. неопходно је дефинисати канал који ће се користити на платформи као и јединствени круључ за упис података. Затим се дефинишу поља у која се уносе вредности као и вредности које су неопходне за добијање укупне ефикасности опреме и машина. На основу дефинисаног кода може се видети да се подаци уносе ручно односно да су то дефинисане вредности, у овом примеру се користе реални подаци добијени из производне индустрије који ће се користити за израчунавање укупне ефикасности опреме и машина. Разлог оваквог начина уноса података је добијање реалних вредности односно представљање вредности у реалним условима што ће бити представљено у наставку текста а финални график вредности ће бити представљен на слици 51. Укупан број производа је дефинисан бројем и складишти се у поље број 1, приликом примене система овај податак ће бити складиштен од стране развијеног система. Укупно време рада машине представља време трајања радне смене када се одузму сви застоји ово је дефинисано бројем и складиштено у поље број 3, у реалној примени систем ће дефинисати овај податак. Број неусаглашених производа дефинисан на основу реалних података складиштен у поље 4. Идеална брзина рада је складиштена у поље 5 и представља константу за одређену производну машину и мења се са променом машине. Укупно време застоја складиштено у поље 6 представља све застоје који су се десили у току једне радне смене.

4.5.5. Примена представљеног система

Основна намене представљеног система је идентификација неусаглашености производа у оквиру производне индустрије уз имплементацију представљеног система на једну од производних машина. Обзиром да се у оквиру ове докторске дисертације пошло од идеје да је могуће развити универзални систем односно решење које је могуће уз минималне измене прилагодити другој машини неће бити генерализована примена наведеног система. На основу обуке система може се рећи да је тренутно што показују и подаци добијени овим системом систем развијен за детекцију неусаглашености класе мехур и пукотина који се односе на ливене позиције од силумина. Што свакако не значи да је то ограничавајући фактор односно систем се може обучити за идентификацију неке друге неусаглашености у зависности од потреба. Могуће је постојеће машине унапредити употребом уграђених система који се углавном састоје из скупа хардверских компоненти које међусобно комуницирају са постојећим хардвером машине или се користе за прикупљање одређених сигнала који су од значаја за апликацију. Сходно наведеном систем представљен овим радом чини један од уграђених система обзиром да се камера може имплементирати на неку од производних машина, систем се може обучити за детекцију производа који се обрађује на машини на којој је уграђен систем. Није нужно да платформа мора комуницирати са харвером машине нарочито уколико се ради о прикупљању података а не и о реакцију уграђеног система. Међутим углавном уграђени системи имају улогу унапређења рада машине у коју су уграђени, што често доводи до неопходне реакције оваквих система. У конкретном случају реакција платформе би била заустављање даљег тока производње неусаглашених производа уколико се прекорачи софтверски дефинисан број неусаглашених производа, обавештење корисника о тренутном статусу машине. На овај начин спречавају се губици производње до којих доводи повећана производња неусаглашених производа. Поред наведеног систем се може применити за идентификацију неусаглашености производа у лабораторијским условима где би камера као основна хардверска компонента система била постављена на једном носачу који би био причвршћен за постоље у лабораторији односно центру за квалитет компаније. Идеја наведеног приступа се заснива на универзалности представљеног система односно смањење ограничења система везивањем за одређену производну машину. На основу представљеног концепта запослени у оквиру центра за квалитет би могао независно од машине или самог полупроизвода односно производа да провери усаглашеност истог без неког великог предзнања о самом производу. То значи да у наведеном случају систем захтева интеракцију корисника што је заправо други приступ овом решењу. Овај приступ такође подразумева да се ради о производима који су произведени на исти начин или истим машинама да су од истог материјала и да могу поседовати исте неусаглашености за које је систем обучен. Овим приступом се значајно повећава сама примена овог система, уз могућност обуке система за већи број класа односно самих неусаглашености што пружа ширу примену система. Поред наведеног систем се може имплементирати да кажемо на финалном процесу производње који подразумева паковање полупроизвода или производа где би уколико постоји још нека од неусаглашености била спречена појава производа на тржишту.

4.5.6. Анализа података добијених предложеним системом употребом Матлаб-а

Предност примене ове платформе се огледа и у могућности примене матлаба за обраду података. Матлаб је програмски језик који се користи за програмирање засновано на матрицама, векторима, математичком моделирању, визуелизацији обзиром да је то посебно развијен програмски језик за анализу, развој алгоритама и графичко представљање података свакако пружа могућност интеграције програмских језика као што су Python, Java, C++. (Mijailović et al., 2021) Овај програмски језик као и платформа ThingSpeak су развијени од стране исте компаније што обезбеђује лакшу интеграцију података као и самог програмирања. Матлаб и ThingSpeak су спрегнути и у оквиру ThingSpeak платформе се може програмирати употребом Матлаба (Mijailović et al., 2021). На овај начин се може развити алгоритам за анализу података који складиштени на ThingSpeak платформе у оквиру различитих поља, на основу анализе података и алгоритма се може даље управљати системом. Такође може се примењивати за обраду специфичних сигнала које можемо добити из индустрије, може применити за обраду слика итд. На слици 4.41. се може видети пример начина рада матлаба у спрези са ThingSpeak платформом и харвером.



Слика 4.41. Пример рада Матлаба у спрези са ThingSpeak платформом

Извор: https://thingspeak.com/pages/commercial_learn_more

Као што се може видети на слици 4.41. матлаб може бити спрегнут са паметним уређајима као што су платформе које могу бити умрежене и може бити спрегнут са ThingSpeak платформом. Начин спреге је завистан од самог пројекта и његовог специфичног задатка. Најчешћи случај употребе матлаба је следећи платформа прикупља податке из индустријске области поставља податке у базу у облаку у конкретном случају ThingSpeak након постављених података матлаб приступа постављеним подацима употребом сопственог алгорита који је развијен за пројекат врши анализу и обраду података затим исте складишти на ThingSpeak. На овај начин се постиже мање оптерећење опреме која је постављена у самој индустрији што доводи до потребе мањих перформанси исте а што даље може утицати на потребна средства која је потребно уложити у хардвер. Такође обрада података је у овом случају независна од

остатка уграђеног система већ зависи искључиво од података који су складиштени. Најчешће су нумеричке вредности које уграђени систем прикупља са машине, вилики број ових сигнала односно података чини читаву мрежу чијом анализом се могу добити значајни подаци. Обрада података на матлабу има другачију примену од алгорита који се базира на прикупљању података. Матлаб ће користити податке који су постављени у дефинисаном пољу на ThingSpeak анализираће исте и визуализоваће резултат на неки од предвиђених начина. Пример података складиштених у облаку се може видети на слици 4.42.



Слика 4.42. Подаци складиштени у бази

Извор: Аутор

Подаци који се могу видети на слици 4.42. а који су представљени у виду графика су складиштени у току тестирања рада алгорита. Може се бирати више различитих начина визуелизације података у конкретном случају са леве стране се налазе вредности од 0 до 1 што представља скалу неусаглашености производа, такође може се видети време уноса података. Ови подаци се односе на вредност која изражава проценат идентификоване неусаглашености. Обзиром да је алгоритам развијен за детекцију неусаглашености производа када је резултат једнак нули производ је усаглашен што је резултат алгорита ближи броју један производ је неусаглашен. Дакле заснива се на детекцији односно константном проверавању нових слика и обучених података где су за обуку коришћени неусаглашени производи што значи да алгоритам тежи детекцији неусаглашености. Такође могуће је алгоритам обучити на усаглашеним производима где би алгоритам у том случају давао као резултат нула ако је производ неусаглашен и ако је резултат један производ је усаглашен. Поред вредности које се складиште за сваки производ а које се односе на неусаглашеност односно резултат алгорита се складиште као и вредност укупног број производа који је произведен у току смене, укупан број неусаглашених производа, такође на основу алгорита може се добити време које је машина радила у аутоматском моду у току смене, као време застоја које је машина имала. Обзиром да на cloud-у имамо расположиве податке употребом матлаб анализе података и визуелизације можемо израчунати и представити укупну ефикасност опреме и машина.

4.5.7. Укупна ефикасност опреме и машина

Укупна ефикасност опреме и машина је дефинисана бројем израженим у процентима а односи се на продуктивност производног процеса узимајући у обзир све факторе који могу утицати на сам производни процес а односе се на укупну ефикасност производних машина (Chikwendu et al., 2020). Основни акценат укупне ефикасности опреме и машина се односи на стварни капацитет производње односно када се узму у обзир сви недостаци исте а који се могу односити на шкарт односно неусаглашене производе који се могу појавити услед производње или неки отказ машина и опреме (Cercós et al., 2019). На овај начин пружају се битни подаци који могу имати директан утицај како на саму производњу тако и профит који компанија остварује баш на основу своје производње. Све чешће компаније користе податке добијене на овај начин како бих упоредили своје стварне производне вредности са оним теоретским које би требало остварити, такође користе ове податке за поређење тренутних вредности са одређеним временским периодом а у циљу унапређења производње (Kechaou et al., 2019, Basak et al., 2021, Okpala et al., 2020). Поред могућности добијања крајњег резултата који се односи на укупну ефикасност опреме и машина применом овог модела у индустрији се могу добити подаци који се односе на негативне факторе као и оне позитивне, могу добити одговор на питање шта директно утиче на производњу, а на основу добијених података могу се отклонити недостаци који су настали (Raghd et al., 2018). На располагању за израчунавање укупне ефикасност опреме и машина имамо две формуле (Oliveira et al., 2019) које ће бити представљене док ће у овом пројекту бити коришћена друга формула. Према првој формули (Укупна ефикасност опреме-машина) је:

$$OEE = \frac{(\text{Идеалновреме производње} * \text{Број добрих производа})}{\text{Планирановреме производње}}$$

Опис вредности коришћених у првој формули:

1. Број добрих производа. Представља број производа који је произведен у складу са дефинисаним квалитетом производа
2. Идеално време производње. Представља најбрже могуће време за које се може произвести одређени производ теоретски говорећи, а да при томе задовољава дефинисани квалитет.
3. Планирано време производње. Може се представити као време рада машине ако узмемо у обзир да једна смена траје осам часова потребно је одузети паузе или застој у случају кvara или редовног сервисирања уколико се врши у оквиру радног времена, резултат који се добије представља планирано време производње.

Према другој формули (Basak et al., 2022, Klimecka et al., 2022, Dobra et al., 2021) укупна ефикасност опреме (OEE) је:

$$OEE = A * P * Q$$

$$OEE = \text{Расположивост} * \text{Перформансе} * \text{Квалитет}$$

$$\text{Расположивост} = \frac{\text{Време рада машине}}{\text{Планирано време рада машине}}$$

Опис вредности коришћених у другој формули:

1. Распоживост или доступност опреме (енгл. Availability) – се може израчунати када се подели време рада машине са планираним временом рада машине. Према наведеном $\text{Време рада машине} = \text{Трајање смене} - \text{Време које је машина била неактивна}$. Време трајања смене је углавном дефинисано, и у Србији је 8 часова. Планирано време рада машине је временски интервал рада машине у оквиру једне смене.
2. Перформансе се могу израчунати употребом формуле:

$$\text{Перформансе} = \frac{\text{Идеално време производње једног производа} * \text{Укупан број производа}}{\text{Време које је радила машина}}$$

Идеално време производње једног производа је временски интервал који је теоретски говорећи неопходан за производњу једног производа од почетка до краја он је унапред дефинисан. Укупан број производа је број производа који је произвела машина у оквиру једне смене. Време које је радила машина се добија када се од трајања смене одузму сви застоји.

3. Квалитет се може израчунати употребом формуле:

$$\text{Квалитет} = \frac{\text{Број добрих производа}}{\text{Укупан број производа}}$$

Број добрих производа се може изразити као $\text{Укупан број производа} - \text{Шкарт}$. У конкретном случају неопходно је дефинисати шкарт, он представља производ који се не може дорадити већ као такав се може одбацити-уништити, представља трошак компаније.

Када се узме у обзир тренутно обучени модел са основном применом на полупроизводима који су добијени ливеним путем шкарт који би се издвојио у даљем процесу производње би могао поново да се врати у производњу уколико би се поново претопио и од тог материјала направио нови производ. У том случају неопходно је поред шкарт производа додати легуре материјала према утврђеном саставу и наравно поновно ливење ће поред наведеног довести до трошкова у смислу утрошене електричне енергије као и времена запослених. У случају када се ради о производима који су добијени обликовањем лима, бушењем, резањем, глодањем итд. врло често се шкарт не може дорадити и он се мора на унапред дефинисан начин уништити. Свакако посматран обучени алгоритам када се узме у обзир класа неусаглашености мехур она може представљати шкарт обзиром да би свака додатна дорада као што је брушење довела до појаве шупљина у материјалу. Мехур у овом случају представља заробљени ваздух који се налази испод површинског слоја материјала, уколико би након идентификације шкарта одлучили да применимо технологију брушења како би уклонили све мехуре са површине производа скинули би одређен слој материјала и производ би на себи имао велики број пукотина или рупа. Још већи проблем је ако производ у даљем процесу иде на фарбање сваки од мехура постаје још уочљивији након фарбања. Уколико производ као такав иде даље у процес монтаже приликом физичког контакта са другим предметима може доћи до пуцања мехура што такође може довести до видљивих оштећења. Тренутно обучени модел све неусаглашене

производе обзиром да је реч о наведеној неусаглашености чува податак дефинисан као шкарт.

На основу дефинисаних формула и података може се израчунати укупна ефикасност опреме и машина а која је једнака производу расположивости, перформанси и квалитету. Подаци прикупљени развијеним системом су складиштени у облаку, где ће се употребом матлаб-а израчунавати укупна ефикасност опреме и машина. На основу дефинисаних формула и на основу складиштених података може се израчунати укупна ефикасност опреме и машина. Према другој формули која је коришћена за израчунавање укупне ефикасности опреме и машина неопходно је пре свега израчунати расположивост, перформансе и квалитет. Расположивост према формули је зависна од два податка време рада машине и планирано време рада. У конкретном случају софтверски је дефинисан податак који се односи на планирано време рада и он је у овом случају константа али се може софтверски мењати. Време рада машине је једнако разлици времена трајања смене и времена које је машина била неактивна, време трајања смене се у матлабу наводи као константа док се време застоја односно време које је машина била неактивна може изразити у интервалу од последње слике до следеће узимајући у обзир свако време које је веће од аутоматског циклуса машине.

Идеално време производње једног производа је добијено мерењем потребног времена за израду производа или полупроизвода на производној машини, и као такво се уноси на cloud након чека се посматра као константа. Укупан број производа имамо складиштен на основу алгорита за идентификацију неусаглашености производа и он представља све производе који су снимани у оквиру једне смене. Број добрих производа је податак који је добијен развојем овог система и он је складиштен на cloud, представља разлику укупног броја производа и неусаглашених производа. Да би се на основу података који су складиштени у оквиру cloud-а изразила укупна ефикасност опреме и машина неопходно је развити алгоритам за визуелизацију података који је заснован на дефинисаној формули. Алгоритам пролазећи кроз формулу и добијајући резултате креира дијаграм. ThingSpeak и матлаб пружају могућност већег броја начина визуелизације података у зависности од потреба пројекта. На слици 4.43. се може видети график укупног броја производа.



Слика 4.43. График укупног броја производа

Извор: Аутор

Као што се може видети на слици 4.43. у облаку је складиштен податак који се односи на укупан број производа. На самом врху прозора се може видети ознака поља (енгл. Field 1 Chart) ова ознака поља је иста за све графике једина разлика је инкремент који је у овом случају број 1, ознака поља представља један од најзначајних података када је неопходно приступити подацима из одређеног поља или уписати податке у одређено поље. У случају када је корисник креирао налог као студент има могућност креирања укупно 8 поља на једном каналу, али може имати више канала. Уколико истраживачки пројекат захтева више од 8 поља односно потребно је унети више од 8 различитих података могу се користити два или више канала и на тај начин се може превазићи проблем. Поред ознаке поља сваком графику је могуће доделити назив, обично се назив односи на сам податак који се уписује у конкретном случају „Укупан број производа“. Са леве стране по у оси имамо количину производа док по х оси имамо датум када су подаци унети. Укупан број производа представља вредност која се уноси једном у току дана на крају смене, наравно могуће је софтверски дефинисати периодичан унос. У конкретном случају укупан број производа представља све производе које је камера сликала и које је алгоритам проверио без обзира да ли је производ усаглашен или не. На слици 4.44. се може видети график укупног времена рада машине.



Слика 4.44. График укупног времена рада машине

Извор: Аутор

Укупно време рада машине које се може видети на слици 4.44. представља време рада машине узимајући у обзир трајање радне смене које је константа и време застоја. На у оси је изражено време рада машине у секундама док је на х оси представљен датум када су подаци постављени на клауд. Када систем развијен овим радом провери прву слику почиње снимање времена све док машина ради у аутоматском моду односно софтерски је дефинисан опсег циклуса узимајући у обзир време које је потребно за израду производа. Уколико у току рада машине дође до застоја који траје више од циклуса производње једног производа аутоматски се то време сматра временом застоја и снима се као такво. Уколико машина после одређеног времена почне радити у аутоматском моду то време се снима као време рада машине. На крају семене од трајања смене се одузима време застоја и снима се укупно време које је машина радила у току једне смене. На слици 4.45. Може се видети график који се односи на број неусаглашених производа.



Слика 4.45. Број неусаглашених производа

Извор: Аутор

Број неусаглашених производа који је представљен на слици 4.45. и складиштен у облаку се односи на све неусаглашене производе које је систем који је развијен у оквиру овог рада категорисао као неусаглашене. На у оси графика се може видети количина неусаглашених производа док се на х оси може видети датум уноса подата. На основу обученог алгоритма систем издваја неусаглашен производ извршавајући селекцију производа. Овај број се односи на све неусаглашене производе у оквиру једне радне смене. На слици 4.46. се може видети график идеалне брзине рада машине.



Слика 4.46. Идеална брзина рада

Извор: Аутор

Идеална брзина рада машине која је представљена на графиком на слици 4.46. представља време које се односи на брзину рада машине посматрано у једном циклусу. Под термином циклус се подразумева да машина ради у аутоматском моду односно има константни улаз и излаз производа. Пример таквог циклуса се може посматрати на машинама за монтажу где уколико имамо увијање завртњева у производ, циклус

представља време довођења производа у позицију увијања завртња и одлагање производа. У конкретном случају идеална брзина рада је константа коју корисник система уноси, ово је представљено на овај начин из разлога што се систем представљен овим радом може користити на више машина, сходно наведеном идеално време рада се мења како се мења и предмет обраде-монтаже. На у оси графика је представљено време у секундама док се х оса односи на датум складиштења података. На слици 4.47. се може видети график укупног времена застоја



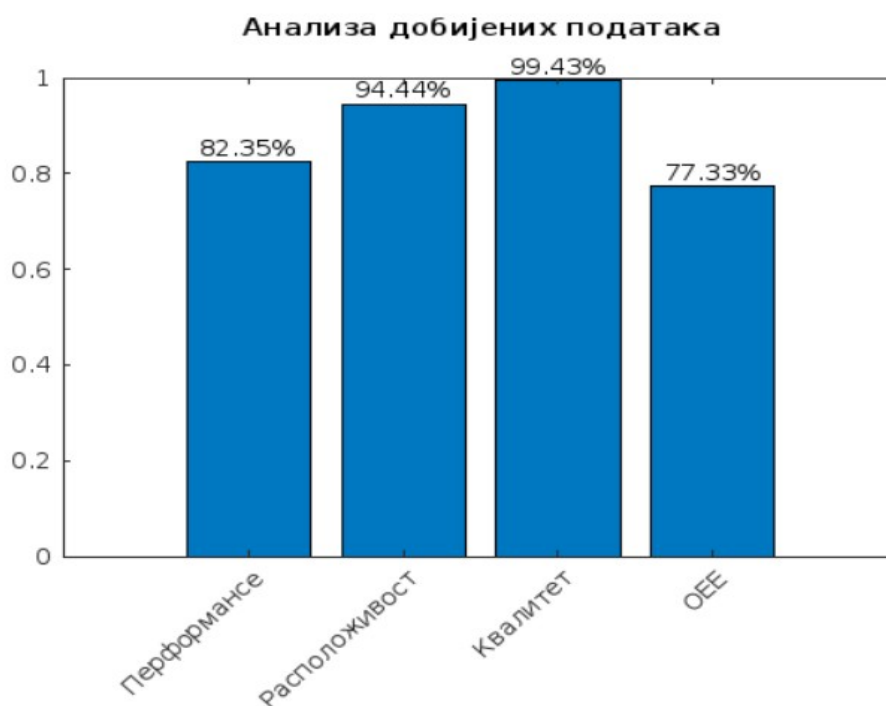
Слика 4.47. Укупно време застоја

Извор: Аутор

Укупно време застоја машине представљено графиком на слици 4.47. представља време које је машина била неактивна између два циклуса посматрано са аспекта аутоматског рада машине. На у оси графика се може видети време застоја машине изражено у секундама док је на х оси представљен датум уноса података.

4.5.8. Резултати добијени применом система контроле квалитета

На основу прикуљених података системом и на основу анализе истих употребом матлаба добијени подаци су представљени на један од могућих начина, што свакако не ограничава могућност система за представљање података на неки други начин који је прихватљив за одређени систем. На слици 4.48. се може видети график укупне ефикасности опреме и машина који је настао на основу анализе података прикупљених системом који је развијен у оквиру ове докторске дисертације.



Слика 4.48. График укупне ефикасности опреме и машина МАТЛАБ анализа

Извор: Аутор

На слици 4.48. је представљен график укупне ефикасности опреме и машина уз употребу матлаб анализе добијених података на основу развијеног система. Испод сваког стуба у оквиру графика се може видети назив вредности коју тај стуб представља, такође изнад сваког стуба су вредности изражене у процентима. У тренутку креирања овог графика коришћени су подаци који су прикупљени системом уз употребу матлаб-а подаци су обрађени и визуелизовани на представљени начин. График се креира на крају једне смене у односу на последње складиштене податке, и подаци представљени на графику се односе на једну смену. У табели 4.3. се могу видети подаци који су коришћени за креирање графика укупне ефикасности опреме и машина.

Табела 4.3. Подаци коришћени при креирању графика укупне ефикасности опреме и машина

Формула	Подаци прикупљени развијеним системом		
Перформансе	Идеално време производње једног производа	Укупан број производа	Време које је радила машина
	2 секунде	10500	25500 секунди
Расположивост	Време рада машине	Планирано време рада машине	
	25500 секунди	27000 секунди	
Квалитет	Број добрих производа	Укупан број производа	
	10440	10500	
OEE	Перформансе	Расположивост	Квалитет
	82.35 %	94.44 %	99.43 %

У табели 4.3. се могу видети подаци који су прикупљени представљеним системом а који су коришћени за креирање графика који је представљен на слици 4.48. Подаци који су били неопходни за израчунавање сваке од формула из табеле 7. су складиштени у облаку. На основу којих је и рађена МАТЛАБ анализа за представљање укупне ефикасности опреме и машина. У наставку текста ће бити представљени подаци који су коришћени као математички доказ тачности графика.

Подаци прикупљени развијеним системом:

- Укупан број производа – Под овим бројем подразумева се укупан број производа произведен на производној машини у оквиру једне смене рада узимајући у обзир усаглашене и неусаглашене производе.
- Укупно време рада машине – Податак који се односи на време рада машине у оквиру једне смене када се оно умањи за све застоје који су се десили у оквиру наведене смене.
- Број неусаглашених производа – Један од најзначајних података који је прикупљен овим системом односи се на све неусаглашене производе које је систем детектовао у оквиру једне смене.
- Идеална брзина рада – Представља време које је машини неопходно да произведе један полупроизвод или производ, то је време које је произвођач машине дао као време које је идеално за рад машине под условом да је машина у стању у коме је произвођач машине испоручио. Ово време се наводи као константа у оквиру овог рада али је подложна промени уколико се систем примени на некој другој машини.
- Укупно време прекида – Ово време се добија када се саберу сви застоји који су били у оквиру једне смене.

Полазни подаци за представљање укупне ефикасноси опреме и машина су:

1. Према формули за израчунавање перформанси неопходни су следећи подаци:

1. Идеална брзина рада – складиштена је у облаку представља константу и износи 2 скунде за један полупроизвод.
2. Укупан број производа - складиштена је у облаку износи 10 500 производа у току једне смене.
3. Укупно време рада машине – Представља време треајања смене умањено за све застоје у току једне смене и то време је 25 500секунди.

Када се добијени подаци замене у формули која је представљена у оквиру овог рада добије се следећи податак:

$$\text{Перформансе} = (\text{Идеална брзина рада} * \text{Укупан број производа}) / \text{Укупно време рада машине} = (2 * 10\,500) / 25\,500 = 0.8235$$

Подаци који су представљени на слици 4.48. су добијени матлаб анализом података које је прикупио развијени систем. Обзиром да је реч о подацима који се налазе складиштени у облаку њихова обрада се извршава на самој ThinSpeak платформи . На основу формула које су представљене овим радом а које су неопходне за израчунавање укупне ефикасности опреме и машина и на основу излазних података система који су складиштени врши се њихова обрада.

Да би извршили обраду података према полазним формулама неопходан је приступ подацима у конкретном случају подаци се налазе на одређеном каналу који је дефинисан приком складиштења података што се може видети у прилогу на слици 4.49. Приступа се каналу са кога ће бити коришћени подаци, неопходан је јединствени ChannelID односно број канала и readAPIKey јединствени кључ за читање података са дефинисаног канала. Обзиром да креирани налог који је бесплатан може имати само 8 поља за унос података по једном каналу неопходно је креирати још један канал у који ће бити уписане вредности након израчунавања. Према наведеном дефинише се путања до новог канала newChannelID као и writeAPIKey у конкретном случају кључ за упис података у дефинисани канал. Да би се анализирали подаци неопходно је приступити подацима који су уписани у одређено поље канала и прочитати их. Приступа се на основу ChannelID и readAPIKey дефинише се поље односно назив поља-податка које се чита као и број поља. Према формулама за перформансе, расположивост и квалитет неопходно је прочитати следеће податке: Укупан број производа, укупно време рада машине, број неусаглашених производа, идеална брзина рада, укупно време прекида. Од сваке вредности користи се последњи унети података како би се добила тренутна вредност за сваки од података према формули. За сваки од података према формули за укупну ефикасност машина и опреме рачуна се последња вредност. Када се добију неопходни подаци може изразити укупна ефикасност опреме и машина. Након израчунавања вредности врши се њихов испис у циљу прегледа и провере добијених резултата што се може видети у прилогу на слици 4.50. Затим се дефинише канал у који желимо да упишемо добијене податке неопходно је дефинисати writeChannelID као и writeAPIKey, дефинишу се поља за упис за сваки од података. Због прегледности података дефинишу се вредности за једну радну смену односно последњи израчунати подаци за одређен датум што се може видети у прилогу на слици 4.51. Дефинише се

начин приказа података у конкретном случају одабран је приказ у облику бар-а односно стубова који дефинишу одређене вредности. Дефинише се текст за сваки од стубова графика као и његов положај односно оријентације у циљу боље прегледности. Сваком од стубова се додељује одговарајућа вредност која је добијена овом анализом података.

У наставку текста се могу видети графици за сваку од вредности које су коришћене у формули за изражавање укупне ефикасности опреме и машина. Обзиром да је неопходно складиштење података који се односе на перформансе, расположивост и квалитет могуће је представити ове податке у виду графика и касније их користити уколико је потребно за даљу обраду или приказ података у односу на одређени период. Да би добијени податак који се односи на перформансе изразили у процентима на скали од 0 до 100 неопходно је добијени податак 0.8235 помножити са 100, након тога добија се резултат 82.35 % представљају перформансе опреме што се може видети и на графику на слици 4.52.



Слика 4.52. График перформанси

Извор: Аутор

Као што се може видети на графику који је приказан на слици 4.52. могу пратити перформансе које су добијене на основу формуле по данима односно сменама за разлику од графика на слици 4.49. где је овај податак представљен за последњу смену. Подаци су изражени у процентима, вредности су од 0 до 1 што заправо представља вредности од 0 до 100. Свака тачка на графику представља један складиштен податак када се пређе курсором преко саме тачке на графику могу се видети детаљи попут тачног датума и времена складиштења као и вредности.

2. Према формули за израчунавање расположивости опреме и машина неопходни су следећи подаци:

1. Укупно време рада машине – Представљено је у оквиру прве формуле и то 25 500 секунди.

2. Планирано време рада машине – Представља време једне смене, у оквиру овог рада представљено је као константа и износи 27 000 секунди (Трајање једне радне смене у Србији је углавном 8 часова али углавном обухвата урачунату паузу па је то време 7.5 часова је заправо изражено у секундама 27 000), могуће је овај податак мењати.

Када се добијени подаци замене у формули која је представљена у оквиру овог рада добије се следећи податак:

$$\text{Расположивост} = \text{Укупно време рада машине} / \text{Планирано време рада машине} = 25\,500 / 27\,000 = 0.9444$$

Да би добијени податак који се односи на расположивост опреме и машина изразили у процентима на скали од 0 до 100 неопходно је добијени податак 0.9444 помножити са 100, након тога добија се резултат 94.44 % што представља расположивост опреме и машина наведени податак се може видети и на графику на слици 4.49. Док се на графику који је представљен на слици 4.53. може видети расположивост опреме по датумима а на основу формуле.



Слика 4.53. График расположивости опреме

Извор: Аутор

На слици 4.53 је представљен график расположивости опреме и машина где су складиштени подаци по датумима односно сменама који су добијени матлаб анализом на основу формуле и добијених података овим системом. Вредност података је изражена у процентима од 0 до 100 процената.

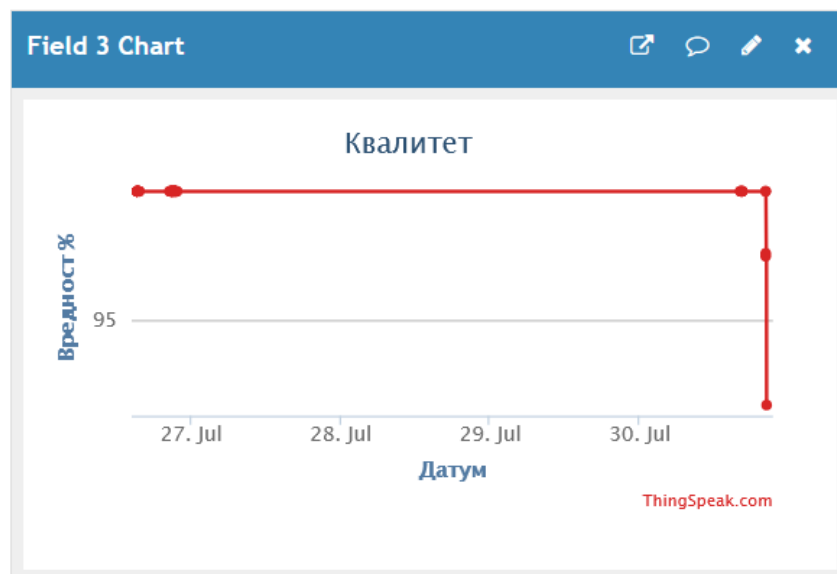
3. Према формули за израчунавање квалитета неопходни су следећи подаци:

1. Број усаглашених производа добија се када се од укупног броја производа произведених у оквиру једне смене одузме број неусаглашених производа и он је $10\,500 - 60 = 10\,440$.
2. Укупан број производа је 10 500.

Када се добијени подаци замене у формули која је представљена у оквиру овог рада добије се следећи податак:

$$\text{Квалитет} = \text{Број усаглашених производа} / \text{Укупан број производа} = 10\,440 / 10\,500 = 0.9943$$

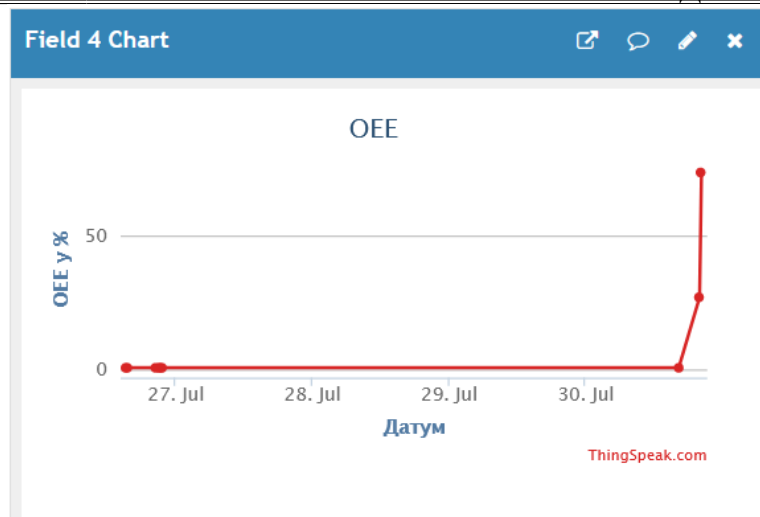
Да би добијени податак који се односи на квалитет изразили у процентима на скали од 0 до 100 неопходно је добијени податак 0.9943 помножити са 100, након тога добија се резултат 99.43 % што представља квалитет наведени податак се може видети и на графику на слици 4.54.



Слика 4.54. График квалитета

Извор: Аутор

График квалитета који је представљен на слици 4.54. добијен је матлаб анализом података на основу формуле за израчунавање квалитета. Вредност података је изражена у процентима од 0 до 100 процената, подаци се складиште једном у току сваке радне смене. На слици 4.55. се може видети график укупне ефикасности опреме и машина представљен по данима односно радним сменама.



Слика 4.55. График укупне ефикасности опреме и машина

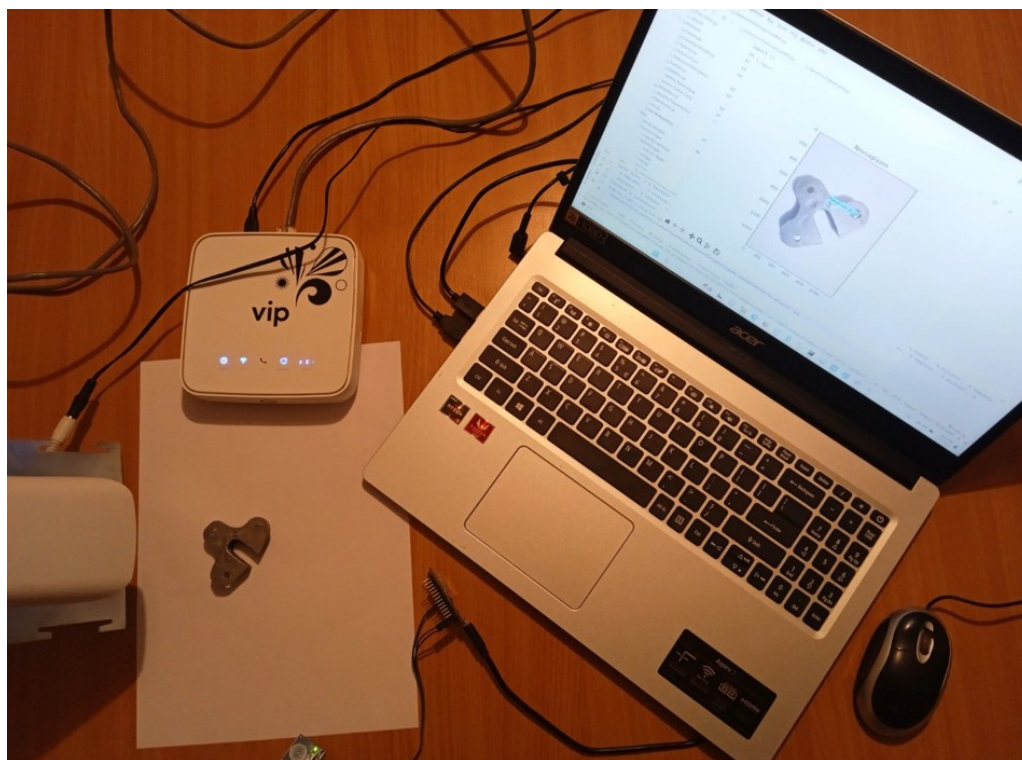
Извор: Аутор

На основу слике 4.55. може се закључити да су подаци о укупној ефикасности опреме и машина који су добијени на основу представљених формула за укупну ефикасност опреме и машина обрађени употребом матлаба и складиштени на дневном нивоу односно на крају сваке радне смене. Поред визуелизације података и саме анализе свих прикупљених података и представљених на овај начин могуће је овим графицима управљати и додељивати граничне вредности. Добијати обавештења о прекорачењу задатих вредности. Поред наведеног вредности се могу визуализовати на више различитих начина, могуће је на основу дефинисаних граничних вредности добити повратну реакцију система. Све ово се може применити уколико је потребно и уколико ће на тај начин допринети самом систему и његовој специфичној примени. Представљена четири графика који се односе на укупну ефикасност опреме и машина су пре свега имали за циљ визуелизацију података крајњем кориснику, преглед података у реалном времену независно од платформе коју корисник поседује, складиштење података без додатног хардвера, решење складиштења података у облаку узимајући у обзир потребна средства, могућност реакције система у зависности од потреба корисника.

4.6. Имплементација система за контролу квалитета

Процес имплементације система се у конкретном случају може поделити на више корака. Први корак подразумева имплементацију потребног хардвера система за процес аквизиције слике. У зависности од начина примене система односно да ли се систем примењује за идентификацију неусаглашености производа на некој од производних машина или у оквиру центра за квалитет зависиће и начин имплементације. Уколико је потребно имплементирати хардвер система на неку од производних машина неопходно је причврстити носач камере на део производне машине који неће имати утицај на квалитет података који се прикупљају. Потребно је подесити да фокус камере буде на пороизводу односно на позицији где се може појавити неусаглашеност производа. Такође потребно је поставити сензор који ће детектовати позицију производа. Уколико се систем примењује у оквиру центра за

квалитет потребно је поставити систем на постоље затим у фокус камере поставити производ, активацијом сензора на слици се врши идентификација неусаглашености. Други корак подразумева покретање софтверског дела система који подразумева сервер за преузимање слика са камере и софтвера који врши идентификацију неусаглашености. Након предузетих корака може се приступити подацима у облаку који се складиште у ралном времену. На слици 4.56. се може видети имплементација система у оквиру центра за квалитет.



Слика 4.56. Имплементација система у оквиру центра за квалитет

Извор: Аутор

Као што се може видети на слици 4.56. хардверски део система је конектован и имплементиран у оквиру центра за квалитет. Основна идеја оваквог начина имплементације је провера квалитета већег броја различитих производа. Када је систем имплементиран неопходно је покренути софтверски део система који је представљен у поглављу софтвер система. Затим запослени поставља производ у фокус камере активацијом сензора прикупља слику при чему систем обрађује податке. На основу обраде враћа резултат анализе који садржи податке који се односе на статус производа тип неусаглашености уколико је производ неусаглашен као и вредности неусаглашености, приказује слику са ознакама неусаглашености. На слици 4.57. се може видети идентификована неусаглашеност.



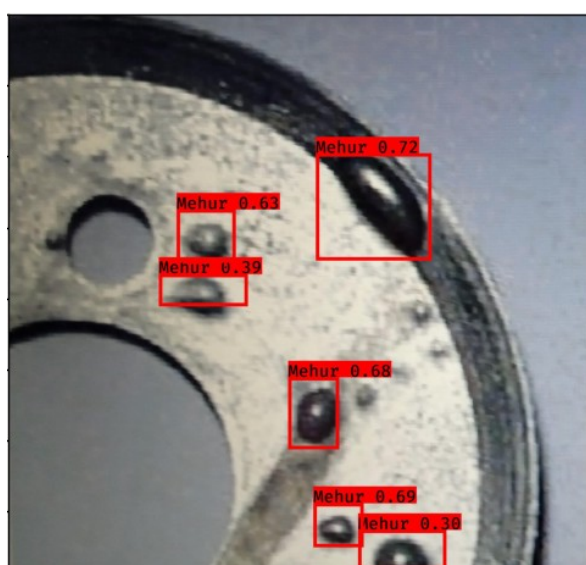
Слика 4.57. Идентификација неусаглашености

Извор: Аутор

На слици 4.57. се може видети пример идентификације неусаглашености при тестирању система у оквиру центра за квалитет. Као што се може видети идентификована је неусаглашеност класе пукотина, приказана је ознака идентификоване неусаглашености као и вредност неусаглашености.

4.7. Тестирање система за контролу квалитета

Процес тестирања рада система подразумева тестирање након процеса имплементације, тестови се спроводе у реалним условима како би се добили релевантни подаци о резултатима система. У конкретном случају како би се добили подаци за обе класе мехур и пукотина у што краћем временском интервалу систем се тестира у оквиру центра за квалитет. За потребе тестирања рада система издвојено је насумично изабраних 100 производа који могу садржати класу мехур и 100 насумично изабраних производа који могу садржати класу пукотина. На сликама 4.58. и 4.59. се може видети идентификација неусаглашености на производима.

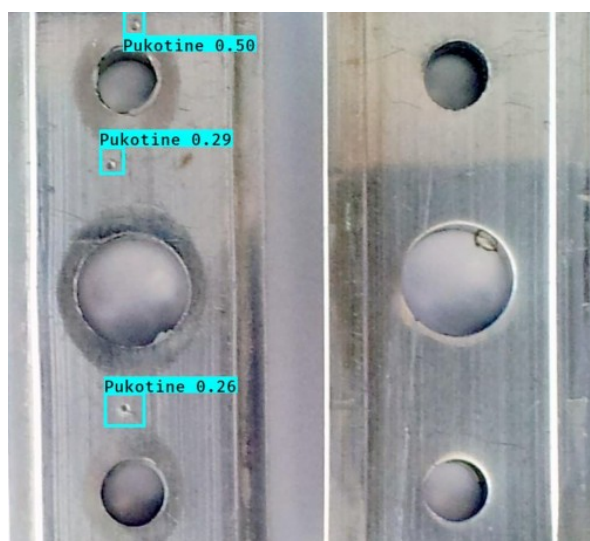


Слика 4.58. Неусаглашеност класе пукотина Слика 4.59. Неусаглашеност класе Мехур

Извор: Аутор

Извор: Аутор

На сликама 4.58. и 4.59. представљена је идентификација класа неусаглашености на узорцима. Као што се може видети на сликама је поред класе назначена вредност која се односи на величину неусаглашености, систем је прилагодљив и може се праг толеранције вредности прилагођавати у складу са захтевима корисника. Такође на основу представљених слика може се закључити да се ради о два различита производа што не представља проблем алгоритам је обучен за идентификацију неусаглашености а не за идентификацију на одређеном производу. На слици 4.60. се могу видети два производа која су истовремено сликана од којих је један усаглашен док је други неусаглашен.



Слика 4.60. Неусаглашен производ и усаглашен производ

Извор: Аутор

На слици 62. се могу видети два производа која су мањих димензија и који су могли истовремено бити у фокусу камере. Са намером да провери рад система у овим условима коришћен је један неусаглашен производ који је на левој страни слике и један усаглашен производ који је на десној страни слике. Реч је о неусаглашености типа пукотина, мала оштећења која не утичу на функционалност производа али свкко представљају неусаглашеност. Систем је и у овом случају успешно идентификовао неусаглашеност иако је она јако малих димензија. У табели 4.4. се могу видети резултати тестирања система са полазним параметрима система величине неусаглашености 0.40.

Табела 4.4. Тестирање система са полазним параметрима величине неусаглашености 0.40

	Број узорак	Детекција употребом система
Неусаглашени производи	10	8
Усаглашени производи	90	92
Класа мехур	5	5
Класа пукотина	5	3

Као што се може видети на основу табеле 4.4. за тестирање система коришћен је скуп слика од 100 узорак. На основу сектора контроле квалитета и на основу обуке система 90% слика од укупног броја узорак је означено као усаглашено док 10% представља неусаглашене производе и то 5% класе мехур и 5% класе пукотина. Ако су у оквиру система полазни параметри величине неусаглашености постављени на 0.40 систем систем детектује 92% усаглашених производа односно 8% неусаглашених и то 5% класе мехур и 3% класе пукотина. Величина неусаглашености у конкретном случају представља вероватноћу да се унутар оквира налази детектовани објекат. Након више тестирања алгоритма показало се да се најбољи резултати добијају са вероватноћом 0.25. У табели 4.5. се могу видети резултати тестирања система са полазним параметрима система величине неусаглашености 0.25.

Табела 4.5. Тестирање система са полазним параметрима величине неусаглашености 0.25

	Број узорак	Детекција употребом система
Неусаглашени производи	10	10
Усаглашени производи	90	90
Класа мехур	5	5
Класа пукотина	5	5

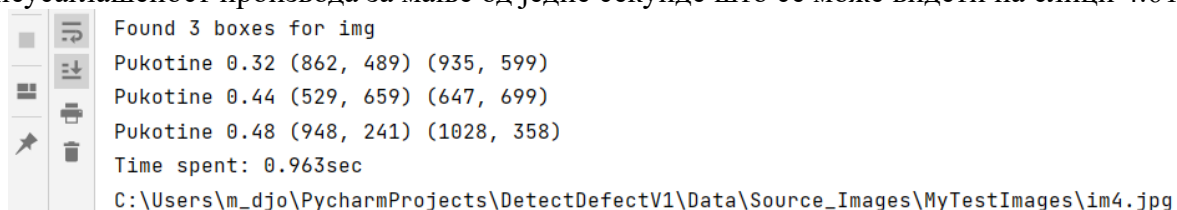
На основу табеле 4.5. могу се видети резултати тестирања система на истом скупу података као у табели 4.6. али када је вредност величине неусаглашености 0.25. У овом случају тачност рада алгоритма је 100%, правилна је идентификација класа

неусаглашености као и број неусаглашених производа. У циљу дефинисања прецизности рада система који је развијен у оквиру ове докторске дисертације припремљен је скуп података за тестирање система. Овај скуп података садржи укупно 100 слика које нису коришћене у процесу обуке система, од којих 30 представља неусаглашене производе. У табели 4.6. се могу видети резултати тестирања рада система у циљу добијања података који се односе на параметре система.

Табела 4.6. Прецизност рада система и излазни параметри

	Полазни параметри	Резултати детекције
Број узорака-слика	100	100
Неусаглашени производи класе мехур	15	15
Неусаглашени производи класе пукотина	15	15
Величина слике коришћене при тестирању	416x416	416x416
Брзина рада система	Захтевана до 2.5 секунде	Остварена 0.963 секунде за једну слику

На основу табеле 4.6. се може видети да алгоритам има добру прецизност, успешно је идентификовао свих 30 неусаглашености. При тестирању рада алгоритма коришћена је величина слике као и у процесу обуке 416x416 пиксела. Захтевано минимално време детекције је било 2.5 секунди по једној слици колико је потребно производној машини да заврши циклус производње. Примена представљеног алгоритма у случају употребе наведених хардверских перформанси је детектовала неусаглашеност производа за мање од једне секунде што се може видети на слици 4.61.



Слика 4.61. Детекција неусаглашеног производа испис у конзоли

Извор: Аутор

Као што се може видети на слици 4.61. на једној од слика у процесу тестирања систем је идентификовао 3 неусаглашености. Све неусаглашености су у овом примеру су класе пукотина, исписана је вредност за сваку као у локација ознаке, време ове идентификације је 0.963 секунде.

4.8. Верификација система за контролу квалитета

Верификација представља процес провере исправности изградње система и његову способност да испуни дефинисане спецификације. Провера релевантности података добијених у процесу тестирања система. Свакако представља процес који се извршава и у току обуке система где се користи 10 процената слика за процес верификације исправности, где се проверава да ли је детекција исправна. Али верификација након процеса обуке се односи само на софтверски део система. У

окувиру овог пројекта постојали су основни захтеви које систем треба да задовољи и они су представљени у табели 4.7. као и испуњеност захтева.

Табела 4.7. Захтеви система и процес верификације

Рб.	Захтев	Статус захтева
1.	Потребно је развити систем за идентификацију неусаглашености производа који је заснован на примени компјутерске визије.	Развијени систем који је представљен у оквиру ове докторске дисертације је заснован на примени компјутерске визије.
2.	Обезбедити мобилност ситема.	Систем је преносив и пружа могућност имплементације у оквиру производних машина.
3.	Обезбедити флексибилност система, у погледу идентификације.	Могуће је систем обучити за неки други тип неусаглашености.
4.	Обезбедити анализу, складиштење и визуелизацију података.	Подаци су анализирани и складиштени у оквиру платформе у облаку, и могу се визуелизовати на више начина.
5.	Тестирати систем у реалним условима и правилно идентификовати неусаглашеност за две класе мехур и пукотина.	Систем је тестиран, и у оквиру ове докторске дисертације представљени су подаци са тестирања и имплементације система.

На основу табеле 4.7. може се закључити да је постојало више захтева при креирању система коју су требали бити задовољени. У оквиру захтева за развој система дефинисана је употреба технологија која подразумева да је основна технологија компјутерска визија са циљем идентификације површинске неусаглашености производа. Примењена технологија која поред компјутерске визије примењује алгоритме идентификације, неуронске мреже, рачунарство у облаку даје релевантне податке у складу са захтевима стандарда ИСО 9001. Критеријум који се односи на величину неусаглашености дефинише компанија у складу са захтевима стандарда односно захтевима корисника производа. Од кључног значаја је правовремена идентификација неусаглашености производа. Као што се може видети у поглављу тестирање система на сликама 4.6.4., 4.6.5. и 4.6.6. систем идентификује неусаглашености производа у складу са захтевима за две класе неусаглашености. Такође у поглављу верификације система у табели 5 могу се видети реални подаци тестирања система у односу на мануелну контролу. Када је реч о мобилности система она се пре свега односи на хардверски део система. Обзиром да систем представља уграђени систем његова имплементација на неку од производних машина или примена у оквиру центра за квалитет је олакшана употребом преносиве опреме. У оквиру поглавља имплементација представљен је хардвер ситема који се може преносити и имплементирати на неки од постојећих система. Свакако један од значајних захтева је флексибилност система у погледу обуке и зависности од производа. Развијени систем је могуће обучити за неку другу класу неусаглашености што је представљено у оквиру поглавља софтвер система. Алгоритам идентификације неусаглашености производа не зависи од облика производа већ од саме обуке система односно класа неусаглашеност. Сходно наведеном на сликама 4.6.4. и 4.6.6. у поглављу тестирање система може се

видети да је реч о два различита производа што свакако представља још један доказ флексибилности ситема. Након аквизиције података и процеса идентификације неусаглашености производа извршена је анализа података у циљу добијања података који се односе на укупну ефикасност опреме и машина. Подаци су анализирани употребом матлаб технологије и визуелизовани су у оквиру рачунарства у облаку подаци и примери анализе и визуелизације података се могу видети у оквиру поглавља које се односи на софтвер система. У оквиру поглавља које се односи на тестирање система могу се видети слике на којима је систем идентификовао обе класе неусаглашености за које је и обучен.

4.9. Валидација система за контролу квалитета

У процесу валидације система могу се видети подаци који се односе на поређење резултата система у процесу тестирања са подацима које је добио сектор квалитета уз употребу мануелне контроле квалитета. Критеријуми за дефинисање квалитета производа зависе од врсте производа типа неусаглашености као и захтева стандарда и дефинисан је од стране сектора за квалитет. На слици 4.6.6. у поглављу тестирање система представљен је један неусаглашен производ који се налази на левој страни слике и један усаглашен производ који се налази на десној страни слике. Систем је идентификовао неусаглашеност типа пукотина, као што се може видети неусаглашеност овог типа у конкретном случају представља оштећења производа која су јако малих димензија. Мале димензије неусаглашености у овом случају пукотина је теже идентификовати у мануелном процесу контроле квалитета. У табели 4.8 се могу видети резултати ситема са тестирања у односу на мануелну контролу квалитета.

Табела 4.8. Резултати тестирања система

Рб.		Контрола квалитета употребом развијеног система	Контрола квалитета заснована на мануелној контроли
1.	Број узорака	100 производа	100 производа
2.	Време потребно за идентификацију неусаглашености	200 секунди (константно 2 секунде за 1 ком)	500 секунди, кроз време овај број се повећава како опада ниво концентрација
3.	Број неусаглашених производа	5 процената	5 процената
4.	Време складиштења резултата	Подаци се складиште у реалном времену	Подаци се складиште након идентификације свих узорака у виду извештаја, зависи од количине података.
5.	Време формирања извештаја	Извештај је формиран у реалном времену	Потребно је обрадити податке и ручно исписати резултате, зависи од количине података.
6.	Време потребно за визуелизацију	Подаци се визуелизују на више начина у	Након обраде података и креирања извештаја

	података	реалном времену и доступни су на више нивоа организације	потребно је ручно визуелизовати податке, зависи од количине података.
7.	Доступност података	Доступни су у реалном времену, и на више нивоа организације истовремено.	У тренутку формирања података доступни су само запосленом који извршава контролу квалитета.

На основу табеле 4.8. може се закључити да је систем ефикаснији у односу на мануелну контролу квалитета. Предност система се односи на прецизност, поузданост, потребно је мање времена за идентификацију неусаглашености, не захтева константну концентрацију и присуство запосленог. Подаци су доступни у реалном времену, уколико дође до повећања броја неусаглашених производа процес производње се зауставља спречавајући губитке до којих може довести прекомерна производња неусаглашености.

Након спроведених тестова система, извршена је имплементација система на једну од производних машина у циљу идентификације неусаглашених производа. Систем поред идентификације има могућност реакције при идентификацији неусаглашености. У циљу поређења података узет је у обзир временски оквир од 5 радних дана са имплементираним системом и без система односно мануелна контрола података. У табели 4.9. представљени су резултати и доприноси примене система.

Табела 4.9. Резултати примене система

Рб.	Подаци	Контрола квалитета заснована на употреби развијеног система	Мануелна контрола квалитета
1.	Време тестирања	5 радних дана (40 часова)	5 радних дана (40 часова)
2.	Укупан број производа	50 000	50 000
3.	Број неусаглашених производа	460	450
4.	Број рекламација	0	3

На основу резултата примене система може се закључити да систем правилно идентификује неусаглашене производе. Правовремена идентификација неусаглашености доводи до смањења броја рекламација, утиче на задовољство купаца. Што се тиче мануелне контроле квалитета у конкретном примеру извршавао је запослени на производној машини која је извршавала следећу операцију у процесу производње. У овом случају запослени сваки производ узима и позиционира у прибор производне машине према томе имао је увид у сваки од производа. Услед мануелног начина идентификације у неком тренутку дошло је до пада концентрације запосленог обзиром да константно мора пратити квалитет производа дошло је до грешке. На тржишти се појавио неусаглашен производ, што је довело до рекламације. У радној недељи у којој је процес контроле квалитета извршавао развијени систем није било рекламација. Селектоване производе од стране система који су били идентификовани као неусаглашени проверила је служба квалитета. На свим производима идентификована је и потврђена неусаглашеност.

5. Закључна разматрања и смернице за будућа истраживања

Контрола квалитета је један од најзначајних процеса сваке компаније, врло често се заснива на мануелном систему који подразумева одређен број запослених који у одређеним временским интервалима обављају контролу квалитета производа на свакој од производних машина. Свакако процес контроле квалитета се може спровести на више начина фокус овог рада је на визуелној контроли која не подразумева мерење производа већ неусаглашености производа које се могу појавити на повшини истог и могу бити у виду огреботина, рупа, мехура што је свакако у зависности од самог начина производње истог. Неопходно је тежити унапређењу квалитета а то се може постићи континуираним праћењем односно контролом квалитета где се могу увидети недостаци у производном процесу односно где највише настаје грешака чијом елиминацијом се може постићи виши квалитет производа. Применом представљеног система долази се до низа предности у погледу ефикасности, брзине, визуелна контрола је свакако један од монотоних послова који може негативно утицати на запосленог који је спроводи у смислу да после одређеног броја радних часова концентрација опада. Брзина овог система је свакако већа од оне која је потребна запосленом да прегледа производ, доступност података, могућност даље анализе података или заустављања даљег тока производње уколико се појави већи број неусаглашених производа.

Научни циљ ове докторске дисертације се заснива на развоју система за контролу квалитета заснованог на примени компјутерске визије. Систем примењује компјутерску визију, неуронске мреже, алгоритме идентификације, рачунарство у облаку, да би прикупио и анализирао податке из индустријског окружења а који се пре свега односе на контролу квалитета производа односно неусаглашене производе.

Да би се пронашао значај примене оваквог система било је неопходно истражити реалан начин рада малих и средњих компанија. Истраживање је обухватило преко 20 различитих компанија а које се придржавају захтева стандарда ИСО 9001:2015 и које су са седиштем у Србији. Истраживање је показало да је свакако неопходна примена стандарда и да је неопходно испунити захтеве истог.

Развијени систем за контролу квалитета који је заснован на примени компјутерске визије се може користити у процесу контроле квалитета производа у производном окружењу. Фокус је на површинским неусаглашеностима производа обзиром да је примењена технологија која је заснована на прикупљању података камером.

У оквиру овог истраживања дефинисане су полазне хипотезе које су развојем представљеног система доказане. Постављене хипотезе ће бити у наставку текста појединачно анализиране као и начини на које су и потврђене.

XI. Може се развити унапређен систем за контролу квалитета применом компјутерске визије у концепту индустрије 4.0. који резултира бољим перформансама.

На основу истраживања утврђено је да већина малих и средњих компанија користе мануелне начине контроле квалитета. Такав вид контроле квалитета је спор и захтева већи број запослених у сектору контроле квалитета, који су обучени за идентификацију неусаглашености производа. Развијени систем у оквиру ове докторске дисертације који се заснива на примени технологије компјутерске визије је примењен у реалним условима и са реалним проблемима. При развоју система праћени су улазни параметри који су добијени истраживањем. Фокус овог система је на површинској неусаглашености, што заправо пружа могућност интеграције у велики број компанија. Први корак је била обука система као и у реалним условима где запослени врши процес контроле квалитета неопходно му је обука или искуство. За обуку су коришћени реални подаци из производног окржења а који су на основу истраживања препознати као добри производи или као неусаглашени. Обзиром да један запослени може контролисати више различитих производа као и више типова неусаглашености то је представљено и овим системо где постоје две класе неусаглашености. Обука подразумева велики скуп података у оквиру којих је дефинисано шта је неусаглашеност а шта није неусаглашеност. Величина скупа података за обуку утиче на прецизност система, неопходно је тежити што квалитетнијем скупу података. Након дефинисања класа и обуке система неопходно је применити алгоритам за детекцију неусаглашености. Тестирање рада система у лабораторијским условима након чега је спроведена интеграција у производно окружење. Добијени подаци се након обраде складиште употребом рачунарства у облаку, чиме је омогућен приступ подацима у реалном времену.

Добијени подаци су упоређени са реалним подацима који су добијени у оквиру истраживања које је спроведено у производним компанијама а које су процес контроле квалитета извршавале на традиционални начин. Развијени систем даје тачне резултате у поређењу са реалним подацима из производње.

На основу добијених резултата система и реалних података који су добијени истраживањем у оквиру ове докторске дисертације може се закључити да је систем резултирао бољим перформансама и то у погледу:

- Смањења шкарта – Правовремена идентификација неусаглашености производа од стране представљеног система који је имплементиран у производној индустрији при идентификацији неусаглашености зауставља производњу и обавештава надлежног. На основу истраживања овај процес се дешава и у реалним условима где процес контроле квалитета извршава запослени. Предност примене овог система у односу на запосленог се огледа у времену одзива система односно реакције запосленог. Систем делује у тренутку запослени обично надгледа већи број производних јединица па му је неопходно више времена за реакцију истраживање је показало да у зависности од организације компаније ипак се појави одређени број неусаглашених производа на тржишту.

- Брзина у доношењу одлука – У погледу доношења одлука а које се односе на неусаглашеност производа развијени систем је у предности у односу на запосленог време које му је потребно за идентификацију неусаглашености је мање од 2 секунде. Запосленом је потребно више времена и уколико би успео да у том временском оквиру идентификује неусаглашеност после одређеног временског интервала његова концентрација опада и не може истом брзином овај процес поновити што није случај при примени развијеног система.
- Прецизност – Када се узме у обзир време које је потребно за идентификацију неусаглашености као и континуитет рада система наведени фактори не утичу на прецизност доношења одлуке. Док то није случај када исти процес извршава запослени.
- Доступност података – Подаци који су добијени применом овог система су доступни у реалном времену што може значајно утицати на доношење одлука менаџмента.

Х2. Примена система за контролу квалитета који је развијен у оквиру ове докторске дисертације ће довести до повећања ефикасности и ефективности процеса производње и допринети већој тачности и прецизности, смањити могућност појаве неусаглашених производа на тржишту и допринеће бољем одлучивању са аспекта управљања квалитетом.

Примена развијеног система за контролу квалитета доноси бројне бенефите организацији који укључују ефикаснију производњу, висок ниво квалитета производа и бољу позицију на тржишту. Доприноси примене овог система у оквиру друге хипотезе од које се пошло при развоју система су:

- Повећање ефикасности процеса производње: развијени систем захваљујући аутоматизованој идентификацији неусаглашености производа омогућава правовремено идентификовање проблема који настају у току производног процеса. Ово такође смањује време које је било потребно за мануелну идентификацију неусаглашености производ и омогућава организацији да усмери свој фокус на отклањање кључних проблема односно да се фокусира на побољшање како самог производа тако и производног процеса чиме се повећава ефикасност производње. Такође на овај начин се могу уочити уска грла организације чијим уклањањем се постиже ефикаснија производња. На основу истраживања при мануелној контроли квалитета производа одређивање уских грла производње је захтевало дужи временски период у односу на представљени систем.
- Повећање ефикасности производње је у директној спрези са смањењем броја неусаглашених производа. Дакле примена система за контролу квалитета који правовремено идентификује неусаглашеност производа и зауставља даљи ток производње, смањује број неусаглашених производа у односу на мануелну

контролу квалитета чиме се повећава ефикасност производног процеса. На основу ових резултата може се закључити да је неопходно применити корективне мере које ће утицати на даљи ток производње што ће омогућити континуитет у самом производном процесу. Корективне мере ће такође обезбедити мање застоја самим тим што ће запослени сваки пут при застоју производног процеса видети шта је узрок застоја, његовим уклањањем се повећава ефикасност производње.

- Повећање тачности и прецизности: Поред правовремене идентификације неусаглашености производа тачност и прецизност његове идентификације је од суштинског значаја за успешност производње. Висока тачност и прецизност развијеног система доприноси побољшању квалитета производа и смањењу варијација квалитета у самом производном процесу чиме се постиже континуитет производње.
- Смањење појављивања неусаглашених производа на тржишту: Идентификација неусаглашености производа која је настала пре појаве таквог производа на тржишту спречава потенцијалне проблеме са задовољством корисника. Ово директно утиче на репутацију организације и ризик од повлачења производа са тржишта. Такође на овај начин се смањују потенцијални трошкови који подразумевају слање заменских производа корисницима. Чињеница је да систем проверава квалитет сваког производа у производном процесу у односу на мануелну контролу квалитета, на овај начин постоји преглед читаве производње чиме се смањује могућност појаве неусаглашеног производа на тржишту.
- Боље одлучивање и управљање квалитетом: Систем пружа податке у реалном времену о неусаглашеностима производа што омогућава менаџменту да донесе правовремене одлуке у складу са политиком квалитета компаније и реалним подацима. То подразумева идентификацију узрока неусаглашености, правилно постављање приоритета и планирање мера за побољшање.

ХЗ. Унапређени алгоритми и развијен систем доводе до детекције неусаглашености производа у реалном времену на основу захтева стандарда ИСО9001/2015.

На основу захтева стандарда ИСО9001/2015 као и алгоритма који је примењен за развој овог система а који је представљен овим радом може се рећи да су неки од његових доприноса следећи:

- Брза идентификација неусаглашености производа: Унапређени алгоритми пружају могућност систему да брзо анализира визуелне податке у току процеса производње. Као резултат се добијају подаци у реалном времену о идентификацији неусаглашености производа чиме се постиже краћи временски интервал који је потребан за реакцију на проблеме који се могу појавити у производном процесу.
- Смањење губитака ресурса: Правовремена идентификација неусаглашености производа обезбеђује организацији могућност да предузме корективне мере.

Овакав начин реакције система доводи до смањења губитака ресурса, јер спречава како производњу неусаглашених производа тако и дистрибуцију исти чиме се заправо штеди време и ресурси.

- Повећање тачности идентификације неусаглашености: Употреба алгоритама доприноси тачнијој идентификацији неусаглашености, спречавајући могућност за лажно позитивне или негативне резултате квалитета производа. Ово пре свега повећава прецизност система затим помаже у избегавању непотребних интервенција које би захтевале додатна средства.
- Ефикасно управљање променама: Пружа могућност организацији да ефикасније управља променама у производном процесу, идентификацијом неусаглашености које су настале услед промена.
- Континуирано праћење перформанси: Развијени систем омогућава организацији да континуирано прати своје перформансе производње и да ефикасно идентификују области за побољшања.
- Боље управљање ризицима: На основу идентификације неусаглашености која се извршава у реалном времену организација има могућност да проактивно управља ризицима у производном процесу. У конкретном случају ризици који могу довести до пада продуктивности као и квалитета производа произилазе из неусаглашених производа. Ризик да се то догоди је неадекватна контрола квалитета односно повећан број неусаглашених производа који доводи до појаве шкарта на тржишту.
- Смањење рекламација: Правовремена идентификација неусаглашености производа као и кориговање неусаглашености у току производног процеса директно се смањује број рекламација које могу доћи од купаца. Овај допринос се пре свега може посматрати кроз постизање циљева квалитета као и смањења утицаја на искуство корисника производа.
- Ефикасно управљање документацијом о квалитету производа: Од великог значаја за сваку организацију је управљање документацијом у конкретном случају она се односи на неусаглашеност производа као и на податке о тренутном стању производње. Поред могућности прегледа података по данима систем пружа преглед података у реалном времену, што омогућава преглед тренутног стања производње и којим током се она одвија, добијају се подаци о сваком застоју као и о количинама производа који су произведени по свакој смени.

На основу истраживања као и доступне литературе из области контроле квалитета која је заснована на примени технологија које укључују примену компјутерске визије може се закључити да наведена технологија има широку примену. Иако је ова област широка у погледу примене уколико се посматра једна компанија и њена производња иста се може поделити у више класа у зависности од више фактора које треба узети у обзир као што су начин производње, материјал, машина итд. На основу наведеног свака производна машина добија један уграђени систем, више машина односно више уграђених система и умрежених чине умрежену производњу у један сложенији систем који као такав поред прегледа података који се односе на контролу квалитета производа пружа шири спектар података о самој производњи

компаније. Свакако у зависности од потреба компаније као и њене величине у смислу броја производних машина као и у зависности од потреба систем постаје сложенији у погледу више интегрисаних система у један. Представљени систем у оквиру ове докторске дисертације представља један од система И4.0. уз примену технологија машинске визије, Интернет ствари, рачунарства у облаку, примена алгоритама за идентификацију. Представљеним системом се може добити шири спектар података који подразумева укупну ефикасност опреме и машина, неусаглашеност производа, шкарт, укупан број произведених производа на машини, време застоја машине, сви подаци су представљени и додатно обрађени применом MatLab у оквиру рачунарства у облаку.

Фокус представљеног система је на развоју система за идентификацију неусаглашених производа, ово даље укључује примену хардвера и софтвера. Хардверски део система је фокусиран на могућност мобилности система која подразумева имплементацију хардвера са једне производне машине на другу у случају да је то неопходно. Свакако основна хардверска јединица се заснива на примени камере која прикупља слике производа на производној машини или производној линији. Софтверски део система је развијен за идентификацију неусаглашености производа, заснива се на алгоритмима за идентификацију објеката, обучен је на реалним подацима и реалним проблеми који се могу појавити у процесу ливења. Систем је обучен за две класе неусаглашености, мобилност система као његова флексибилност је уско везана за обуку истог. Добијени подаци су складиштени у облаку и додатно анализирани употребом матлаба. Основни циљ је смањење броја неусаглашених производа, смањење губитака, побољшање квалитета производа што се може постићи правовременом контролом квалитета производа.

Даља истраживања ће бити усмерена на умрежавање производних машина које ће имати удаљену базу података за сваку од машина у оквиру производње. Подразумеваће примену представљеног система али обученог за класе неусаглашености које се могу појавити на свакој од производних машина. Овакав систем може омогућити планирање производње, контролу квалитета читаве производње једне компаније, податке у реалном времену који се могу односити поред квалитета производа и на тренутан број произведених производа, ефикасност свих машина као и за губитке и шкарт који се може појавити у производњи.

Применом алгоритама за идентификацију класа објеката у конкретном сличају неусаглашености производа и обуком система за специфичну намену добијени су резултати система. Као што је представљено у оквиру ове докторске дисертације систем је могуће обучити за идентификацију већег броја класа односно неусаглашености, такође фокус имплементације овог система је на примени у оквиру индустријских услова. Свакако овај систем се може примењивати за контролу квалитета производа у оквиру центра за квалитет компаније где запослени може проверити већи број различитих производа што даје предност систему тј. његовој намени смањује му ограничење у смислу везаности за одређену машину или производ. Алгоритам као и хардверски део система је пре свега тестиран у оквиру центра за квалитет факултета инжењерских наука, потом и у индустријским условима рада.

Анализом добијених резултата дошло се до података који су успели смањити даљу производњу шкарта као и појаве неусаглашених производа на тржишту. Захваљујући складиштењу података у облаку, могуће је управљати подацима односно

вршити анализе или припремати извештаје, на дневном нивоу, подацима се може приступати независно од типа платформе. Такође на овај начин прикупљања података поред оних који се односе на неусаглашеност производа компанија има детаљни преглед производње по свакој машини или запосленом, што такође представља један од бенефита примене овог система, у сваком тренутку можемо имати преглед производње, може се закључити где имамо највише губитака односно где се производи највећи број неусаглашених производа. Сам начин визуелизације података је могуће кориговати као и поставити услове који ће директно бити везани за сам број неусаглашених производа који су детектовани овим системом на основу чега се може добити правовремена реакција система. Иако је могуће применити наведене функционалности овог система фокус је свакако на самој идентификацији неусаглашености. Време обуке система зависи од хардверских спецификација као и количине података обзиром да се ради о великом броју слика нарочито уколико се узме у обзир већи број класа непходно је примењивати хардвер који поседује већи број процесорских језгара.

Поред главног фокуса система а који се односи на идентификацију неусаглашености производа односно контролу квалитета овим системом се успешно добијају подаци укупне ефикасности опреме и машина. Сви резултати система су складиштени у облаку (енгл. Cloud). Податак укупне ефикасности опреме и машина је од великог значаја за сваку компанију из више разлога најважнији су свакако ефикасност опреме, правовремено одржавање као и планирање одржавања опреме, преглед стања производње по свакој машини. Матлаб анализом података и на основу формула изражена је укупна ефикасност опреме и машина подаци су складиштени у виду графика у облаку. На основу резултата а и на основу искуства и реалних података до којих се може доћи увидом у рад машина у оквиру једне производње може се закључити да је јако тешко остварити ефикасност опреме у вредности 100%. Најчешћи разлог је неадекватно одржавање опреме, без неког система праћења овај податак није у фокусу. Међутим ефикасност опреме и машина поред количине производа које производи односно које би требала произвести утиче и на квалитет истих. Машина уколико је оштећена и не функционише на начин на који је предвидео конструктор машине може оштетити сам производ односно може производити неусаглашене производе. Такође уколико се ради о машини која на себи поседује резне алате временом они се хабају и неопходно их је мењати неадекватна замена или замена која није обављена у предвиђеном временском оквиру може оштетити производ. Свакако употребом представљеног система добијају се подаци о броју неусаглашених производа али даљом анализом самих производа као и података који се односе на укупну ефикасност опреме и машина може се доћи до узрока настанка неусаглашених производа. Уколико се на време открије узрок што би овај систем омогућио спречавају се даљи губици профита. Свакако даљом анализом података може се доћи и до података који се односе на искоришћеност резне опреме, може се дефинисати уколико то већ није дефинисано време одржавања машина, може се предвидети даљи ток производње производа.

Са смањењем броја експерата у области контроле квалитета а и обзиром да се захтевају велике брзине контроле производа ова технологија се намеће као једно од добрих решења за наведени проблем. Поред брзине предност ове технологије је и прецизност, опште је познато да запослени који раде монотоне послове какав је један од њих и контрола квалитета са временом њихова прецизност као и брзина опада што

није случај са системом који је представљен у овој докторској дисертацији. У односу на претходне студије, предложени систем има низ научних доприноса.

Први допринос: систем је развијен на основу потреба великог броја компаније за решењем контроле квалитета са потребом имплементације система у оквиру производне индустрије. Имплементација камере на некој од постојећих производних машина или производних линија за разлику од претходних студија фокус камере је према излазу производа или полу производа са машине где се непосредно након производње утврђује неусаглашеност производа. Свакако камера не мора нужно бити везана за одређену локацију на машини, њено померање неће угрозити функционалност и прецизност алгорита.

Други допринос: велики број студија се заснива на алгоритмима поређења док се јако мали број заснива на примени алгорита за детекцију објеката, у оквиру овог система примењен је алгоритам за детекцију објеката али је фокус алгорита на детекцији класа на производу или полупроизводу. То даје предност овом систему у смислу могућности детекције неусаглашености на више различитих производа или полупроизвода без обзира на њихов облик или величину. То чини овај систем универзалнијим и флексибилнијим потребама компаније. То даље имплицира да систем који је уграђен и уско везан за једну од производних машина се може пребацити у неком тренутку на другу машину и он ће наставити даље да ради. Наравно неопходно је обратити пажњу на класе на којима је систем обучен како би могао коректно идентификовати неусаглашеност производа.

Трећи допринос: се односи на могућност употребе система у циљу обуке запослених, уколико имамо један систем у компанији а велики број машина, систем би могао да се постави у оквиру центра за квалитет где би запослени донео производ за који мисли да је неусаглашен и поставио у фокус камере након чега би добио преглед слике са ознакама неусаглашености. Како је чест сличај да се суочавамо са недовољно запослених у сектору контроле квалитета овај систем се намеће као погодно решење за обуку новозапослених у сектору контроле квалитета који немају довољно искуства а и уколико га имају овај систем представља брзу проверу производа. У зависности од потреба компаније систем се може обучити за велики број класа што би запосленима олакшало посао контроле квалитета.

Четврти допринос: претходне студије нису у оквиру истог система долазиле до потребе добијања података укупне ефикасности опреме и машина, у оквиру овог рада систем поред детекције неусаглашености производа прикупља податке укупне ефикасности опреме и машина. Поред самог прегледа података који су складиштени у облаку, може се пратити свака машина наравно уколико се систем имплементира на више машина чиме би се машине умрежиле добија се преглед читаве производње. У сваком тренутку се може знати која од машина прави највише неусаглашених производа, као и преглед тренутног стања производње, може се планирати превентивно одржавање.

Полазећи од хипотеза ове докторске дисертације свакако једна од најзначајних за сваку компанију односи се на потребна средства за имплементацију система контроле квалитета. Предност овог система се огледа у малим средствима која су потребна а с друге стране посматрано то није смело утицати на функционалност система. Флексибилност система која подразумева лаку имплементацију на производне машине, камера на себи поседује носач који се причвршћује за конструкциони

алуминијумски профил пружајући могућност лаке монтаже односно демонтаже система.

Посматрано са аспекта контроле квалитета производа у оквиру производне индустрије а у зависности од величине компаније односно броја производа-полупроизвода, машина и запослених неопходан је и одређен број запослених у области контроле квалитета. Свакако све компаније теже унапређењу своје производње, па како производи постају сложенијег дизајна и како њихова контрола квалитета постаје један од монотоних послова који након одређеног времена рада запосленог његова концентрација опада, неопходна је примена савремених технологија један од примера је ова докторска дисертација односно систем који је развијен. Неопходно је тежити флексибилности система, његова прилагодљивост као и брзина детекције неусаглашености производа су од суштинског значаја за компанију. Такође потребна средства за имплементацију ових система нарочито уколико се ради о великим компанијама, развијени системи обично захтевају велика средства неопходно је тежити константном унапређењу система али и смањењу потребних средстава.

Иако је основни фокус развијеног система на идентификацији неусаглашености производа податке које складишти у облак могу се користити за даљу анализу производње, може менаџерима помоћи у доношењу одлука. Може управљати подацима и представљати их у зависности од потреба компаније, количина складиштених података као и сама обрада истих такође зависи од потреба компаније у којој се систем примењује. Систем се може даље развијати у погледу већег броја дефинисаних класа неусаглашености производа, што свакако зависи од потреба компаније као и од саме примене система обзиром да је представљено више могућих примена. Начин визуелизације се може прилагодити у зависности од сектора компаније који ће исте користити, и представити на њима прихватљив начин. Исправност машине може утицати на квалитет производа који производи, на овај начин поред саме контроле квалитета можемо имати и преглед стање по машинама на основу чега се може закључити где су уска грла производње односно где се највише производи неусаглашених производа. Даље унапређење овог модула система може се кретати у развоју и имплементацији универзалног харвера који ће својом имплементацијом прикупљати податке са машина. Представљени подаци се могу користити и за планове одржавања производње у оквиру једне компаније, исправност свих машина као и време израде производа уколико су машине одржаване на одговарајући начин односно како је произвођач истих предвидео може утицати у великој мери на квалитет производа, брзину односно одзив производње, број неусаглашених производа, број шкарт производа и свакако на профит компаније.

Представљени систем не захтева велика средства, имплементација је олакшана колико је то сама технологија дозволила, носач на који је постављена камера се може премести са једне машине на другу, фокус камере се постави на предмет идентификације хардверски посматрано имплементација је завршена. Уколико је систем претходно обучен за идентификацију неусаглашености производа који се производе на машини на којој је постављен, неопходно је покренути систем. Свакако уколико је реч о класи за коју систем није обучен неопходно је обучити систем за нову класу неусаглашености или извршити обуку за велики број класа које су специфичне за одређену компанију или производе које она производи или глобално посматрано за саму врсту производње. Смањује се одговорност оператера који ради на одређеној машини посматрано како иначе систем функционише пре имплементације

представљеног система оператер ради на одређеној машини одговоран је како за исправно функционисање машине тако и за правилно произведене полупроизводе или производе на истој у случају повећаног броја неусаглашених производа обавештава надређеног, сваки застој машине евидентира, предаје учинке на крају сваке смене. Како би запослени радио након имплементације система: систем евидентира застоје, број производа, број неусаглашених производе, формира извештај и прорачунава укупну ефикасност опреме на којој запослени ради. Уколико се појави већи број узастопно неусаглашених производа звучно се обавештава оператер и зауставља машина у циљу спречавања појаве већег броја неусаглашености. Што свакако говори да уколико у неком тренутку дође до замене оператера то ће свакако захтевати мање времена за обуку него што је некада било потребно. Из угла запосленог у сектору контроле квалитета уколико је реч о компанији која има већи број производних машина запослени периодично мора проверавати произведене позиције. У случају употребе система довољно је да прати извештаје, на основу којих може реаговати правовремено уколико дође до повећаног броја неусаглашености на одређеној машини. Са аспекта обучености запосленог у сектору квалитета није неопходно да он буде експерт у својој области, такође применом овог система смањује се број потребних запослених у овом сектору. Поред контроле квалитета ови подаци су од великог значаја за планирање производње као и преглед реалног стања исте.

Литература

1. Akundi Aditya, Reyna Mark, (2021), A Machine Vision Based Automated Quality Control System for Product Dimensional Analysis, *Procedia Computer Science*, Volume 185, Pages 127-134, ISSN 18770509, DOI:10.1016/j.procs.2021.05.014.
2. Albers Albert, Gladysz Bartosz, Pinner Tobias, Butenko Viktoriia, Stürmlinge Tobias, (2016), Procedure for defining the system of objectives in the initial phase of an industry 4.0 project focusing on intelligent quality control systems, *ScienceDirect, Procedia CIRP* 52, 262 – 267, ISSN 22128271, DOI: 10.1016/j.procir.2016.07.067.
3. Almazán-Lázaro Juan-Antonio, López-Alba Elías, Díaz-Garrido Francisco-Alberto, (2022), Applied computer vision for composite material manufacturing by optimizing the impregnation velocity: An experimental approach, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 74, Pages 52-62, ISSN: 15266125, DOI: 10.1016/j.jmapro.2021.11.063.
4. Andrés Mauricio, Hernández Zamora, Castro Vargas John Alejandro, Lopez JorgeAzorin, Rodriguez Jose Garcia, (2021), Deep learning-based visual control assistant for assembly in Industry 4.0, *Computers in Industry*, Volume 131, 103485, ISSN 01663615, DOI 10.1016/j.compind.2021.103485.
5. Bao Nengsheng, Fan Yuchen, Luo Zhaopeng, Li Chaoping, Simeone Alessandro, Zhang Chunsheng, (2023), A deep learning-based process monitoring system for toothbrush manufacturing defect characterization, *Procedia CIRP*, Volume 118, Pages 1072-1077, DOI: 10.1016/j.procir.2023.06.184
6. Bal Hasan Çebi, Erkan Çisil, (2019), Industry 4.0 and Competitiveness, *Procedia Computer Science*, Volume 158, Pages 625-631, ISSN 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.096.
7. Basak Shreeja, Baumers Martin, Holweg Matthias, Hague Richard, Tuck Chris, (2022), Reducing production losses in additive manufacturing using overall equipment effectiveness, *Additive Manufacturing*, Volume 56, Pages 102904, ISSN: 22148604, DOI: 10.1016/j.addma.2022.102904.
8. Basamaklis Fotios Panagiotis, Bavelos Angelos Christos, Dimosthenopoulos Dimosthenis, Papavasileiou Apostolis, Makris Sotiris, (2022), Deep object detection framework for automated quality inspection in assembly operations, *Procedia CIRP*, Volume 115, Pages 166-171, DOI:10.1016/j.procir.2022.10.068.
9. Baghezzi R., Bouchard K., Bouzouane A., Gouin-Vallerand C., (2020), Activity Recognition in the City using Embedded Systems and Anonymous Sensors, *Procedia Computer Science*, Volume 170, Pages 67-74, ISSN: 18770509 DOI: 10.1016/j.procs.2020.03.140.
10. Büchi Giacomo, Cugno Monica, Castagnoli Rebecca, (2020), Smart factory performance and Industry 4.0, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 150, 119790, ISSN 00401625, DOI: 10.1016/j.techfore.2019.119790.
11. Bigliardi Barbara, Bottania Eleonora, Giorgia Casella, (2020), Enabling technologies, application areas and impact of industry 4.0: a bibliographic analysis, *Procedia Manufacturing*, Volume 42, Pages 322-326, ISSN 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.086.

12. Boyes Hugh, Hallaq Bil, Cunningham Joe, Watson Tim, (2018), The industrial internet of things (IIOT): An analysis framework, Computers in Industry, Volume 101, Pages 1-12, ISSN: 01663615, DOI: 10.1016/j.compind.2018.04.015.
13. Brogan.P Daniel, DiFilippo.M Nicholas, Jouaneh.K Musa, (2021), Deep learning computer vision for robotic disassembly and servicing applications, Array, Volume 12, 100094, ISSN:25900056, DOI:10.1016/j.array.2021.100094.
14. Cacace Stefania, Giacomazzi Simone, Semeraro Quirico, (2021), Estimation of the accuracy of measurement of internal defects in X-ray Computed Tomography, Procedia CIRP, Volume 99, Pages 284-289, ISSN 22128271, DOI: 10.1016/j.procir.2021.03.042.
15. Chai Junyi, Zeng Hao, Lic Anming, Ngai Eric W.T, (2021), Deep learning in computer vision: A critical review of emerging techniques and application scenarios, Machine Learning with Applications, Volume 6, 100134, ISSN 26668270, DOI: 10.1016/j.mlwa.2021.100134.
16. Cerquitelli T., Nikolakis N., Bethaz P., Panicucci S., Ventura F., Macii E., Andolina S., Marguglio A., Alexopoulos K., Petrali P., Pagani A., Wilgen P.van, Ippolito M., (2020), Enabling predictive analytics for smart manufacturing through an IIOT platform, IFAC-PapersOnLine, Volume 53, Issue 3, Pages 179-184, ISSN: 24058963, DOI:10.1016/j.ifacol.2020.11.029.
17. Cercós M. Pilar, Luis Miguel Calvo, Rosario Domingo, (2019), An exploratory study on the relationship of Overall Equipment Effectiveness (OEE) variables and CO2 emissions, Procedia Manufacturing, Volume 41, Pages 224-232, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2019.07.050.
18. Culot Giovanna, Orzes Guido, Marco Sartor, Guido Nassimbeni, (2020), The future of manufacturing: A Delphi-based scenario analysis on Industry 4.0, Technological Forecasting and Social Change, Volume 157, 120092, ISSN 00401625, DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120092.
19. Cronin Con, Conway Andrew, Walsh Josep (Prof), (2019), Flexible manufacturing systems using IIOT in the automotive sector, Procedia Manufacturing, Volume 38, Pages 1652-1659, ISSN:23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.119.
20. Chehri Abdellah, Zimmermann Alfred, Schmidt Rainer, Masuda Yoshimasa, (2021), Theory and Practice of Implementing a Successful Enterprise IOT Strategy in the Industry 4.0 Era, Procedia Computer Science, Volume 192, Pages 4609-4618, ISSN: 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2021.09.239.
21. Cho Jaemin, Kang Sangseung, Kim Kyekyung, (2022), Real-time precise object segmentation using a pixel-wise coarse-fine method with deep learning for automated manufacturing, Journal of Manufacturing Systems, Volume 62, Pages 114-123, DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.11.004
22. Dhungana Deepak, Haselböck Alois, Meixner Sebastian, Schall Daniel, Schmid Johannes, Trabesinger Stefan, Wallnerb Stefan, (2021), Multi-factory production planning using edge computing and IIOT platforms, Journal of Systems and Software, Volume 182, ISSN: 01641212, DOI: 10.1016/j.jss.2021.111083.
23. Donauer, M., Peças, P., & Azevedo, A. (2015). Identifying nonconformity root causes using applied knowledge discovery. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 36, 84-92, ISSN: 07365845, DOI:10.1016/j.rcim.2014.12.012.
24. Dobra Peter, Josvai Janos, (2021), Enhance of OEE by hybrid analysis at the automotive semi-automatic assembly lines, Procedia Manufacturing, Volume 54, Pages 184-190, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2021.07.028.

25. Dogaru Lucreția, (2020), The Main Goals of the Fourth Industrial Revolution. Renewable Energy Perspectives, Procedia Manufacturing, Volume 46, Pages 397-401, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.03.058.
26. Doowon Kim, Majid TabkhPaz, Simon Park S., Jihyun Lee. (2023), Development of a vision-based automated hole assembly system with quality inspection, Manufacturing Letters, Volume 35, Supplement, Pages 64-73, DOI: 10.1016/j.mfglet.2023.08.018.
27. Deshpande Sourabh, Roy Aditi, Johnson Joshua, Fitz Ethan, Kumar Manish, Anand Sam, (2023), Smart monitoring and automated real-time visual inspection of a sealant applications (SMART-VIStA), Manufacturing Letters, Volume 35, Supplement, Pages 1134-1145, DOI: 10.1016/j.mfglet.2023.08.115
28. Du Yinchao, Chen Jiangpeng, Zhou Han, Yang Xiaoling, Wang Zhongqi, Zhang Jie, Shi Yuechun, Chen Xiangfei, Zheng Xuezhe, (2023), An automated optical inspection (AOI) platform for three-dimensional (3D) defects detection on glass micro-optical components (GMOC), Optics Communications, Volume 545, 129736, DOI:10.1016/j.optcom.2023.129736
29. Ettalibi Abdelfatah, Elouadi Abdelmajid, Mansourb Abdeljebar, (2024) AI and Computer Vision-based Real-time Quality Control: A Review of Industrial Applications, ScienceDirect, Procedia Computer Science 231 (2024) 212–220, DOI: 10.1016/j.procs.2023.12.195
30. Fonseca Luis Miguel, Domingues José Pedro, (2017), Reliable and Flexible Quality Management Systems in the Automotive Industry: Monitor the Context and Change Effectively, Procedia Manufacturing, Volume 11, Pages 1200-1206, ISSN 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.245.
31. Frustaci Fabio, Perri Stefania, Cocorullo Giuseppe, Corsonello Pasquale, (2020), An embedded machine vision system for an in-line quality check of assembly processes, Procedia Manufacturing, Volume 42, Pages 211-218, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.072.
32. Gallo Tommaso, Santolamazza Annalisa, (2021), Industry 4.0 and human factor: How is technology changing the role of the maintenance operator?, Procedia Computer Science, Volume 180, Pages 388-393 ISSN: 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2021.01.364.
33. Gamme Inger, Lodgaard Eirin, (2019), Organizational or system boundaries; possible threats to continuous improvement process, Procedia CIRP, Volume 79, Pages 505-510, ISSN: 22128271, DOI: 10.1016/j.procir.2019.02.107.
34. Górski, Adam, Maciej J. Ogorzałek. (2018), "Assignment of Unexpected Tasks for a Group of Embedded Systems." IFAC-PapersOnLine, vol. 51, no. 6, pp. 102–06. ISSN: 24058963, DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.07.137.
35. Grevenitis K., Psarommatis F., Reina A., Xu W., Tourkogiorgis I., Milenkovic J., Cassina J., Kiritsis D., (2019), A hybrid framework for industrial data storage and exploitation, Procedia CIRP, Volume 81, Pages 892-897, ISSN 22128271, DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.221.
36. Giefera Lino Antoni, Arango Juan Daniel, Faghihabdolahi Maryam, (2020) Michael FreitagOrientation detection of fruits by means of convolutional neural networks and laser line projection for the automation of fruit packing systems, Procedia CIRP, Volume 88, Pages 533-538, DOI: 10.1016/j.procir.2020.05.092

37. Groumpos Peter P., (2021), A Critical Historical and Scientific Overview of all Industrial Revolutions IFAC-PapersOnLine, Volume 54, Issue 13, Pages 464-471, ISSN: 24058963, DOI:10.1016/j.ifacol.2021.10.492.
38. Hoyle David, (2009), Part 7 Complying with ISO 9001 Section 8 Requirements on Measurement, Analysis and Improvement, ISO 9000 Quality Systems Handbook - updated for the ISO 9001:2008 standard (Sixth Edition) Using the standards as a framework for business improvement, Pages 553-561, ISBN: 9781856176842, DOI:10.1016/B978-1-85617-684-2.00055-4.
39. Horváth Dóra, Roland Zs.Szabó, (2019), Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?, Technological Forecasting and Social Change, Volume 146, Pages 119-132, ISSN 00401625, DOI: 10.1016/j.techfore.2019.05.021.
40. Ha Jong Moon, Seung Hong Min, Choi Wonjae, (2021), Autoencoder-based detection of near-surface defects in ultrasonic testing, Ultrasonics, Volume 119, 106637, ISSN 0041624X, DOI: 10.1016/j.ultras.2021.106637.
41. Haleem Noman, Bustreo Matteo, Bue Alessio Del, (2021), A computer vision based online quality control system for textile yarns, Computers in Industry, Volume 133, 103550, DOI:10.1016/j.compind.2021.103550.
42. Izaddoost Alireza, Siewierski Matthew, (2020), Energy Efficient Data Transmission in IOT Platforms, Procedia Computer Science, Volume 175, Pages 387-394, ISSN 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2020.07.055.
43. ISO 9001:2015 "Quality management systems. Fundamentals and vocabulary".
44. International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015 quality management systems – requirements. Geneva: Author.
45. Inman Robert R., Blumenfeld Dennis E., Huang Ningjian, Li Jingshan, (2010), Designing production systems for quality: Research opportunities from an automotive industry perspective, International Journal of Production Research, ISSN 0020-7543, DOI: 10.1080/0020754031000077293.
46. Javaid Mohd, Haleem Abid, Singh Ravi Pratap, Raba Shanay, Suman Rajiv, (2022), Exploring impact and features of Machine Vision for progressive Industry 4.0 culture, Sensors International, 100132, ISSN 26663511, DOI: 10.1016/j.sintl.2021.100132.
47. Javaid Mohd, Haleem Abid, Sing Ravi Pratap, Suman Rajiv, (2021), Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector, Sensors International, Volume 2, 100109, ISSN 26663511, DOI: 10.1016/j.sintl.2021.100109.
48. Javaid Mohd, Haleem Abid, Singh Ravi Pratap, Rab Shanay, Suman Rajiv, (2021), Upgrading the manufacturing sector via applications of Industrial Internet of Things (IIOT), Sensors International, Volume 2, 2021, ISSN: 26663511, DOI: 10.1016/j.sintl.2021.100129.
49. Javaid Mohd, Haleem Abid, Singh Ravi Pratap, Rab Shanay, Suman Rajiv, (2021), Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications, Sensors International, Volume 2, ISSN: 26663511, DOI: 10.1016/j.sintl.2021.100110.
50. Ji Haorui, Liu Manhao, He Ge, Zhou Li, Du Yu, (2018), Quality stability evaluation model based on intelligent control, IFAC-PapersOnLine, Volume 51, Issue 32, Pages 99- 104, ISSN 24058963, ISSN 24058963, DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.361.

51. Jiang Ning, Wang Jinlei, Kong Linghui, Yhang Shu, Dong Junyu, (2021), Optimization of Underwater Marker Detection Based on YOLOv3, *Procedia Computer Science*, Volume 187, Pages 52-59, ISSN: 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2021.04.106.
52. Kabashkin Igor, (2019), Reliability of Cluster-Based Nodes in Wireless Sensor Networks of Cyber Physical Systems, *Procedia Computer Science*, Volume 151, Pages 313-320, ISSN: 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2019.04.044.
53. Karkoszka T., (2017), Operational monitoring in the technological process in the aspect of occupational risk, *Procedia Manufacturing*, Volume 13, Pages 1463-1469, ISSN 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2017.09.192.
54. Koucha Yacine, Forbes Alistair, Yang Qing Ping, (2021), A Bayesian conformity and risk assessment adapted to a form error model, *Measurement: Sensors*, Volume 18, Pages 100330, ISSN: 26659174, DOI: 10.1016/j.measen.2021.100330.
55. Kolesnyk Olha, Bubeník Peter, Čapeka Juraj, (2021), Cloud platform for learning factories, *Transportation Research Procedia*, Volume 55, Pages 561-567, ISSN: 23521465, DOI: 10.1016/j.trpro.2021.07.022.
56. Khan Asharul Islam, Al-Habsi Salim, (2020), Machine Learning in Computer Vision, *Procedia Computer Science*, Volume 167, Pages 1444-1451, ISSN 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2020.03.355.
57. Kullig Niclas, Lämmel Philipp, Tcholtchev Nikolay, (2020), Prototype Implementation and Evaluation of a Blockchain Component on IOT Devices, *Procedia Computer Science*, Volume 175, Pages 379-386, ISSN 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2020.07.054.
58. Kechaou Fatma, Zolghadri Marc, Sid-Ali Addouche, (2019), Closed-loop Control of Decision System and Equipment Effectiveness, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 52, Issue 13, Pages 636-641, ISSN: 24058963, DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.095.
59. Klimecka-Tatar Dorota, Ingaldi, Manuela, (2022), Digitization of processes in manufacturing SMEs-value stream mapping and OEE analysis, *Procedia Computer Science*, Volume 200, Pages 660-668, ISSN: 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2022.01.264.
60. Ligarski, M. J. (2012). Problem identification method in certified quality management systems. *Quality & Quantity*, 46(1), 315-321, ISSN: 0033-5177, 1573-7845, DOI: 10.1007/s11135-010-9356-2.
61. Lixandru Catalina Gabriela, (2016), Supplier Quality Management for Component Introduction in the Automotive Industry, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 221, Pages 423-432, ISSN 18770428, DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.05.132.
62. Louw Louis, Droomer Marli, (2019), Development of a low cost machine vision based quality control system for a learning factory, *Procedia Manufacturing*, Volume 31, Pages 264-269, ISSN: 23519789, DOI:10.1016/j.promfg.2019.03.042.
63. Liepiņa Raimonda, Lapiņa Inga, Mazais Jānis, (2014) Contemporary issues of quality management: relationship between conformity assessment and quality management, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 110, Pages 627-637, ISSN: 18770428, DOI:10.1016/j.sbspro.2013.12.907.
64. Liu Jen-Li, Wang Li-Chih, Chu Pei-Chun, (2019), Development of a Cloud-based Advanced Planning and Scheduling System for Automotive Parts Manufacturing

- Industry, Procedia Manufacturing, Volume 38, Pages 1532-1539, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.133.
65. Martikkala Antti, David Joe, Labov Andrei, Lanz Minna, Ituarte Iñigo Flores, (2021), Trends for Low-Cost and Open-Source IOT Solutions Development for Industry 4.0, Procedia Manufacturing, Volume 55, Pages 298-305, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2021.10.042
66. Müller M. Julian, (2019), Contributions of Industry 4.0 to quality management - A SCOR perspective, IFAC-PapersOnLine, Volume 52, Issue 13, Pages 1236-1241, ISSN 24058963, DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.367.
67. Mijailović Đorđe, Karabašević Darjan, Stanujkić Dragiša, (2018), DEVELOPMENT OF THE SYSTEM FOR MONITORING AMBIENTAL FACTORS BY APPLYING ARDUINO PLATFORM, Trendovi u poslovanju, Broj 12, Stranica 37-45, ISSN 2334-8356, DOI 10.5937/TrendPos1802037M
68. Mijailović Đorđe, Đorđević Aleksandar, Stefanović Miladin, Vidojević Dejan, Gayiyulina Albina, Projović Damir, (2021), A Cloud-Based with Microcontroller Platforms System Designed to Educate Students within Digitalization and the Industry 4.0 Paradigm, sustainability, ISSN 2071-1050, DOI: 10.3390/su132212396
69. Mijailović Đorđe, Klochkov Yury, Mišić Milan, Đorđević Aleksandar, Stojčetić Bojan, Pavlović Aleksandar, (2020), ICT Leadership as Enabler of Business performances: An integrative approach, International Journal for Quality Research, ISSN 1800-6450, DOI – 10.18421/IJQR16.01-12.
70. Mijailović Đorđe, Đorđević Aleksandar, Stefanović Miladin, Erić Milan, (2023), QUALITY CONTROL IN THE MANUFACTURING INDUSTRY BASED ON THE APPLICATION OF COMPUTER VISION, 14th International Quality Conference, Quality Festival 2023, Kragujevac, 2023, 24-27 May, pp. 681-688, ISBN 978-86-6335-104-2.
71. Mijailović Đorđe, Đorđević Aleksandar, Stefanović Miladin, Erić Milan, (2023), IDENTIFICATION OF PRODUCT NONCONFORMITIES USING COMPUTER VISION ALGORITHMS, 14th International Quality Conference, Quality Festival 2023, Kragujevac, 2023, 24-27 May, pp. 699-708, ISSN 978-86-6335-104-2.
72. Monteiro Carlos, Ferreira Luís P., Fernandes Nuno O., Silva F.J.G., Amaral Ivo, (2019), Improving the Machining Process of the Metalwork Industry by Upgrading Operative Sequences, Standard Manufacturing Times and Production Procedure Changes, Procedia Manufacturing, Volume 38, Pages 1713-1722, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.106.
73. Murugaiyan Pachayappan, Ganeshkumar C, Sugundan Narayanasamy, (2020), Technological implication and its impact in agricultural sector: An IOT Based Collaboration framework, Procedia Computer Science, Volume 171, Pages 1166-1173, ISSN 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2020.04.125.
74. Nguyen Huong Giang, Franke Jörg, (2021), Deep learning-based optical inspection of rigid and deformable linear objects in wiring harnesses, Procedia CIRP, Volume 104, 2021, Pages 1765-1770, DOI:10.1016/j.procir.2021.11.297
75. Oliveira Antonino Pablo, Capilla Rafael, Pelliccione Patrizio, Schnicke Frank, Espen Daniel, Kuhn Thomas, Schmid Klaus, (2022), A Quality 4.0 Model for architecting industry 4.0 systems, Advanced Engineering Informatics, Volume 54, 101801, DOI: 10.1016/j.aei.2022.101801

76. Oliveira Rui, Taki Sahar Azadi, Sousa Sérgio, Salimi Mohammad Amin, (2019), Global Process Effectiveness: When Overall Equipment Effectiveness Meets Adherence to Schedule, *Procedia Manufacturing*, Volume 38, Pages 1615-1622, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.123.
77. Oks Sascha Julian, Max Sebastian Zöllner, Fuchs Jalowski Jonathan, Möslin Kathrin M., (2021), Embedded vision device integration via OPC UA: Design and evaluation of a neural network-based monitoring system for Industry 4.0, *Procedia CIRP*, Volume 100, Pages 43-48, ISSN 22128271, DOI: 10.1016/j.procir.2021.05.007.
78. Okpala Charles, Chikwendu Anozie, Stephen Chima, Mgbemena Chika Edith, (2020), The optimization of overall equipment effectiveness factors in a pharmaceutical company, *Heliyon*, Volume 6, Issue 4, ISSN: 24058440, DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e03796.
79. Oqaidi Mohammed, Ait Abdelouahid, Rachida Marzak Abdelaziz, (2021), Logical Computer Vision on IOT, *Procedia Computer Science*, Volume 191, Pages 505-510, ISSN 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2021.07.065.
80. Pasika Sathish, Gandla Sai Teja, (2020), Smart water quality monitoring system with cost effective using IOT, *Heliyon*, Volume 6, Issue 7, e04096, ISSN 24058440, DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04096.
81. Popper Jens, Harms Carsten, Ruskowski Martin, (2020), Enabling reliable visual quality control in smart factories through TSN, *Procedia CIRP*, Volume 88, Pages 549-553, ISSN 22128271, DOI: 10.1016/j.procir.2020.05.095.
82. Powell Daryl, Eleftheriadis Ragnhild, Myklebust Odd, (2021), Digitally Enhanced Quality Management for Zero Defect Manufacturing, *Procedia CIRP*, Volume 104, Pages 1351-1354, ISSN: 22128271, DOI: 10.1016/j.procir.2021.11.227.
83. Raj Kamal, (2019), *Embedded Systems: architecture, programming and design*, Tata Mc Graw Hill Education, ISBN 9780070667648.
84. Raskin Denis, Vassilieva Alexei, Samarina Vasili, Cabezas Diego, Hiererra Siti Elda, Kurniawan Yohannes, (2018), Rapid prototyping of distributed embedded systems as a part of Internet of Things, *Procedia Computer Science*, Volume 135, Pages 503-509, ISSN: 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2018.08.202;
85. Rahman Md. Sazzadur, Ghosh Tapotosh, Aurna Nahid Ferdous, Kaiser M. Shamim, Anannya Mehrin, Hosen A.S.M. Sanwar, (2023), Machine learning and internet of things in industry 4.0: A review, *Measurement: Sensors*, Volume 28, 100822, DOI: 10.1016/j.measen.2023.100822
86. Raghd Esmaeel Ibrahim, Zakuan Norhayati, Mohd Noriza Jamal, Hamed Taherdoost, (2018), Understanding of business performance from the perspective of manufacturing strategies: fit manufacturing and overall equipment effectiveness, *Procedia Manufacturing*, Volume 22, Pages 998-1006, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2018.03.142.
87. Rholam Oussama, Tabaa Mohamed, (2019), Fabrice Monteiro et Abbas Dandache, Smart Device for Multi-band Industrial IOT Communications, *Procedia Computer Science*, Volume 155, Pages 660-665, ISSN 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2019.08.094.
88. Rosales Jonathan, Deshpande Sourabh, Anand Sam, (2021), IIOT based Augmented Reality for Factory Data Collection and Visualization, *Procedia*

- Manufacturing, Volume 53, Pages 618-627, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2021.06.062.
89. Rodrigues H., Silva F.J.G., Morgado L.G., Sá J.C., Ferreira L.P., Campilho R.D.S.G., (2020), A novel computer application for scrap reporting and data management in the manufacturing of components for the automotive industry, *Procedia Manufacturing*, Volume 51, Pages 1319-1326, ISSN: 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.10.184.
90. Reiman Arto, Kaivo-oja Jari, Parviainen Elina, Takala Esa-Pekka, Lauraeus Theresa, (2021), Human factors and ergonomics in manufacturing in the industry 4.0 context – A scoping review, *Technology in Society*, Volume 65, 101572, ISSN: 0160791X, DOI: 10.1016/j.techsoc.2021.101572.
91. Sanz-Calcedo J.G., González A.G., López O., Salgado D.R., Cambero I., Herrera J.M., (2015), Analysis on Integrated Management of the Quality, Environment and Safety on the Industrial Projects, *Procedia Engineering*, Volume 132, Pages 140-145, ISSN 18777058, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.490.
92. Steenkamp L.P., Hagedorn-Hansen D., Oosthuizen G.A., (2017), Visual Management System to Manage Manufacturing Resources, *Procedia Manufacturing*, Volume 8, Pages 455-462, ISSN 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2017.02.058.
93. Sivkov Stepan, Novikov Leonid, Romanova Galina, Romanova Anastasia, Vaganov Denis, Valitov Marat, Vasiliev Sergey, (2020), The algorithm development for operation of a computer vision system via the OpenCV library, *Procedia Computer Science*, Volume 169, Pages 662-667, ISSN 18770509, DOI: 10.1016/j.procs.2020.02.193.
94. Sik Sumaedi, Medi Yarmen, (2015), The Effectiveness of ISO 9001 Implementation in Food Manufacturing Companies: A Proposed Measurement Instrument, *Procedia Food Science*, Volume 3, Pages 436-444, ISSN 2211601X, DOI: 10.1016/j.profoo.2015.01.048.
95. Singh Ishwar, Centea Dan, Elbestawi Mo, (2019), IOT, IIOT and Cyber-Physical Systems Integration in the SEPT Learning Factory, *Procedia Manufacturing*, Volume 31, Pages 116-122, ISSN 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2019.03.019.
96. Simeone Alessandro, Caggiano Alessandra, Boun Lev, Deng Bin, (2019), Intelligent cloud manufacturing platform for efficient resource sharing in smart manufacturing networks, *Procedia CIRP*, Volume 79, Pages 233-238, ISSN: 22128271, DOI:10.1016/j.procir.2019.02.056
97. Singa Wang Chiu, Hua Yao Wu, Yuan-Shyi Peter Chiu, Ming-Hon Hwang, (2018), Exploration of finite production rate model with overtime and rework of nonconforming products, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, Volume 30, Issue 3, Pages 224-231, ISSN: 10183639, DOI: 10.1016/j.jksues.2017.12.002.
98. Shavetov Sergei V., Merkulova Isabella I., Ekimenko Anton A., Borisov Oleg I., Gromov Vladislav S., (2019), Computer Vision in Control and Robotics for Educational Purposes, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 52, Issue 9, Pages 127-132, ISSN 24058963, DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.08.136.
99. Stavropoulos Panagiotis, Papacharalampopoulos Alexios, Petridis Dimitris, (2020), A vision-based system for real-time defect detection: a rubber compound part case

- study , Procedia CIRP, Volume 93, Pages 1230–1235 53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems, ISSN: 22128271, DOI: 10.1016/j.procir.2020.04.159.
100. Schulz Wade L., Nelson Brent G., Felker Donn K., Durant Thomas J.S., Torres Richard, (2016), Evaluation of relational and NoSQL database architectures to manage genomic annotations, Journal of Biomedical Informatics, Volume 64, Pages 288-295, ISSN 15320464, DOI: 10.1016/j.jbi.2016.10.015.
101. Shi Wenjie, Zuo Zhijing, Li Han, Pan Libo, (2022), Research on Visual Inspection Method and Instrument of Solder Joint, IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 3, Pages 131-136, ISSN: 24058963, DOI: 10.1016/j.ifacol.2022.05.023.
102. Topliceanu Liliana, Bibire Luminita, Nistor Denisa, (2015), Professional Competences of the Personnel Working on Quality Control and Food Safety in the Food Industry, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 180, Pages 1030-1037, ISSN 18770428, DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.02.198.
103. Tupa Jiri, Simota Jan, Steiner Frantisek, (2017), Aspects of Risk Management Implementation for Industry 4.0, Procedia Manufacturing, Volume 11, Pages 1223-1230, ISSN 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.248.
104. Thames Lane, Schaefer Dirk, (2016), Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0, Procedia CIRP, Volume 52, Pages 12-17, ISSN 22128271, DOI: 10.1016/j.procir.2016.07.041.
105. Ventura Carvalho Adriana, Valle Enriquea Daisy, Chouchenea Amal, Charrua Santosa Fernando, (2021), Quality 4.0: An Overview, Procedia Computer Science , Volume 181, Pages 341-346, ISSN, 18770509, DOI:10.1016/j.procs.2021.01.176.
106. Vaidya Saurabh, Ambad Prashant, Bhosle Santosh, (2018), Industry 4.0 – A Glimpse, Procedia Manufacturing, Volume 20, Pages 233-238, ISSN 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.034.
107. Vukicevic A.M., Djapan M., Todorovic P., Erić M., Stefanovic M., Macuzic I. (2019) Decision Support System for Dimensional Inspection of Extruded Rubber Profiles. IEEE Access, Vol. 7, pp. 112605-112616, ISSN: 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2934561.
108. Würschinger Hubert, Mühlbauer Matthias, Winter Michael, Engelbrecht Michael, Hanenkampa Nico, (2020), Implementation and potentials of a machine vision system in a series production using deep learning and low-cost hardware, Procedia CIRP, Volume 90, Pages 611-616, ISSN: 22128271, DOI:10.1016/j.procir.2020.01.121.
109. Welsh Dominic, Mezhuyeva Vitaliy, Irsa Wolfram, (2020), Interdisciplinary Terminology Framework for Teaching and Research in Learning Factories, Procedia Manufacturing, Volume 45, Pages 301-306, ISSN 23519789, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.04.021.
110. Wilson Jon S., (2005), Sensor Technology Handbook, British Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN: 0-7506-7729-5.
111. Wang Hao, Salunkhe Omkar, Quadrini Walter, L'amkull Dan, Ore Fredrik, Johansson Björn, Stahre Johan, (2023), Overview of Computer Vision Techniques in Robotized Wire Harness Assembly: Current State and Future Opportunities, ScienceDirect, Procedia CIRP 120 (2023) 1071–1076, DOI:10.1016/j.procir.2023.09.127
112. Yang Jing , Li Shaobo , Wang Zheng, Dong Hao, Wang Jun, Tang Shihao, (2020), Using Deep Learning to Detect Defects in Manufacturing: A

- Comprehensive Survey and Current Challenges, MDPI, ISSN 1996-1944, DOI: 10.3390/ma13245755.
113. Yu Liya, Wang Zheng, Duan Zhongjing, (2019), Detecting Gear Surface Defects Using Background-Weakening Method and Convolutional Neural Network, Sensor Networks for Structural Health Monitoring, Volume 2019 , ISSN 1687-7268, DOI: 10.1155/2019/3140980.
114. Yang Tao, Yi Xinlei, Lu Shaowen, Johansson Karl H., Chai Tianyou, (2021), Intelligent Manufacturing for the Process Industry Driven by Industrial Artificial Intelligence, Engineering, Volume 7, Pages 1224-1230, ISSN: 20958099, DOI:10.1016/j.енгл.2021.04.023.
115. Zhang Ding, Chan Ching Chuen, Zhou George You, (2018), Enabling Industrial Internet of Things (IIOT) towards an emerging smart energy system, Global Energy Interconnection, Volume 1, Issue 1, Pages 39-47, DOI: 10.14171/j.2096-5117.gei.2018.01.005.

Прилог

```

10 def get_parent_dir(n=1):
11     """returns the n-th parent directory of the current
12     working directory"""
13     current_path = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
14     for k in range(n):
15         current_path = os.path.dirname(current_path)
16     return current_path
17
18
19 sys.path.append(os.path.join(get_parent_dir(1), "Utils"))
20 from Convert_Format import convert_vott_csv_to_yolo
21
22 Data_Folder = os.path.join(get_parent_dir(1), "Data")
23 VoTT_Folder = os.path.join(
24     Data_Folder, "Source_Images", "Training_Images", "vott-csv-export"
25 )
26 VoTT_csv = os.path.join(VoTT_Folder, "Defect-on-industry-V1-export.csv")
27 YOLO_filename = os.path.join(VoTT_Folder, "data_train.txt")
28
29 model_folder = os.path.join(Data_Folder, "Model_Weights")
30 classes_filename = os.path.join(model_folder, "data_classes.txt")

```

Слика 4.10. Дефинисање путања и аргумената

Извор: Аутор

```

63 # Prepare the dataset for YOLO
64 multi_df = pd.read_csv(FLAGS.VoTT_csv)
65 labels = multi_df["label"].unique()
66 labeldict = dict(zip(labels, range(len(labels))))
67 multi_df.drop_duplicates(subset=None, keep="first", inplace=True)
68 train_path = FLAGS.VoTT_Folder
69 convert_vott_csv_to_yolo(
70     multi_df, labeldict, path=train_path, target_name=FLAGS.YOLO_filename
71 )
72
73 # Make classes file
74 file = open(classes_filename, "w")
75
76 # Sort Dict by Values
77 SortedLabelDict = sorted(labeldict.items(), key=lambda x: x[1])
78 for elem in SortedLabelDict:
79     file.write(elem[0] + "\n")
80 file.close()

```

Слика 4.11. Припрема и конверзија података

Извор: Аутор

```
6 import os
7 import sys
8 import argparse
9 import warnings
10
11 def get_parent_dir(n=1):
12     """returns the n-th parent directory of the current
13     working directory"""
14     current_path = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
15     for _ in range(n):
16         current_path = os.path.dirname(current_path)
17     return current_path
18
19
20 src_path = os.path.join(get_parent_dir(0), "src")
21 sys.path.append(src_path)
22
23 utils_path = os.path.join(get_parent_dir(1), "Utils")
24 sys.path.append(utils_path)
25
26 import numpy as np
27 import tensorflow.keras.backend as K
28 from tensorflow.keras.layers import Input, Lambda
29 from tensorflow.keras import Model
30 from tensorflow.keras.optimizers import Adam
```

Слика 4.12. Импортовање библиотека

Извор: Аутор

```
61 keras_path = os.path.join(src_path, "keras_yolo3")
62 Data_Folder = os.path.join(get_parent_dir(1), "Data")
63 Image_Folder = os.path.join(Data_Folder, "Source_Images", "Training_Images")
64 VoTT_Folder = os.path.join(Image_Folder, "vott-csv-export")
65 YOLO_filename = os.path.join(VoTT_Folder, "data_train.txt")
66
67 Model_Folder = os.path.join(Data_Folder, "Model_Weights")
68 YOLO_classname = os.path.join(Model_Folder, "data_classes.txt")
69
70 log_dir = Model_Folder
71 anchors_path = os.path.join(keras_path, "model_data", "yolo_anchors.txt")
72 weights_path = os.path.join(keras_path, "yolo.h5")
73
74 FLAGS = None
```

Слика 4.13. Дефинисање путања до података неопходних за обуку

Извор: Аутор

```

176     if FLAGS.is_tiny and FLAGS.weights_path == weights_path:
177         weights_path = os.path.join(os.path.dirname(FLAGS.weights_path), "yolo-tiny.h5")
178     else:
179         weights_path = FLAGS.weights_path
180
181     if FLAGS.is_tiny and FLAGS.anchors_path == anchors_path:
182         anchors_path = os.path.join(
183             os.path.dirname(FLAGS.anchors_path), "yolo-tiny_anchors.txt"
184         )
185     else:
186         anchors_path = FLAGS.anchors_path
187
188     anchors = get_anchors(anchors_path)
189
190     input_shape = (416, 416) # multiple of 32, height, width
191     epoch1, epoch2 = FLAGS.epochs, FLAGS.epochs
192
193     is_tiny_version = len(anchors) == 6 # default setting
194     if FLAGS.is_tiny:
195         model = create_tiny_model(
196             input_shape, anchors, num_classes, freeze_body=2, weights_path=weights_path
197         )
198     else:
199         model = create_model(
200             input_shape, anchors, num_classes, freeze_body=2, weights_path=weights_path
201         ) # make sure you know what you freeze

```

Слика 4.14. Иницијализација модела

Извор: Аутор.

```

253     history = model.fit_generator(
254         data_generator_wrapper(
255             lines[:num_train], batch_size, input_shape, anchors, num_classes
256         ),
257         steps_per_epoch=max(1, num_train // batch_size),
258         validation_data=data_generator_wrapper(
259             lines[num_train:], batch_size, input_shape, anchors, num_classes
260         ),
261         validation_steps=max(1, num_val // batch_size),
262         epochs=epoch1,
263         initial_epoch=0,
264         callbacks=frozen_callbacks,
265     )
266     model.save_weights(os.path.join(log_dir, "trained_weights_stage_1.h5"))

```

Слика 4.15. Процес тренирања модела

Извор: Аутор

```
1 from flask import Flask
2 import cv2
3
4 app = Flask(__name__)
5 sensor_activated = True # Postavljeno na True kao početno stanje
6
7 cam = cv2.VideoCapture('rtsp://admin:12042016s@192.168.1.108:554')
8
9 img_counter = 0
10
11 cam.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 416)
12 cam.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 416)
```

Слика 4.16. Покретање сервера

Извор: Аутор

```
15 def check_sensor():
16     global sensor_activated
17     if sensor_activated:
18         ret = capture_and_save_image()
19         if ret:
20             print("Сензор је активан") # Dodat ispis u konzolu
21             return "1" # Senzor je aktivan
22         else:
23             print("Грешка приликом снимања слике") # Dodat ispis u konzolu
24             return "0" # Senzor je aktivan
25     else:
26         print("Сензор није активан") # Dodat ispis u konzolu
27         return "0" # Senzor nije aktivan ili se pojavila greška
```

Слика 4.17. Функција провере статуса сензора

Извор: Аутор

```

29 def capture_and_save_image():
30     try:
31         global img_counter
32         ret, frame = cam.read()
33
34         if ret:
35             resized_frame = cv2.resize(frame, (416, 416))
36
37             img_name = "opencv_frame_{}.png".format(img_counter)
38             print("{} written!".format(img_name))
39             img_counter += 1
40
41             cv2.imwrite('C:/Users/m_djo/PycharmProjects/DetectDefectV1/Data/Source_Images/MyTestImages/' + img_name,
42                         frame)
43             print(resized_frame.shape) # Provera dimenzija
44
45         return True
46     except Exception as e:
47         print(f"Greška prilikom snimanja slike: {e}")
48         return False
49
50 if __name__ == '__main__':
51     app.run(host='0.0.0.0', port=5000)

```

Слика 4.18. Функција за преузимање и складиштење фрејмова

Извор: Аутор

```

#include <ESP8266WiFi.h>

// Postavke za WiFi
const char* ssid = "Mijailovic";
const char* password = "Mijailovic";

// Pin za senzor na digitalnom pinu D6
const int sensorPin = D6; // D6 je pin na NodeMCU-u

// Globalne promenljive
boolean sensor_activated = false; // Postavljeno na false kao početno stanje
WiFiClient client;

```

Слика 4.19. Основне поставке мреже на платформи NodeMCU

Извор: Аутор

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
  
    // Povezivanje na WiFi mrežu  
    WiFi.begin(ssid, password);  
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
        delay(1000);  
        Serial.println("Povezivanje na WiFi...");  
    }  
  
    Serial.println("Povezano na WiFi.");  
    Serial.print("NodeMCU IP adresa: ");  
    Serial.println(WiFi.localIP());  
}
```

Слика 4.20. Void Setup функција

Извор: Аутор

```
void loop() {  
    // Čitanje stanja sa senzora  
    int sensorValue = digitalRead(sensorPin);  
  
    if (sensorValue == HIGH) {  
        // Postavi sensor_activated na true kada senzor detektuje visoki nivo  
        sensor_activated = true;  
  
        // Slanje HTTP zahteva ka Python serveru kada dobije signal 1  
        Serial.println("Aktivan");  
        sendHttpRequest();  
        delay(500); // Pauza da se izbegnu ponovljena slanja zbog šuma  
        sensor_activated = false; // Postaviti na false nakon slanja zahteva  
    }  
}
```

Слика 4.21. Void loop функција

Извор: Аутор

```

void sendHttpRequest() {
    // Povezivanje na Python server
    if (client.connect("192.168.1.187", 5000)) { // Postavite IP adresu Python servera
        Serial.println("Slanje zahteva...");

        // Slanje HTTP GET zahteva
        client.println("GET /check_sensor HTTP/1.1");
        client.println("Host: 192.168.1.187"); // Postavite IP adresu Python servera
        client.println("Connection: close");
        client.println();
        delay(1000); // Sačekaj odgovor (1 sekunda)

        // Čitanje odgovora od servera
        while (client.available()) {
            char c = client.read();
            Serial.print(c);
        }

        Serial.println();
        Serial.println("Zahtev poslat.");
        client.stop();
    } else {
        Serial.println("Neuspešno povezivanje sa serverom.");
    }
}

```

Слика 4.22. Функција void sendHttpRequest

Извор: Аутор

```

1  import os
2  import sys
3  from unicodedata import decimal
4  import cv2
5  import PIL
6  import tensorflow as tf
7  import requests
8  import time
9
10 import pathlib
11
12 def get_parent_dir(n=1):...
19 src_path = os.path.join(get_parent_dir(1), "2_Training", "src")
20 utils_path = os.path.join(get_parent_dir(1), "Utils")
21 sys.path.append(src_path)
22 sys.path.append(utils_path)
23 import argparse
24 from keras_yolo3.yolo import YOLO, detect_video, detect_webcam
25 from PIL import Image
26 from timeit import default_timer as timer
27 from utils import load_extractor_model, load_features, parse_input, detect_object
28 import test
29 import utils
30 import pandas as pd
31 import numpy as np
32 from Get_File_Paths import GetFileList
33 import random
34 from Train_Utils import get_anchors

```

Слика 4.23. Импортовање библиотека у процесу идентификације неусаглашености

Извор: Аутор

```

38 # Set up folder names for default values
39 data_folder = os.path.join(get_parent_dir(n=1), "Data")
40
41 image_folder = os.path.join(data_folder, "Source_Images")
42
43 image_test_folder = os.path.join(image_folder, "MyTestImages")
44
45 detection_results_folder = os.path.join(image_folder, "Result")
46 detection_results_folder2 = os.path.join(image_folder, "Test_Image_Detection_Results")
47
48 detection_results_file = os.path.join(detection_results_folder2, "Detection_Results.csv")
49
50 print(image_folder)
51 model_folder = os.path.join(data_folder, "Model_Weights")
52
53 model_weights = os.path.join(model_folder, "trained_weights_final.h5")
54 model_classes = os.path.join(model_folder, "data_classes.txt")
55
56 anchors_path = os.path.join(src_path, "keras_yolo3", "model_data", "yolo_anchors.txt")
57
58 FLAGS = None

```

Слика 4.24. Дефинисање путања до улазних параметара алгоритма

Извор: Аутор

```

185 input_image_paths = []
186 input_video_paths = []
187 for item in input_paths:
188     if item.endswith(img_endings):
189         input_image_paths.append(item)
190     elif item.endswith(vid_endings):
191         input_video_paths.append(item)
192
193 output_path = FLAGS.output
194 if not os.path.exists(output_path):
195     os.makedirs(output_path)
196
197 if FLAGS.is_tiny and FLAGS.anchors_path == anchors_path:
198     anchors_path = os.path.join(
199         os.path.dirname(FLAGS.anchors_path), "yolo-tiny_anchors.txt"
200 )

```

Слика 4.25. Креирање путања за складиштење слика

Извор: Аутор

```

202     anchors = get_anchors(anchors_path)
203     # define YOLO detector
204     yolo = YOLO(
205         **{
206             "model_path": FLAGS.model_path,
207             "anchors_path": anchors_path,
208             "classes_path": FLAGS.classes_path,
209             "classes_path": FLAGS.classes_path,
210             "score": FLAGS.score,
211             "gpu_num": FLAGS.gpu_num,
212             "model_image_size": (416, 416),
213         }
214     )
215
216     # Make a dataframe for the prediction outputs
217     out_df = pd.DataFrame(
218         columns=[
219             "image",
220             "image_path",
221             "xmin",
222             "ymin",
223             "xmax",
224             "ymax",
225             "label",
226             "confidence",
227             "x_size",
228             "y_size",
229         ]
230     )

```

Слика 4.26. Дефинисање уоло детектора

Извор: Аутор

```

233     # labels to draw on images
234     class_file = open(FLAGS.classes_path, "r")
235     input_labels = [line.rstrip("\n") for line in class_file.readlines()]
236     print("Found {} input labels: {} ...".format(len(input_labels), input_labels))
237
238     if input_image_paths and not webcam_active:
239         print(
240             "Found {} input images: {} ...".format(
241                 len(input_image_paths),
242                 [os.path.basename(f) for f in input_image_paths[:5]],
243             )
244         )
245         start = timer()
246         text_out = ""

```

Слика 4.27. Преузимање класа објеката

Извор: Аутор

```

260 import os
261 import time
262 from watchdog.observers import Observer
263 from watchdog.events import FileSystemEventHandler
264 import tensorflow as tf
265
266
267 def get_image_paths(folder):
268     image_paths = [os.path.join(folder, file) for file in os.listdir(folder) if
269                     file.lower().endswith(('.jpg', '.jpeg', '.png'))]
270     return sorted(image_paths, key=os.path.getmtime, reverse=True)
271
272
273 def detect_objects(image_path):
274
275     def is_valid_image(file_path):
276         try:
277             img = Image.open(file_path)
278             img.verify()
279             return True
280         except (IOError, SyntaxError, Image.UnidentifiedImageError):
281             print(f"Invalid image: {file_path}")
282             return False

```

Слика 4.28. Функције за праћење промена у директоријуму и покретање детекције

Извор: Аутор

```

287 if is_valid_image(image_path):
288     image = Image.open(image_path)
289
290     print(f"Detekcija objekata na slici: {image_path}")
291     prediction, image = detect_object(
292         yolo,
293         image_path,
294         save_img=save_img,
295         save_img_path=FLAGS.output,
296         postfix=FLAGS.postfix,
297     )

```

Слика 4.29. Провера исправности слике

Извор: Аутор

```

299     y_size, x_size, _ = np.array(image).shape
300     out_df = pd.DataFrame(
301         [
302             [
303                 os.path.basename(image_path.rstrip("\n")),
304                 image_path.rstrip("\n"),
305             ]
306             + single_prediction
307             + [x_size, y_size]
308             for single_prediction in prediction
309         ],
310         columns=[
311             "image",
312             "image_path",
313             "xmin",
314             "ymin",
315             "xmax",
316             "ymax",
317             "label",
318             "confidence",
319             "x_size",
320             "y_size",
321         ],
322     )

```

Слика 4.30. Дефинисање параметара слике

Извор: Аутор

```

328     import csv
329
330     file = open(detection_results_file)
331
332     type(file)
333
334     csvreader = csv.reader(file)
335     header = []
336     header = next(csvreader)
337
338     ListaVrednosti = []
339     rows = []
340
341     for row in csvreader:
342         if len(row) >= 8: # Provera da li red ima bar 8 elemenata pre pristupa indeksu 7
343             print(row[7])
344             ListaVrednosti.append(row[7])
345             rows.append(row)
346         else:
347             print("Red nema dovoljno elemenata.")

```

Слика 4.31. Анализа података

Извор: Аутор

```

349     if ListaVrednosti:
350         ListaVrednosti.sort(reverse=True)
351         print("Najveca vrednost je:", ListaVrednosti[0])
352         print("Lista score:", ListaVrednosti)
353
354     if rows and len(rows[0]) >= 8 and rows[0][7] >= str(0.25): # provera da li je neusaglasen
355         print("Proizvod je neusaglasen") # ispis
356         data_dir = os.path.join(detection_results_folder)
357         cameraTest = os.listdir(detection_results_folder)
358         sorted_files = sorted(cameraTest,
359                               key=lambda x: os.path.getmtime(os.path.join(detection_results_folder, x)))
360
361         latest_file = sorted_files[-1]
362         putanja = os.path.join(detection_results_folder, latest_file)
363         imageA = cv2.imread(putanja)
364         print("Putanja slike", putanja)
365         plt.close()
366
367         image = mpimg.imread(putanja)
368         plt.imshow(image)
369         plt.title("Neusaglasen")
370         plt.show()
371         print("Neusaglasen proizvod", cameraTest[-1])
372     else:
373         print("proizvod je usaglasen")
374 else:
375     print("Lista je prazna. Nema vrednosti za prikaz.")

```

Слика 4.32. Приказ података о идентификацији објеката

Извор: Аутор

```

388 class MyHandler(FileSystemEventHandler):
389     def __init__(self, folder):
390         self.folder = folder
391         self.last_processed_images = set()
392
393     def is_valid_image(self, file_path):
394         try:
395             img = Image.open(file_path)
396             img.verify()
397             return True
398         except (IOError, SyntaxError, Image.UnidentifiedImageError):
399             print(f"Invalid image: {file_path}")
400             return False
401
402     def on_created(self, event):
403         if event.is_directory:
404             return
405         elif event.event_type == 'created':
406             image_path = event.src_path
407             print(f'Processing new image: {image_path}')
408             if image_path not in self.last_processed_images and is_valid_image(image_path):
409                 detect_objects(image_path)
410                 self.last_processed_images.add(image_path)

```

Слика 4.33. Класа за праћење промена MyHandler

Извор: Аутор

```

411 if __name__ == "__main__":
412
413     folder_to_watch = "C:/Users/m_djo/PycharmProjects/DetectDefectV1/Data/Source_Images/MyTestImages/"
414     event_handler = MyHandler(folder_to_watch)
415     observer = Observer()
416     observer.schedule(event_handler, path=folder_to_watch, recursive=False)
417     observer.start()
418
419     try:
420         while True:
421             time.sleep(1)
422             current_image_paths = set(get_image_paths(folder_to_watch))
423             new_images = current_image_paths - event_handler.last_processed_images
424             if new_images:
425                 print("Folder se promenio. Ponovna provera i detekcija.")
426                 event_handler.last_processed_images = current_image_paths
427                 latest_image_path = sorted(list(new_images), key=os.path.getmtime, reverse=True)[0]
428                 predictions = detect_objects(latest_image_path)
429
430             time.sleep(2)
431
432     except KeyboardInterrupt:
433         observer.stop()
434         observer.join()

```

Слика 4.34. Постављање параметара и праћење нових слика

Извор: Аутор

```

22 import thingspeak
23 # Ovde se unose osnovni podaci za proračuna oee
24 channel_id = 2020459
25 write_key = 'PYT9MX17W0Q3CKTH'
26 # Povezivanje na ThingSpeak kanal
27 channel = thingspeak.Channel(channel_id, write_key)
28 #response = channel.update({'field1': Ukupan broj proizvoda, 'field3': Ukupno vreme rada masine,
29 # 'field4': broj neusaglasenih proizvoda, 'field5': idealna brzina rada, 'field6': ukupno vreme zastoja})
30 response = channel.update({'field1': 10500, 'field3': 27000, 'field4': 65, 'field5': 3, 'field6': 2000})
31
32 # Provera uspešnosti unosa podataka
33 if response == '0':
34     print('Podaci uspešno uneti u ThingSpeak kanal!')
35 else:
36     print('Greška pri unosu podataka u ThingSpeak kanal.')

```

Слика 4.40. Дефинисање основних параметара

Извор: Аутор

```

1 channelID = 2020459; % kanal sa kog čitamo podatke
2 readAPIKey = 'D20GN50HITVDCXLO'; % Read API ključ za čitanje podataka sa kanala
3
4 newChannelID = 2128365; % kanal u koji želimo da upišemo nove podatke
5 newReadAPIKey = 'LB42MMS1HJT73UOQ';
6 writeAPIKey = 'N925LH7XPGWW75AW'; % Write API ključ za novi kanal
7
8 % pročitaj sve podatke sa prvog kanala
9 data = thingSpeakRead(channelID, 'NumPoints', 10, 'ReadKey', readAPIKey);
10
11 % izdvojite željene vrednosti
12 UkupanBrojProizvoda = data(:, 1);
13 UkupnoVremeRadaMasine = data(:, 3);
14 BrojNeusaglasenihProizvoda = data(:, 4);
15 IdealnaBrzinaRada = data(:, 5);
16 UkupnoVremePrekida = data(:, 6);
17
18 % izračunaj nove vrednosti
19 performance = (IdealnaBrzinaRada(end) * UkupanBrojProizvoda(end)) / UkupnoVremeRadaMasine(end);
20 availability = UkupnoVremeRadaMasine(end) / 27000;
21 BrojDobrihProizvoda = UkupanBrojProizvoda(end) - BrojNeusaglasenihProizvoda(end);
22 quality = BrojDobrihProizvoda / UkupanBrojProizvoda(end);
23 OEE = availability * performance * quality;

```

Слика 4.49. Анализа складиштених података применом матлаб-а

Извор: Аутор

```

25 kvalitet = quality * 100
26 disp('Kvalitet je:');
27 disp(kvalitet);
28 raspolozivost = availability * 100
29 disp('raspolozivost je:');
30 disp(raspolozivost);
31
32 % prikazi izracunate vrednosti
33 disp('Performanse su:');
34 disp(performance);
35 disp('Availability je:');
36 disp(availability);
37 disp('Quality je:');
38 disp(quality);
39 disp('OEE je:');
40 disp(OEE);
41
42 writeChannelID = 2128365; % kanal u koji želimo da upišemo nove podatke
43 writeAPIKey = 'N925LH7XPGWW75AW';
44
45
46 % Odgovarajući myFieldID polja
47 myFieldID1 = 1; % Performansa
48 myFieldID2 = 2; % Dostupnost
49 myFieldID3 = 3; % Kvalitet
50 myFieldID4 = 4; % OEE

```

Слика 4.50. Складиштење података у облаку

Извор: Аутор

```
64 % Izračunaj datume poslednjeg unosa za svako polje
65 lastDates = [lastDate1];
66
67 % Stubasti grafikon za performanse, dostupnost, kvalitet i OEE
68 bar([performance, availability, quality, OEE]);
69
70
71 % Prikaz izračunatih vrednosti pored odgovarajućih stubića na grafikonu
72 text(1:4, [performance, availability, quality, OEE], ...
73     compose('%0.2f%%', [performance, availability, quality, OEE]*100), ...
74     'HorizontalAlignment','center', 'VerticalAlignment','bottom');
75
76 % Podešavanje oznaka na X osi
77 xticks(1:4);
78 xticklabels({'Перформансе', 'Расположивост', 'Квалитет', 'OEE'});
79 xtickangle(45); % Podešavanje ugla pod kojim će oznake biti prikazane
```

Слика 4.51. Креирање графика за податке добијене матлаб анализом

Извор: Аутор

Биографија аутора

Борђе Мијаиловић рођен је 26. априла 1995. године у Аранђеловцу. Завршио је основну школу "Душан Радоњић" у Брезовцу, основну школу "Карађорђе", а након тога средњу школу у Тополи "Краљ Петар I" смер машински техничар за компјутерско конструисање.

Школске 2014/2015. године уписао је вишу школу Висока технолошка школа струковних студија у Аранђеловцу, смер информационе технологије. Основне струковне студије завршио је 2016. године са просечном оценом 7.64. Завршни рад одбранио је са оценом 10.

Школске 2016/2017. године уписао је основне академске студије на факултету за примењени менаџмент економију и финансије у Београду, смер примењене информационе технологије. Основне академске студије завршио је 2017. године са просечном оценом 7.80. Завршни рад одбранио је са оценом 10.

Мастер академске студије на студијском програму индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент, уписао је школске 2017/2018. године на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, и дипломирао 2018. године са просечном оценом 9.43. Мастер рад одбранио је са оценом 10.

Докторске академске студије (ДАС) уписао је школске 2019/2020. године на студијском програму индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент, научна област индустријско инжењерство.

Досадашњи научно-истраживачки рад и интересовања тежишно су усмерена на област индустријског инжењерства.

Од осталих вештина поседује: Рад у програмским језицима (C, C++, C#, Java, Python, Laravel (PHP), JavaScript...); Рад са платформама (Arduino, PLC (Unitronics, Siemens, Fatek, Siemens, Norvi, Raspberry pi), програмирање конекција са модулима и актуаторима, имплементација система у постојећи или креирање новог система; Рад са базама података (MySQL, SQLite), анализирање и обрада података коришћењем MATLAB-а, креирање IOT и IIOT апликација; Моделирање и израда документације, 3D (Catia, Siemens NX), 2D (AutoCad); Израда векторске и растерске графике Adobe photoshop, CorelDRAW;

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

Развој система за контролу квалитета у производној индустрији заснован на примени технологије компјутерске визије

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу _____, 26.04.2024. године,

Борис Миљковић
потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

Развој система за контролу квалитета у производној индустрији заснован на примени технологије компјутерске визије

представља оригинално ауторско дело настало као резултат сопственог истраживачког рада.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам једини аутор наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији нисам извршио/ла повреду ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу _____, 26.04.2024. године,

Борис Миљковић
потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Ђорђе Р. Мијаиловић,

☒

дозвољавам

не

☐

дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

Развој система за контролу квалитета у производној индустрији заснован на примени технологије компјутерске визије

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

☒

дозвољавам

☐

не дозвољавам¹

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима

6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

У Крагујевцу _____, 26.04.2024. године,

Ђорђе Миљковић
потпис аутора

² Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>