



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

**Kompiuterinės regos ir mašininio mokymosi pritaikymo
tyrimas pramoninės gamybos gaminių kokybės patikrai**
(angl. Research of computer vision and machine learning in industrial product quality
control)

Projekto dokumentacija

IFM 9/2 gr. Algirdas Kartavičius

Studentas

Doc. Mantas Lukoševičius

Projekto vadovas

Algirdas Kartavičius

Užsakovas

Kaunas, 2021

Turinys

Lentelių sąrašas	6
Paveikslų sąrašas	8
1. PROJEKTO PARAIŠKA	9
1.1. Įvadas.....	9
1.2. Poreikis	9
1.2.1. Projekto vartotojai ir klientai.....	9
1.2.2. Vartotojo problemos	9
1.2.3. Rinkos tyrimas.....	10
1.2.4. Informacija apie klientus	10
1.3. Pasiūlymas	11
1.3.1. Produkto apibūdinimas	11
1.3.2. Sistemos kontekstas.....	11
1.3.3. Bendri apribojimai.....	12
1.3.4. Projekto įgyvendinimo planai ir kokybės vertinimas	12
1.4. Nauda.....	13
1.5. Konkurencija ir alternatyvos	13
1.6. Santrauka	15
1.7. Išvados	15
2. PROJEKTAVIMO METODOLOGIJOS IR TECHNOLOGIJŲ ANALIZĖ.....	16
2.1. Įvadas.....	16
2.2. Tikslas.....	16
2.3. Srities apžvalga.....	16
2.3.1. Techninė įranga ir jos apribojimai.....	17
2.4. Gaminių su defektais iš nuotraukų atpažinimo metodai bei technologijos	19
2.4.1. Tradiciniai vaizdo apdorojimo metodai.....	19
2.4.2. Mašininio mokymosi sprendimai defektų aptikimui.....	21
2.5. Egzistuojančių rinkoje sistemų savybių palyginimas.....	27
2.6. Išvados	28
3. PROJEKTO PLANAS	29
4. REIKALAVIMŲ SPECIFIKAVIMAS	30
4.1. Sistemos paskirtis	30
4.1.1. Projekto kūrimo pagrindas (pagrindimas)	30
4.1.2. Sistemos tikslai (paskirtis).....	30
4.2. Užsakovai, pirkėjai ir kiti sistema suinteresuoti asmenys	31
4.2.1. Užsakovas.....	31
4.2.2. Pirkėjas	31
4.2.3. Kiti sprendimus priimančius asmenys.....	31
4.2.4. Naudotojai	31
4.3. Įpareigojantys apribojimai.....	32
4.3.1. Apribojimai sprendimui.....	32
4.3.2. Diegimo aplinka	33
4.3.3. Bendradarbiaujančios sistemos	33

4.3.4. Komerciniai specializuoti programų paketai	33
4.3.5. Numatoma darbo vietos aplinka	33
4.3.6. Sistemos kūrimo terminai	33
4.3.7. Sistemos kūrimo biudžetas	34
4.4. Terminų žodynas	34
4.5. Svarbūs faktai ir prielaidos	34
4.5.1. Faktai	34
4.5.2. Veiklos taisyklės.....	34
4.5.3. Prielaidos	34
4.6. Veiklos sfera	35
4.6.1. Veiklos kontekstas	35
4.6.2. Veiklos padalinimas	35
4.7. Produkto veiklos sfera	36
4.7.1. Sistemos ribos.....	36
4.7.2. Panaudojimo atvejų sąrašas	36
4.8. Funkciniai reikalavimai	39
4.8.1. Funkciniai reikalavimai	39
4.8.2. Reikalavimai duomenims	45
4.9. Reikalavimai sistemos išvaizdai	46
4.10. Reikalavimai panaudojamumui	46
4.11. Reikalavimai vykdymo charakteristikoms	47
4.12. Reikalavimai veikimo sąlygoms.....	48
4.13. Reikalavimai sistemos priežiūrai.....	49
4.14. Reikalavimai saugumui	50
4.15. Kultūriniai-politiniai reikalavimai	51
4.16. Teisiniai reikalavimai	51
4.17. Atviri klausimai	52
4.18. Egzistuojantys sprendimai	52
4.18.1. Pagamintos sistemos, kurios gali būti nupirktos	52
4.18.2. Pagaminti komponentai, kurie gali būti panaudoti.....	52
4.18.3. Galimas pakartotinas panaudojimas	52
4.19. Naujos problemos	52
4.19.1. Problemos diegimo palinkai	52
4.19.2. Įtaka jau instaliuotoms sistemoms.....	53
4.19.3. Neigiamas vartotojų nusiteikimas	53
4.19.4. Kliudantys diegimo aplinkos apribojimai	53
4.19.5. Galimos naujos sistemos sukeltos problemos	53
4.20. Uždaviniai.....	53
4.20.1. Sistemos pateikimo žingsniai	53
4.20.2. Vystymo etapai	53
4.20.3. Pritaikymas	56
4.20.4. Reikalavimai esamų duomenų perkėlimui	56
4.20.5. Reikalingas duomenų transformavimas perkeliant į naują sistemą.....	56
4.21. Rizikos	56
4.21.1. Galimos sistemos kūrimo rizikos	56
4.21.2. Kaina.....	56

4.22. Vartotojo dokumentacija ir apmokymas	57
4.22.1. Naudotojo vadovas	57
4.22.2. Techninės įrangos dokumentacija	57
4.22.3. Mokymai.....	57
4.23. Perspektyviniai reikalavimai	58
4.24. Idėjos sprendimams	58
5. ARCHITEKTŪROS SPECIFIKAVIMAS	59
5.1. Įvadas.....	59
5.1.1. Dokumento paskirtis.....	59
5.1.2. Apibrėžimai ir sutrumpinimai	59
5.1.3. Apžvalga.....	59
5.2. Architektūros pateikimas.....	60
5.3. Architektūros tikslai ir apribojimai	60
5.4. Panaudojimo atvejų vaizdas	60
5.5. Sistemos statinis vaizdas	62
5.5.1. Apžvalga.....	62
5.5.2. Paketų detalizavimas	62
5.6. Sistemos dinaminis vaizdas	66
5.7. Išdėstymo (deployment) vaizdas	72
5.8. Duomenų vaizdas	74
5.9. Kokybė	74
6. TESTAVIMO MEDŽIAGA	76
6.1. Testavimo planas	76
6.1.1. Įvadas.....	76
6.1.2. Testavimo planas	78
6.1.3. Testavimo procedūra	79
6.2. Testavimo rezultatai ir išvados	82
7. VARTOTOJO DOKUMENTACIJA.....	87
7.1. Sistemos funkcinis aprašymas	87
7.1.1. Apie sistemą	87
7.1.2. Pagrindinės funkcijos	87
7.2. VARTOTOJO ATMINTINĖ	87
7.2.1. Defektų aptikimas etalono vaizde ir defektų tolerancijos ribų keitimas	87
7.2.2. Analizės pradėjimas.....	88
7.2.3. Kameros parametrų keitimas.....	89
7.2.4. Sistemos funkcijos.....	89
7.3. DETALIOJI SISTEMOS ATMINTINĖ	90
7.4. SISTEMOS ĮDIEGIMAS	91
7.5. SISTEMOS LICENCIJA.....	91
8. KOKYBĖS VERTINIMO ATASKAITA.....	97
8.1. Įvadas.....	97
8.2. Realiai atlikto darbo kokybės analizės tikslai.	97
8.2.1. Aptikti klaidas funkcionavime, logikoje, realizacijoje.....	97
8.2.2. Patikrinti ar programų sistema atitinka reikalavimų specifikaciją.....	97
8.3. Kokybės vertinimo procesas.....	97
8.3.1. Peržiūros	97

8.3.2. Interview su užsakovu. Aptariami reikalingi patobulinimai. Sukuriamas pakeitimų sąrašas..	97
8.3.3. Projektavimo komandos narių peržiūrų aprašymas.....	97
8.3.4. Rolės ir atsakomybė	97
8.3.5. Apklausų anketos.....	98
8.3.6. Formalios techninės peržiūros (inpektavimas ar korektiškai buvo sukurtas programų kodas)	98
8.4. Vertinimo rezultatai.....	98
8.5. Išvados.....	99
9. LITERATŪRA	100
10. TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS	103

Lentelių sąrašas

1 lentelė	Stambiausių Lietuvos rinkos įmonių palyginimas [2], [3], [4]	10
2 lentelė	Sistemos vertinimo kriterijai	12
3 lentelė	Projekto biudžetas	12
4 lentelė	Kuriamo produkto alternatyvų palyginimas [9]	13
5 lentelė	Konvoliucinių neuroninių tinklų ir atraminių vektorių klasifikatoriaus palyginimas	24
6 lentelė	Žmogaus vizualinės patikros bei tyrime aprašyto metodo palyginimas.....	25
7 lentelė	„ColourBrain“ ir „Argos Grading System“ sistemų palyginimas [8], [10], [35]	27
8 lentelė	Veiklos padalinimas	35
9 lentelė	PA aptikti defektus	36
10 lentelė	PA Pažymėti defektus etalono vaizde	36
11 lentelė	PA Pažymėti defektus analizės vaizde	37
12 lentelė	PA Nustatyti defektų tolerancijos ribas	37
13 lentelė	PA Išsaugoti defektų tolerancijos ribas	37
14 lentelė	PA Gauti kameros vaizdą	37
15 lentelė	PA Vykdyti kiekvieno kadro analizę.....	38
16 lentelė	PA Vykdyti defektų aptikimą etalono vaizde.....	38
17 lentelė	PA Pradėti analizę	38
18 lentelė	PA Nustatyti detalės kokybės verdiktą.....	38
19 lentelė	PA Keisti kameros parametrus	38
20 lentelė	PA Vykdyti automatinį anotavimą	39
21 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Aptikti defektus ir išfiltruoti pagal pasitikėjimo koeficientą	39
22 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Pažymėti defektus etalono vaizde	39
23 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Pažymėti defektus analizės vaizde	40
24 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Nustatyti defektų pasitikėjimo koeficientus.....	40
25 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Nustatyti defektų dydžius.....	41
26 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Išsaugoti defektų tolerancijos ribas.	41
27 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Gauti kameros vaizdą.	42
28 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Vykdyti kiekvieno kadro analizę.	42
29 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Vykdyti defektų aptikimą etalono vaizde.	43
30 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Pradėti analizę.	43
31 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Nustatyti detalės kokybės verdiktą.....	43
32 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Keisti kameros parametrus.....	44
33 lentelė	Funkcinis reikalavimas: Vykdyti automatinį anotavimą.....	44
34 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Spalvos turi būti nevarginančios.	46
35 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Meniu kairėje.....	46
36 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Sistemos matmenys.	46
37 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Defektų analizės trukmė.....	47
38 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Analizės duomenų tikslumas.....	47
39 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Garsinis informavimas apie nekokybišką detalę.	48
40 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Sistemos apsaugojimas licencija.	48
41 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Aptarnavimo darbų trukmė.	49
42 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Atsakymas į klausimus.	49
43 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Tolerancijos ribų nustatymai.	50

44 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Duomenų bazės transakcijos.	50
45 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Pranešimų datos formatas.....	51
46 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Duomenų apsaugos reglamento atitikimas.....	51
47 lentelė	Nefunkcinis reikalavimas: Sistemos vystymo standartas.....	51
48 lentelė	Vystymo etapas: Projekto koncepcijos analizė.	54
49 lentelė	Vystymo etapas: Sistemos projektavimas.	54
50 lentelė	Vystymo etapas: „Back end“ programavimas.....	54
51 lentelė	Vystymo etapas: Mašininio mokymosi metodų programavimas.	55
52 lentelė	Vystymo etapas: Sistemos testavimas.	55
53 lentelė	Vystymo etapas: Sistemos įdiegimas bei naudotojų apmokymas.	55
54 lentelė	Darbuotojų atlyginimai.....	57
55 lentelė.	Nuorodos	77
56 lentelė	Testavimo tvarkaraštis.....	79
57 lentelė	Klasės „MachineLearningDefectDetection“ metodo „AnalyzePartOfImage“ testavimo atvejai	80
58 lentelė	Klasės „MachineLearningDefectDetection“ metodo „MatToBytes“ testavimo atvejai ..	80
59 lentelė	Klasės „MachineLearningDefectDetection“ metodo „DrawRectangles“ testavimo atvejai	80
60 lentelė	Klasės „MachineLearningDefectDetection“ metodo „AnalyzeImage“ testavimo atvejai	81
61 lentelė	Klasės „MachineLearningDefectDetection“ metodo „AnalyzeImageFromFile“ testavimo atvejai	81
62 lentelė	Sistemos vertinimo kriterijai ir rezultatai	98

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Baldų detalių gamybos proceso ir defektų nustatymo kontekstas [5], [6], [7].....	11
2.1 pav. Linijos nuskaitymo kameros veikimo schema [17].....	18
2.2 pav. Tinklinių skaičiavimų (angl. Grid computing) schema [24]	21
2.3 pav. Baldų detalių pagrindinių paviršių bei kraštų paviršių defektai, Elinta Robotics, UAB nuotrauka	22
2.4 pav. Butelių pažeidimų atpažinimo metodas [13].....	23
2.5 pav. Baldų detalės su ryškia tekstūra, Elinta Robotics, UAB nuotrauka	25
2.6 pav. Plieno paviršiaus defektai [26]	26
3.1 pav. Projekto planas	29
4.1 pav. Diegimo aplinka	33
4.2 pav. Konteksto diagrama.....	35
4.3 pav. Panaudojimo atvejų diagrama	36
4.4 pav. Esysių - ryšių diagrama.....	45
5.1 pav. Panaudojimo atvejų diagrama	61
5.2 pav. Abstrakti sistemos paketų diagrama.....	62
5.3 pav. „Views“ paketo klasių diagrama	62
5.4 pav. „ViewModels“ paketo klasių diagrama.....	63
5.5 pav. „Services“ paketo klasių diagrama.....	63
5.6 pav. „Repositories“ paketo klasių diagrama	64
5.7 pav. „Domain“ paketo klasių diagrama	64
5.8 pav. „Hardware“ paketo klasių diagrama	65
5.9 pav. „Analysis“ paketo klasių diagrama	65
5.10 pav. PA „Pradėti analizę“ sekų diagrama	66
5.11 pav. PA „Aptikti defektus“ sekų diagrama	67
5.12 pav. PA „Vykdėti defektų aptikimą etalono vaizde“ sekų diagrama.....	67
5.13 pav. PA „Vykdėti kiekvieno kadro analizę“ sekų diagrama.....	68
5.14 pav. PA „Nustatyti defektų tolerancijos ribas“ sekų diagrama	68
5.15 pav. PA „Išsaugoti defektų tolerancijos ribas“ sekų diagrama	69
5.16 pav. PA „Keisti kameros parametrus“ sekų diagrama	69
5.17 pav. PA „Nustatyti detalės kokybės verdiktą“ sekų diagrama.....	70
5.18 pav. PA „Vykdėti automatinį anotavimą“ sekų diagrama	70
5.19 pav. Vykdėti defektų aptikimą etalono vaizde veiksmų diagrama	71
5.20 pav. Vykdėti automatinį anotavimą veiklos diagrama.....	72
5.21 pav. Išdėstymo diagrama.....	73
5.22 pav. Esysių – ryšių diagrama	74
6.1 pav. Kameros parametrų keitimo vienetų testai	83
6.2 pav. Objekto aptikimo modelio testavimo vienetų ir integravimo testai	84
6.3 pav. Objektų aptikimo modelio tikslumas	84
6.4 pav. Testavimo metu aptiktų defektų pavyzdys.....	86
7.1 pav. Defektų aptikimas pavyzdiniame vaizde.....	88
7.2 pav. Analizės paleidimo mygtukas.	88
7.3 pav. Informacija apie bandymą paleisti analizę, kai nepasirinkta detalė.	89
7.4 pav. Kameros parametrų keitimas.....	89
7.5 pav. Analizės peržiūros langas.....	90

1. PROJEKTO PARAIŠKA

1.1. Įvadas

Šio projekto tikslas yra surasti ir ištirti kompiuterinės regos bei mašininio mokymosi metodus, kurie leis identifikuoti baldų detalių paviršiaus defektus ir juos klasifikuoti bei juos pritaikyti realiose baldų detalių gamybos linijose. Netinkamos produkcijos nustatymas leis padidinti pramoninės gamybos efektyvumą, sumažins gamybos išlaidas bei žaliavų sunaudojimą. Šis baldų detalių gamybos kokybės užtikrinimas gamintojams leis greičiau plėstis, padidinti pelną bei tapti labiau konkurencingiems. Šio projekto metu bus įgyvendintas konvoliucinių neuroninių tinklų metodas, kuris leidžia identifikuoti ir klasifikuoti paviršiaus defektus realiu laiku. Šis metodas bus įgyvendintas pažangių mašininio mokymosi bibliotekų (Pytorch/Tensorflow) pagalba. Projekto užsakovai ir naudotojai yra stambios baldų gamybos įmonės.

Projekto metu numatoma įvykdyti šias veiklas:

1. Kameros konfigūracija tinkamo vaizdo gavimui, panaudojant kameros biblioteką.
2. Skirtingų kameros kadrų apjungimas pilno vaizdo gavimui.
3. Optimalių pirminių vaizdo apdorojimo metodų pritaikymas defektų regionų radimui.
4. Tinkamiausio mašininio mokymosi metodo pasirinkimas.
5. Dirbtinio intelekto metodo pritaikymas baldų detalių su skirtingais paviršiais patikrai.
6. Sistemos dalies integracija į bendrą sistemą.
7. Sistemos testavimas realioje gamybos linijoje.

Numatoma projekto kaina yra **101850 €**. Projektą planuojama įgyvendinti iki **2020-12-10** dienos.

1.2. Poreikis

1.2.1. Projekto vartotojai ir klientai

Šio projekto naudotojai – stambios Lietuvos bei Europos baldų gamybos įmonės. Bendra Lietuvos baldų gamintojų metinė apyvarta 2017 metais viršijo 1 milijardą eurų ir kasmet auga apie 10 proc. [1]. Didžiąją dalį pagamintos produkcijos nuperka Švedijos koncernas „IKEA“, o šiai įmonei ypač svarbu aukšti kokybės standartai, todėl jie ragina visus gamintojus investuoti į geresnę gamybos įrangą bei kokybės kontrolės sistemas. „IKEA“ įmonės tiekėjai, tokie kaip „Vakarų medienos grupė“ (VMG) bei „Freda“, per ateinančius metus planuoja investuoti beveik 300 milijonų eurų produkcijos gamybos bei sandėlių plėtrai.

1.2.2. Vartotojo problemos

Didžioji dalis Lietuvoje pagaminamos baldų produkcijos yra parduodama „IKEA“ koncernui, kuris turi labai aukštus kokybės standartus. Baldų gamybos procesas yra ilgas, sudėtingas, susideda iš daugelio dalių, todėl nutinka įvairių gedimų bei kitų nenumatytų problemų, kurių metu yra sugadinama baldų detalių kokybė. Šiuo metu baldų detalių kokybę tikrina gamybos linijų operatoriai, tačiau šie nespėja efektyviai prižiūrėti kokybės, dažnai yra taikomas metodas, kuomet pasirenkama atsitiktinė detalė, patikrinama jos kokybė ir pagal tai nusprendžiama ar gamyba kokybiška. Šis gamybos metodas nėra efektyvus, kadangi iškarto po patikros kas nors gali sugesti ar sulūžti, todėl iki kito patikrinimo galima pagaminti dešimtis ar net šimtus nekokybiškų gaminių. Vienintelis efektyvus gaminių patikros metodas yra kompiuterinės regos technologijų taikymas, tačiau užsienio gamintojų siūlomi sprendimai yra per brangūs. Kompiuterinės regos sistemos yra gana sudėtingos,

kadangi jos susideda iš daugelio kamerų, kurių vaizdas yra apdorojamas ir atlikus visų paviršių analizę yra nustatoma kiekvienos detalės kokybė. Detalių patikros sistemos susideda iš paviršių patikros modulio, gręžtinių skylių patikros modulio, frezuoto griovelio patikros modulio bei kraštų patikros modulių. Taip pat stambūs užsienio tiekėjai dažnai nesivargina pritaikyti sistemų pagal užsakovo poreikius. Šias problemas puikiai padėtų išspręsti Lietuvos įmonė, kuri sukurtų gamybos patikros sistemą.

1.2.3. Rinkos tyrimas

Baldų detalių paviršiaus defektų identifikavimu bei klasifikavimu domisi beveik visos Lietuvos baldų gamybos įmonės. Šiuo metu rinkoje yra tik užsienių įmonių siūlomi sprendimai, kurių kaina stipriai viršija Lietuvos gamintojų lūkesčius, todėl rinka yra atvira naujiems pasiūlymams. Net du trečdaliai medienos produkcijos yra eksportuojama, o tai sudaro 12,5 proc. viso Lietuvos eksporto [2].

1 lentelė Stambiausių Lietuvos rinkos įmonių palyginimas [2], [3], [4]

Gamintojas (savybės)	Vakarų medienos grupė (VMG)	SBA	Freda
Metinė apyvarta	350 mln. eur	Virš 300 mln. eur	120 mln. eur
Planuojama metinė apyvarta po 3-5 metų	Virš 500 mln. eur	Virš 400 mln. eur	Iki 240 mln. eur
Darbuotojų skaičius	3700	5000	600
Planuojamos investicijos	140 mln. eur	Virš 30 mln. eur	53 mln. eur
Produkcijos eksportas	ES, JAV, Artimieji rytai, Indija, Kinija bei Australija	Vakarų Europa,	50 šalių.
Įmonių kiekis	15	30	2
Planuojama sukurti darbo vietų	1000	400	240

Palyginus stambiausių Lietuvos baldų gamintojus (**1 lentelė**) matome, jog visos įmonės turi didelių plėtros bei gamybos efektyvumo didinimo planų, ir tam planuoja skirti dideles finansines investicijas. Bendrai visų įmonių investicijos per ateinančius keletą metų kartu yra virš 200 mln. eur. Viena geriausių produkcijos gamybos efektyvumo priemonė yra detalių vizualinė patikra, panaudojant kompiuterinės regos technologijas. Tokio tipo patikros viena svarbiausių dalių - paviršiaus defektų aptikimas ir klasifikavimas, todėl remiantis rinkos tyrimu galima teigti, kad kuriamas produktas yra labai perspektyvus ir pelningas.

1.2.4. Informacija apie klientus

Produkto klientai tai stambios baldų gamybos įmonės, kuriuos gamina didelius kiekius baldų detalių bei gamybai naudoja automatizuotą įrangą. Didžioji dalis šių įmonių jau yra automatizavusios didžiąją dalį gamybos proceso, tačiau kokybės kontrolė vis dar nėra automatizuota, todėl aukšta kokybė nėra užtikrinama. Klientams yra reikalinga sistema bei aparatūrinė įranga, galinti užtikrinti kiekvienos detalės kokybę.

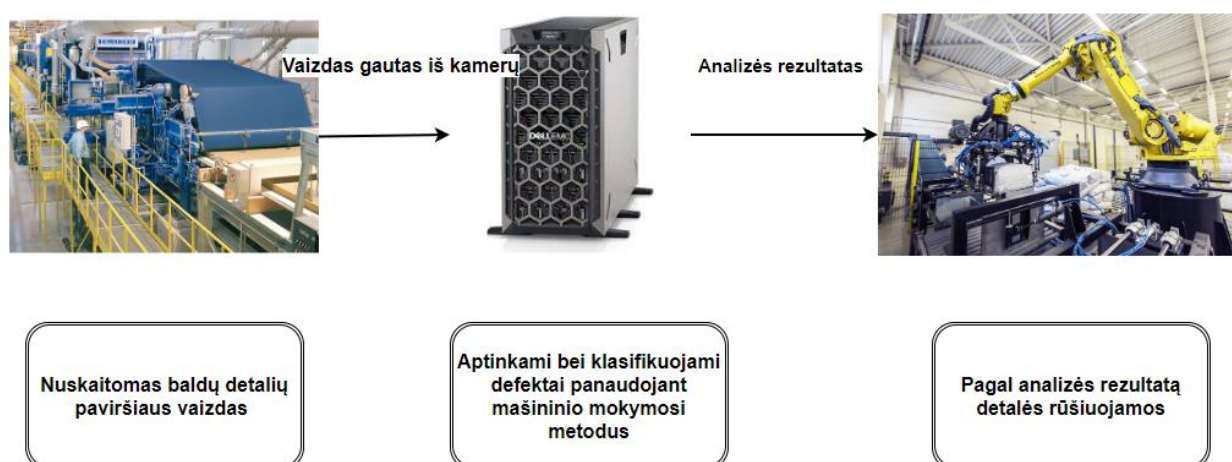
1.3. Pasiūlymas

1.3.1. Produkto apibūdinimas

Mašininio mokymosi bei kompiuterinės regos technologijų tyrimas buvo vystomas baldų detalių paviršių defektų nustatymo ir klasifikavimo srityje. Tyrimo metu planuojama defektus klasifikuoti net į 10 skirtingų tipų. Taip pat defektus planuojama klasifikuoti pagal jų kilmės šaltinį, todėl gamybos įmonės galės greičiau nustatyti kas sukelia defektus bei likviduoti šių neatitikimų padarinius. Produkto veikimas bus paremtas detalių, kurios važiuoja gamybos linijos konvejeriu, paviršiaus vaizdo nuskaitymu bei apdorojimu. Bus naudojamos kameros, kurios veikia dideliu dažniu, todėl vaizdo nuskaitymas ir analizė vyks realiu laiku. Iš kamerų gautas vaizdas bus apdorojamas pasitelkiant mašininio mokymosi metodus, todėl analizė bus vykdoma labai dideliu tikslumu. Tyrimo metu daugiausiai dėmesio planuojama skirti mašininio mokymosi metodo tyrimui. Planuojama ištirti atraminių vektorių klasifikatorių bei konvoliucinių neuroninių tinklų metodus („YOLO“ ir „Faster R-CNN“). Defektų analizės sistema bus integruota į bendrą baldų detalių sistemą, kuri yra pilnai automatizuota. Ši sistema aptikus detalę perduoda signalą robotui, kad šis gaminys nėra tinkamas, robotas gavęs signalą nukelia detalę nuo gamybos linijos ir padeda ją į perdirbimui skirtų detalių vietą. Šios sistemos pagalba užtikrinama ne tik aukštesnė gamybos kontrolė, bet ir nereikia papildomų darbuotojų, kurie rūšiuoja detales.

1.3.2. Sistemos kontekstas

Projekto metu planuojama įgyvendinti mašininio mokymosi metodus, kurie padės identifikuoti bei klasifikuoti baldų detalių defektus. Šiuos algoritmus planuojama integruoti į baldų detalių patikros sistemą, kuri yra sudaryta iš aparatūrinės bei programinės įrangos. Baldų patikros sistema šiuo metu jau veikia gamyklose, tačiau ji defektų nustatymui nenaudoja mašininio mokymosi technologijų, todėl tikslumas nėra toks aukštas kokį galima pasiekti pasinaudojus šių dirbtinio intelekto metodų privalumais.



1.1 pav.. Baldų detalių gamybos proceso ir defektų nustatymo kontekstas [5], [6], [7]

1.3.3. Bendri apribojimai

Baldų defektų aptikimo metodikai taikomi šie apribojimai:

1. Defektų identifikavimas ir klasifikavimas realiu laiku;
2. Turi veikti kompiuteryje, kuriama naudojama „Windows“ operacinė sistema;
3. Galimybė integruoti į darbatalio aplikaciją, kuri sukurta C# programavimo kalba.

1.3.4. Projekto įgyvendinimo planai ir kokybės vertinimas

Projekto įgyvendinimo metu bus ištirti ir ištestuoti baldų detalių paviršiaus kokybės patikros metodai. Defektų identifikavimui ir klasifikavimui bus pritaikyti mašininio mokymosi algoritmai. Eksperimentų rezultatus planuojama aprašyti moksliniame straipsnyje. Taip pat planuojama įgyvendintus metodus integruoti į baldų detalių patikros sistemą. Sistemos vertinimo kriterijai pateikiami **2 lentelėje**

2 lentelė Sistemos vertinimo kriterijai

Nr.	Kriterijus	Pagrindimas
1	Išplečiamumas	Numatyta galimybė pridėti naujos tekstūros detalių paviršiaus defektų identifikavimo ir klasifikavimo metodiką.
2	Priklausomumas kitos programinės įrangos	Atvirojo kodo vaizdų apdorojimo bei mašininio mokymosi bibliotekos
3	Tikslumas	Planuojama pasiekti virš 92 proc. defektų klasifikavimo tikslumą

Projekto metu planuojama atlikti eksperimentus bei tyrimus, todėl šiems tyrimams prireiks nemažai aparatūrinės įrangos. Daug dėmesio planuojama skirti mašininio mokymosi metodų tyrimui, todėl modelių apmokymui prireiks gana galingo kompiuterio su grafiniu vaizdo procesoriumi. Vis dėlto didžiąją dalį tyrimų sudarys algoritmų tyrimas bei įgyvendinimas. Visi šie kaštai yra pateikiami **3 lentelėje**

3 lentelė Projekto biudžetas

Išlaidos	Vienetas	Vienetų skaičius	Vieneto kaina, Eur	Viso, Eur
1. Žmonių ištekliai				
Duomenų analitikas	Darbo diena	220	150	33000
Programuotojas	Darbo diena	150	120	18000
Analitikas	Darbo diena	100	150	15000
Testuotojas	Darbo diena	50	70	3500
<i>Iš viso žmonių išteklių</i>		520		69500
2. Įranga ir prekės				
Ritininis konvejeris	Vienetas	1	5000	5000
Juostinis konvejeris	Vienetas	1	6000	6000
Difuzinis šviestuvas	Vienetas	2	1500	3000
Fokusuotas šviestuvas	Vienetas	1	1000	1000

Linijos nuskaitymo kamera	Vienetas	3	1200	3600
Spalvota linijos nuskaitymo kamera	Vienetas	1	1600	1600
IR šviestuvai	Vienetas	1	2500	2500
IR linijos nuskaitymo kamera	Vienetas	1	2000	2000
Kompiuteris su grafiniu vaizdo procesoriumi	Vienetas	1	5000	5000
<i>Iš viso Įranga ir prekės</i>		12		29700
3. Biuro išlaikymas				
Biuro nuoma	Mėnesis	13	150	1950
Šildymas	Mėnesis	7	100	700
<i>Iš viso biuro išlaikymas</i>		20		2650
4. Viso tiesioginiai projekto kaštai				101850

1.4. Nauda

Automatizuota kokybės patikros sistema leis užtikrinti aukštesnės kokybės gaminius. Aukštesnės kokybės gaminiai padarys baldų gamyklų produkciją patikimesnę bei patrauklesnę pirkėjams. Taip pat ši sistema padės išpildyti pagrindinio užsakovo „IKEA“ keliamus reikalavimus, todėl geriau įvykdyti reikalavimus, labai didelė tikimybė, kad padidės užsakymų skaičius. Įmonėse, kuriose planuojama įdiegti sistemą 10 proc. visų pagaminamų detalių yra su defektais. Net 70 proc. defektų yra paviršiaus pažeidimai bei kiti paviršiaus neatitikimai. Įdiegus sistemos dalį, kuri tikrins paviršiaus defektus planuojama sumažinti detalių su defektais skaičių iki 4 proc., dėl ko detalių su defektais skaičius sumažės net 6 proc., o gamybos išlaidos - 3,5 proc. Sumažėjus išlaidoms įmonės pelnas padidės net 0,5 proc. nuo metinės apyvartos. Šio rinkos tyrimo metu buvo nustatyta, kad didžiųjų baldų gamybos įmonių metinė apyvarta svyruoja nuo 120 mln. eur iki 350 mln. eur, todėl 0,5 proc. pelno padidėjimas atitinkamai padidins bendrą pelną nuo 600 tūkstančių iki 1,75 milijonų eurų. Sistema, kuri identifikuos bei klasifikuos baldų detalių paviršiaus defektus planuojama ištestuoti bei įdiegti iki 2020-12-10.

1.5. Konkurencija ir alternatyvos

Rinkoje egzistuoja nemažai įmonių, kurios pasitelkia kompiuterinės regos technologijas pramonės gaminių patikrai, tačiau nėra gausu baldų detalių kokybės užtikrinimo sistemų, kadangi jas sukurti yra gana sudėtinga ir užtrunka daug laiko. Analizės metu nustatyta, kad populiariausi yra įmonės „Baumer Inspection GmbH“ kuriamas sprendimas „ColourBrain“ [8] bei „Argos Solution“ sistema „Argos Grading System“ [9], [10]. Planuojamas sukurti paviršių aptikimo produktas yra tik viena anksčiau paminėtų alternatyvių sistemų dalis, todėl konkurentus planuojama lyginti su sistema, į kurią planuojama integruoti įgyvendintus mašininio mokymosi algoritmus.

4 lentelė Kuriamo produkto alternatyvų palyginimas [9]

Kriterijus/Sistema	ColourBrain	Argos Grading System	Sistema į kurią planuojama integruoti kuriamą produktą
Lietuvos įmonė	Ne	Ne	Taip

Defektų klasifikavimas	Taip	Taip	Taip
Skylių ir griovelių patikra	Taip	Taip	Taip
Kraštų defektų patikra	Taip	Taip	Taip
Paviršių patikra	Taip	Taip	Taip
Defektų kilmės nustatymas	Taip	Ne	Taip
Minimalus defektų dydis	0,2 mm	1 mm ²	0,5 mm
Spalvotų kamerų naudojimas paviršių defektų nustatymui	Taip	Nepateikiama	Taip
Lazerio naudojimas	Taip	Taip	Taip
Skirtingų tekstūrų analizė	Taip	Taip	Taip
Statistinė informacija gamybos optimizavimui	Taip	Taip	Taip
Aparatūrinės ir programinės įrangos sprendimai	Taip	Taip	Taip
Linijos nuskaitymo kameros	Taip	Taip	Taip
Mašininio mokymosi metodai	Atraminių vektorių klasifikatorius	Nepateikiama	Konvoliuciniai neuroniniai tinklai

Alternatyvių sistemų palyginime, kuris pateiktas **4 lentelėje**, matoma, kad abi alternatyvios sistemos yra kuriamos užsienio valstybėje. Nors ir nepavyko rasti rinkoje esančių sistemų kainų, tačiau galima daryti išvadą, kad Vokietijos ar Švedijos gamintojų sprendimai kainuos žymiai brangiau nei kuriami Lietuvoje, kadangi vien specialistų atlyginimai minėtose šalyse yra ženkliai didesni nei Lietuvoje [11]. Taip pat ženkliai išauga ir sistemos įdiegimo išlaidos, nes kompiuterinės regos sistemos neapsieina be kamerų bei kitos aparatūrinės įrangos, todėl užsienio specialistai privalės atvykti ir apsistoti Lietuvoje sistemos diegimo metu. Siūlomas sprendimas pranašesnis ne tik kaina, bet ir tuo, kad defektų aptikimui bei klasifikavimui bus naudojami konvoliuciniai neuroniniai tinklai. Šio metodo pagalba dažnai pasiekiamas žymiai didesnis tikslumas nei naudojant tradicinius klasifikatorius.

1.6. Santrauka

Vertėmis grįstas pasiūlymas

Vertėmis grįstas pasiūlymas: Baldų detalių paviršių patikros sistema

Tiksliniam klientui IKEA tiekėjams (VMG, SBA, Freda), naudoti pramoninės baldų detalių kokybės pagerinimui. Baldų gamintojai suprato, kad šiuo metu plačiai taikomas gamybos patikros metodas (vizualinė žmogaus patikra) nėra efektyvus, todėl šį procesą reikia automatizuoti, sukuriant paviršių patikros sistemą.

Mūsų siūlomas sprendimas: baldų paviršiaus patikros metodų integravimą į kokybės patikros sistemą.

Tai suteikia efektyvų baldų gamybos procesą bei sumažina produkcijos su defektais skaičių. Kokybės pagerinimas sumažins gamintojų kaštus. Projekto planuojami kaštai neviršys 102 tūkstančių. eur. Metodai bus integruoti į patikros sistemą, kuri įdiegta užsakovo aplinkoje iki 2020-12-10.

Skirtingai nei žmonių vizualinė patikra šis metodas efektyviai veiks 24 val. per parą ir užtikrins kiekvienos detalės patikrą.

1.7. Išvados

1. Sistema pakeis vizualinę patikrą, kurią šiuo metu atlieka žmonės.
2. Sistema sumažins gamybos išlaidas bei padidins gamybos efektyvumą.
3. Sistemos naudojimas padidins bendrą įmonių pelną.
4. Sistema identifikuos ir klasifikuos defektus bei kiekvieną defektą priskirs jo kilmės šaltiniui.

2. PROJEKTAVIMO METODOLOGIJOS IR TECHNOLOGIJŲ ANALIZĖ

2.1. Įvadas

Pramoninė gamyba yra labai svarbi šiuolaikinėje visuomenėje, kadangi beveik visi mus supantys daiktai ir įrenginiai yra pagaminti, naudojantis pramoninės gamybos technologijomis. Robotai bei kiti gamybos įrenginiai pagreitina bei palengvina gamybą, tačiau šie įrenginiai neužtikrina gaminių kokybės, todėl sugedus tam tikrai įrenginio detalei gali nutikti nemalonių pasekmių – stipriai padidėti gaminių su defektais kiekis. Netinkamų gaminių gamyba stipriai sumažina pelną, sumažina gamybos apimtis, padidina žaliavų sąnaudas, padidina sąlygas ekologinių problemų vystymuisi (pvz. iškertama daugiau medžių arba papildomai sunaudojama daugiau elektros energijos). Automatizuota gamybos kokybės kontrolė leidžia išvengti šių problemų. Naudojantis šia technologija galima pakeisti žmones ne tik gamybos veiksmų atlikime, bet ir kokybės užtikrinime. Gaminių kokybės patikra yra svarbi, nes leidžia greičiau identifikuoti iškilusias problemas, sumažina gamybos išlaidas, eliminuoja brangias klaidas. Taip pat automatizuota patikra leidžia objektyviai įvertinti gaminio kokybę ir išvengti žmogiškųjų klaidų. Šiame darbe aprašoma gaminių kokybės patikra, vykdoma pasitelkiant kompiuterinės regos įrangą ir vaizdo apdorojimo bei mašininio mokymosi metodus. Tyrime planuojama įsigilinti į paviršiaus defektų aptikimą pramoninių gaminių gamyboje nemažai dėmesio skiriant baldų detalių kokybės įvertinimo metodams, kadangi baldų gamyba bene stambiausia Lietuvos pramonės sritis. Svarbiausia darbo dalis – mašininio mokymosi algoritmų, kurie labiausiai tinkami defektų aptikimui bei defekto tipo nustatymui (klasifikavimui), tyrimas. Taip pat planuojama nemažai dėmesio skirti ne tik mašininio mokymosi metodų tikslumui, bet ir jų vykdymo laikui, nes gaminių kokybės patikros procesas vyksta realiu laiku bei reikia apdoroti gana didelį informacijos (nuotraukų) kiekį.

Raktiniai žodžiai: Kompiuterinė rega, mašininis mokymasis, kokybės patikra, pramonės automatizavimas, defektų aptikimas bei klasifikavimas.

Keywords: computer vision, machine learning, quality control, industrial automation, defects detection and classification

2.2. Tikslas

Šio darbo tikslas yra surasti ir ištirti kompiuterinės regos bei mašininio mokymosi metodus, kurie leis identifikuoti baldų detalių paviršiaus defektus ir juos klasifikuoti. Netinkamos produkcijos nustatymas leis padidinti pramoninės gamybos efektyvumą, sumažins gamybos išlaidas bei žaliavų sunaudojimą. Šis baldų detalių gamybos kokybės užtikrinimas gamintojams leis greičiau plėstis, padidinti pelną bei tapti labiau konkurencingiems.

Šio darbo tikslas yra surasti ir ištirti labiausiai tinkamus metodus ir atlikus tyrimus bei eksperimentus planuojamą gautą rezultatą panaudoti realiose baldų detalių gamybos linijose.

2.3. Srities apžvalga

Automatizacija ir robotizacija šiuo metu yra labai svarbios, kadangi jų pagalba galima padidinti gamybos patikimumą, saugumą, pagerinti gaminių kokybę, sumažinti žaliavų švaistymą bei padidinti pelningumą. Taip pat automatizacija leidžia palengvinti žmonių darbą. Dažniausiai žmonės nemėgsta pasikartojančių, neįdomių užduočių. Pramoninės gamyklos dažniausiai dirba keliomis pamainomis, todėl žmonėms dažnai tenka dirbti naktį. Varginantis bei naktinis darbas sumažina žmonių darbo

efektyvumą, todėl padidėja klaidų tikimybė. Šios klaidos dažnai lemia medžiagų sugadinimą ar net naudojimui netinkamą galutinį produktą. Tuo tarpu, automatizuotų sistemų šie veiksniai neveikia, nes jos yra sukurtos atlikti pasikartojančius veiksmus, šios sistemos nepavargsta bei joms naktinis darbas neturi įtakos. Dar vienas didelis automatizuotų sistemų pranašumas – jos gali dirbti ekstremaliomis sąlygomis. Nemažai pramoninių procesų yra atliekama aplinkoje, kuri nėra įprasta žmogui (labai karšta arba labai šalta, labai triukšminga aplinka), todėl darbus tokiomis sąlygomis žmonėms yra ypač sunku atlikti arba kartais net ir neįmanoma. Dėl šios priežasties yra labai svarbu stengtis pritaikyti automatizuotas sistemas darbui ekstremaliomis sąlygomis [12].

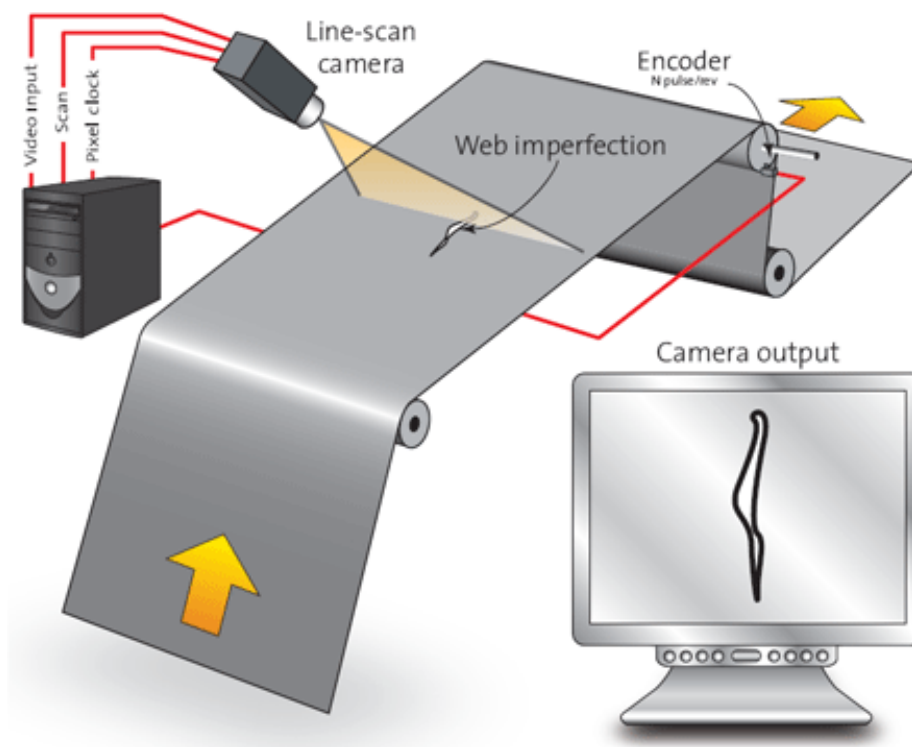
Nors šios automatizuotos sistemos turi labai daug privalumų lyginant su žmonių darbu, tačiau jos turi ir keletą trūkumų. Automatizuotos sistemos dažnai yra labai sudėtingos ir susideda iš daugybės komponentų, todėl yra gana didelė tikimybė, kad tam tikras komponentas suges. Toks gedimas gali turėti labai rimtų padarinių – visi pagaminti produktai bus su defektais ir bus iššvaistyta dar daugiau žaliavų. Šios rimtos problemos galima išvengti panaudojant kompiuterinės regos sprendimus, kurie užtikrina gaminių kokybę bei stabdo gamybos procesą, jei tam tikras netinkamų produktų kiekis pagaminamas iš eilės. Taip pat kompiuterinės regos sistemos informuoja žmones apie netinkamos kokybės gaminius bei dažnai identifikuoja defektų rūšį bei jų kilmės šaltinį. Kompiuterinės regos sistemos yra pagrįstos iš kamerų gauto vaizdo apdorojimu, naudojant vaizdo apdorojimo algoritmus arba taikant mašininio mokymosi metodus. Vizualinės patikros privalumai pramoninėje gamyboje yra labai ženkliūs, nes produktų kiekiai yra labai dideli ir net nedidelis kokybės pagerinimas leidžia sutaupyti didelę sumą pinigų. Kompiuterine rege pagrįsti produktų patikros metodai yra plačiai ištirti ir naudojami pagerinti produktų kokybę bei sumažinti išlaidas [13]. Beveik visada pramoninių gaminių kokybės patikra vyksta realiu laiku [14], [15], todėl reikia ne tik analizuoti gautą iš nuotraukų vaizdą, bet ir užtikrinti, kad gaunamas vaizdas būtų kokybiškas ir tinkamas defektų aptikimui. Šiame skyriuje aptarsime svarbiausias problemas susijusias su vaizdo gavimu realiu laiku.

2.3.1. Techninė įranga ir jos apribojimai

Įgyvendinant kompiuterinės regos sprendimus galima panaudoti įvairias kameras ar jutiklius. Nesudėtingoms užduotims atlikti galima pritaikyti išmaniąsias kameras (angl. Smart camera) – tai industrinė vaizdo kamera, kuri turi integruotą vaizdo apdorojimo sistemą ir gali veikti be papildomo kompiuterio. Kitas populiarus kamerų tipas yra regiono nuskaitymo kameros (angl. Area scan camera). Šios kameros dažniausiai naudojamos tradiciniams uždaviniams spręsti, tačiau jos labiausiai tinkamos, kai objektas bent trumpam nejuda ir nėra labai didelis. Kuriant pramoninius kompiuterinės regos sprendimus dažnai susiduriama su netradicinėmis problemomis, todėl šioms problemoms spręsti yra naudojamos linijos nuskaitymo kameros (angl. Line scan camera). Norint nuskaityti vaizdą su šia kamera reikia linijiniu judesiu judinti pačią kamerą arba pravežti objektą konvejeriu (dažniausiai pramoniniai gaminiai visos gamybos metu juda konvejeriu). Linijos nuskaitymo kameros naudoja vieną pikselių eilutę, todėl jos nėra apribotos tam tikros vertikalios skiriamosios gebos ir gali nuskaityti daug didesnius vaizdus nei regiono nuskaitymo kameros.

Analizės metu buvo nustatyta, kad vienas iš plačiai taikomų kompiuterinės regos metodų yra tekstilės kokybės patikra. Dažniausiai tekstilės medžiaga yra 1-3m pločio ir juda nuo 20 iki 200 m/min greičiu [16], todėl tik didelės raiškos ir dideliu greičiu veikiančios kameros gali užfiksuoti vaizdą, tinkamą visų defektų aptikimui. Dažniausiai linijos nuskaitymo kamerų rezoliucija yra tarp 512 ir 12888 pikselių [17], todėl galima identifikuoti net mažiausius medžiagos pažeidimus. Linijos nuskaitymo kameros veikimo principas pavaizduotas **2.1 pav.** [17] Linijos nuskaitymo kameros

veikimo principas pagrįstas objekto judėjimu, todėl reikia žinoti kokių greičiu juda tam tikra medžiaga ar objektas ant konvejerio, nes tik tada gaunamas vaizdas bus tikslus ir tinkamas. Linijinių kamerų naudojimo privalumus patvirtina ir vieno populiariausių baldų detalių patikros sistemų patentas. Šiame patente kaip didžiausias privalumas yra pabrėžiama, kad naudojant daugiau kamerų kiekvienos kameros regos laukas yra mažesnis, todėl galima sumažinti atstumą nuo kameros iki objekto, o tai stipriai sumažina vibracijų įtaką bei leidžia naudoti paprastesnius bei pigesnius kamerų objektyvus [18]. Linijos greičio nustatymui yra naudojami impulsų generavimo įrenginiai (angl. Incremental encoder), kurie sukdamiesi generuoja impulsus. Sugeneruotų impulsų skaičius priklauso nuo linijos greičio, todėl tinkamas vaizdas gaunamas net ir tuo atveju, kai linijos greitis kinta.



2.1 pav. Linijos nuskaitymo kameros veikimo schema [17]

Kitas didelis linijos nuskaitymo kameros privalumas, kad, norint pastebėti tam tikrus defektus užtenka tolygiai apšviesti siaurą ruožą, į kurį yra nukreipta kamera, o naudojant regiono nuskaitymo kameras reikia apšviesti visą objekto plotą. Tolygiai apšviesti visą objektą yra gana sudėtinga, o kartais ir sunkiai įgyvendinama užduotis (nėra pakankamai vietos įmontuoti apšvietimą). Netolygiai apšvietus objektą regiono nuskaitymo kameros nuskaitys vaizdą, kuris bus netinkamas defektų identifikavimui, nes vaizdas šonuose bus tamsesnis, o centre per daug šviesus. Netolygus vaizdas neleis užtikrinti visų defektų aptikimo ir identifikavimo. Naudojant linijos nuskaitymo kamerą lengviau pastebėti defektus ir dėl to, kad šie defektai dažnai matomi tik apšvietus objektą tam tikru kampu, o siauro šviesos šaltinio kampas yra žymiai lengviau reguliuojamas nei apšvietimas, naudojamas regiono nuskaitymo kameroms. Apšvietimo sąlygos yra labai svarbios vizualinės patikros sistemose, kadangi tik paviršiaus charakteristikas atitinkantis apšvietimas leis gerai aptikti defektus [19].

Įgyvendinant kompiuterinės regos sprendimus produkcijos kokybei užtikrinti yra susiduriama ne tik su aukščiau paminėtomis problemomis dėl gaminių judėjimo greičio ar didelių matmenų, bet ir su problema dėl gaminių su tekstūromis. Šios tekstūros dažnai labai panašios į defektus, todėl stipriai

apsunkina netinkamų vietų aptikimą bei sumažina kokybės patikros sistemų patikimumą. Tekstūros bei spalvos įtaką galima sumažinti naudojant šviesos šaltinį, kurio bangos ilgis (700 nm – 2500 nm) yra artimas infraraudonųjų spindulių ilgiui (angl. Near infrared). Analizės metu nustatyta, kad artimi infraraudonųjų spindulių spektrui šviesos šaltiniai yra gana plačiai taikomi vaisių bei daržovių paviršiaus defektų identifikavimui. Toks apšvietimas leidžia taikyti tą patį defektų aptikimo algoritmą skirtingos spalvos bei tekstūros vaisiams. [20] Taip pat stipriai sumažina tekstūros įtaką ir leidžia padidinti defektų aptikimo patikimumą.

2.4. Gaminių su defektais iš nuotraukų atpažinimo metodai bei technologijos

Pritaikius tinkamą apšvietimą ir pasirinkus tinkamas kameras gaunamas vaizdas, kuriame matosi defektai, tačiau defektų aptikimas nėra toks paprastas, kaip gali pasirodyti iš pirmo žvilgsnio. Analizės metu pavyko rasti nemažai informacijos apie plieno paviršiaus defektų aptikimo metodus. Baldų detalių paviršiaus defektų aptikimo principas yra labai panašus į plieno lakštų paviršiaus defektų aptikimą, todėl nemažai dėmesio bus skiriama plieno kokybės patikrai. Kitas labai svarbus defektų aptikimo kriterijus yra aptikimo metodų veikimo laikas. Dažniausiai patikra vyksta realiu laiku, todėl analizė turėtų užtrukti kuo trumpesnę laiką. Šis apribojimas neleidžia naudoti metodų, kurie pasižymi geresniais rezultatais, tačiau užtrunka per ilgai.

Analizės metu nustatyta, kad galima taikyti kelis skirtingus defektų aptikimo metodus. Vienas iš jų, kai pirmiausiai aptinkami galimi defektų regionai naudojant vaizdo segmentavimą ir tik tada naudojami defektų klasifikavimo metodai, norint patvirtinti, ar tai tikrai defektas ir nustatyti defekto tipą [21]. Kitas gana populiarus metodas yra Atraminių vektorių klasifikatorius. Šis metodas leidžia realiu laiku nustatyti komplikuočius defektų šablonus užtikrinant didelį efektyvumą. [14] Šiuo metu kompiuterinės regos problemoms spręsti dažnai taikomi konvoliuciniai neuroniniai tinklai. Ši mašininio mokymosi rūšis turi nemažai privalumų lyginant su tradiciniais vaizdo apdorojimo metodais ar tradiciniais mašininio mokymosi metodais. Vienas KNN gali būti naudojamas tikrinti produktų su tekstūra ir be tekstūros paviršiaus defektams, o tradiciniai mašininio mokymosi metodai dažniausiai yra pritaikomi skirtingi priklausomai nuo produktų paviršiaus tekstūros [22].

2.4.1. Tradiciniai vaizdo apdorojimo metodai

Vaizdo apdorojimui yra daug metodų bei technologijų. Vieni iš seniausių, tačiau vis dar plačiai naudojamų, yra tradiciniai vaizdo apdorojimo metodai, kurie nenaudoja MM. Po to kai vaizdas gaunamas iš kameros jis yra apdorojamas pagal tikrą nustatytą vaizdo apdorojimo algoritmą seką ir atlikus visus veiksmus gaunamas norimas rezultatas.

Dažniausiai taikomi yra šie vaizdo apdorojimo metodai:

- Morfologinės transformacijos;
- Vaizdo segmentavimas;
- Vaizdo slenkstinės vertės nustatymas;
- Kraštų aptikimo algoritmai;
- Teksto atpažinimas (angl. Optical character recognition);
- Šablonų aptikimas (angl. Pattern recognition).

Taikant šiuos vaizdo apdorojimo algoritmus galima nustatyti tam tikras vaizdo objektų savybes, kurios skiriasi nuo viso objekto ir tai galima identifikuoti kaip defektą, tačiau tikrinant objektus, kurie nėra vienspalviai arba turi tam tikrą tekstūrą šis paprastas metodas nėra patikimas, kadangi dažnai

defektai atrodo panašiai, kaip tam tikri tekstūros elementai. Šie metodai turi daug privalumų lyginant su žmogaus kokybės patikra, nes pasižymi daug didesniu patikimumu ir efektyvumu. Vaizdo apdorojimo metodai turi privalumų lyginant ir su mašininio mokymosi metodais. Jie dažniausiai veikia greičiau nei sudėtingi dirbtinio intelekto metodai. Taip pat šie metodai dažnai yra naudojami kartu su dirbtinio intelekto metodais. Vaizdo apdorojimų metodų pagalba yra nustatoma regionas, kuris skiriasi nuo viso objekto, o mašininio mokymosi pagalba patikrinama, ar ši zona yra defektas.

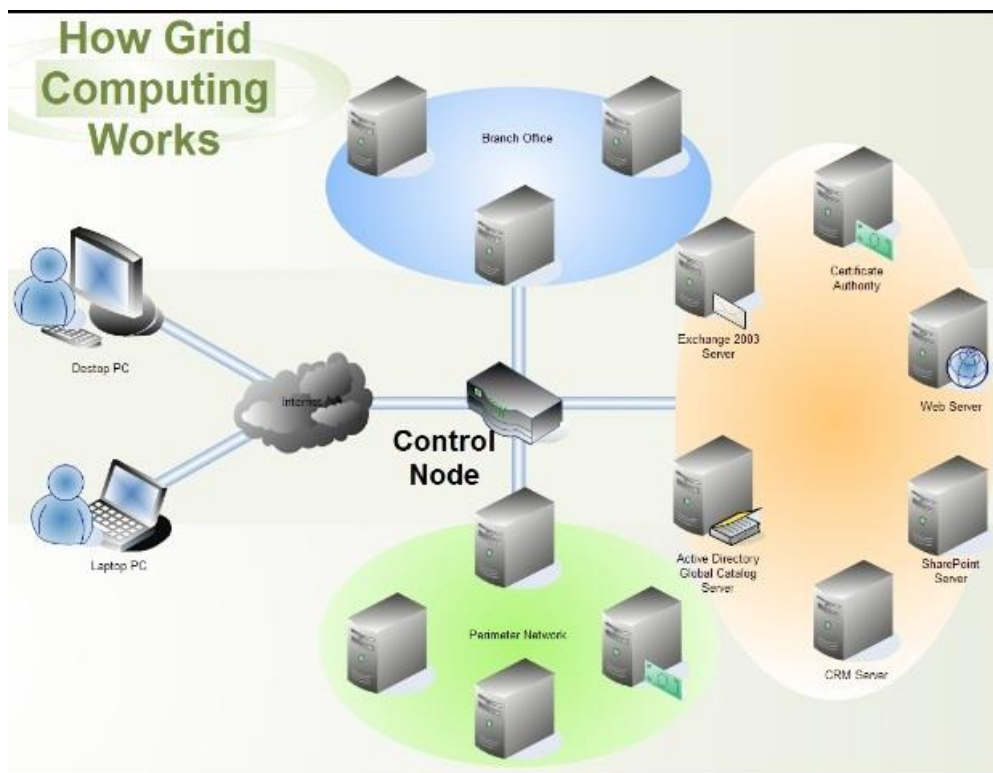
Vienspalvio ir tolygaus paviršiaus patikrai yra plačiai naudojami kraštų aptikimo algoritmai, kadangi šie algoritmai su dideliu patikimumu aptinka zonas, kurios skiriasi nuo tolygaus paviršiaus. Dažniausiai naudojamos kraštų aptikimo operacijos yra „Canny“, „Sobel“, „Roberts“, „Prewitt“, „Laplacian“ ir „Kirsch“. [19], [23]. Kurį algoritmą taikyti dažniausiai nustatoma pagal specifinę problemą. Kartais kai kurių metodų negalima taikyti, nes jie užtrunka per ilgai, yra per daug jautrūs triukšmams nuotraukose arba nėra tinkami aptikti mažiems defektams [23]. Aptikus defekto regioną reikia išgauti šio defekto savybes, pagal kurias galima nustatyti defekto tipą.

Išgaunamos šios savybės [23]:

- Kontrastas;
- Plotas;
- Perimetras;
- Koreliacija;
- Gravitacijos centras;
- Apvalumas;
- Entropija;
- Vaizdo vidurkio reikšmė.

Pagal išgautas savybes galima nustatyti defekto tipą pasinaudojus mašininio mokymosi metodais.

Tradicinius vaizdo apdorojimo algoritmus galima pritaikyti ir gaminiams su tekstūra. Analizės metu buvo nustatyta, kad kraštų aptikimo algoritmai yra sėkmingai taikomi vidutinio tankio medienos plaušų plokštės (angl. Medium-density fibreboard) kokybės patikrai. [19] Realus laiko kokybės patikros sistemoms yra labai svarbus defektų identifikavimo greitis ir atsako laikas, todėl norint sumažinti identifikavimo laiką galima panaudoti tinklinio skaičiavimo architektūrą. Šis metodas, kuris yra pavaizduotas **2.2 pav.** [24], leidžia padalinti visą nuotrauką į dalis ir kiekvienai daliai įvykdyti filtrus bei kraštų aptikimo algoritmus atskirai. Nuotrauka yra padalinama į tiek dalių, kiek nenaudojamų resursų yra tuo metu. Norint, kad defektų nustatymų algoritmų tikslumas nesumažėtų dalinant nuotrauką į kraštų iš visų pusių persidengia po 10 proc., kadangi prie kraštų gali būti labai mažų defektų. [19] Kiekvienas kompiuteris atlieka defektų aptikimo procesą su gauta vaizdo dalimi ir tada visų jų analizės rezultatai yra apjungiami ir pagal tai nusprendžiama plokštės kokybė.



2.2 pav. Tinklinių skaičiavimų (angl. Grid computing) schema [24]

Tradiciniai vaizdo apdorojimo algoritmai dažnai gerai veikia defektų regionų nustatymui ir lokalizavimui, tačiau nepasižymi geru defektų charakterizavimu [25]. Defektų tipo nustatymas dažnai yra labai svarbus, kadangi nustačius defektų tipą galima žymiai lengviau nustatyti, kas sukelia šį defektą bei greičiau nustatyti gamybos proceso vietą, kurią reikia patobulinti ar pakeisti.

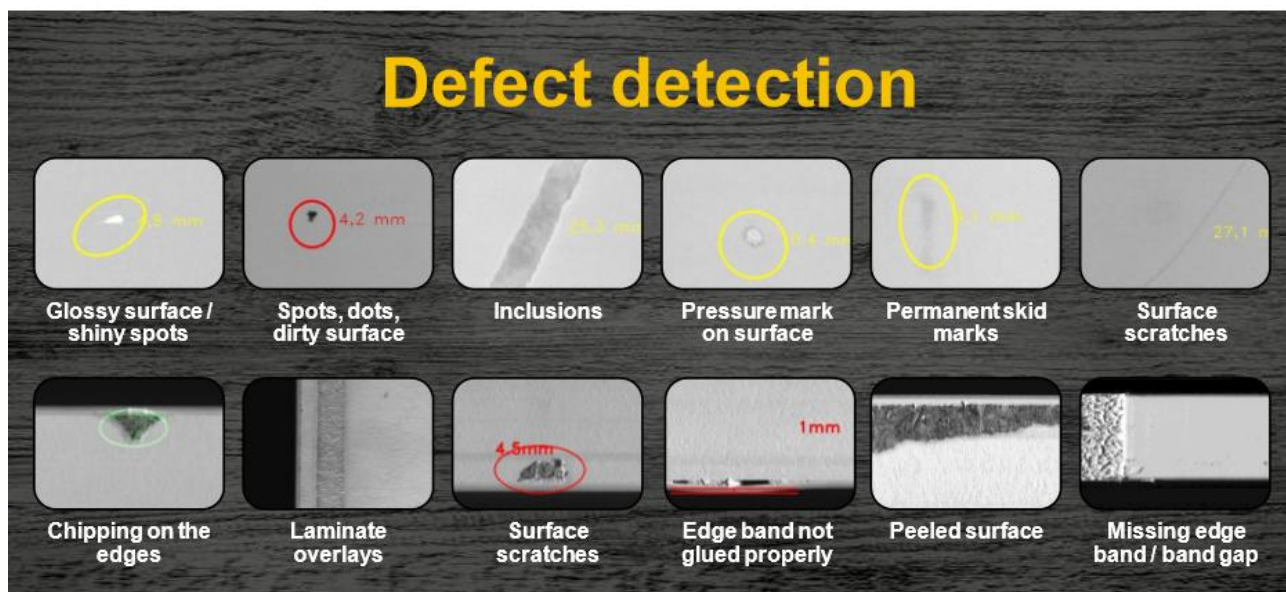
2.4.2. Mašininio mokymosi sprendimai defektų aptikimui

Mašininis mokymasis yra plačiai naudojamas sprendžiant vaizdų atpažinimo ir apdorojimo problemas. Kompiuterinės regos ir mašininio mokymosi naudojimas yra plačiai paplitęs daugumoje industrijos rūšių, kadangi šios technologijos beveik visada pranoksta kokybės patikros darbą atliekančius žmones [22]. Kompiuterinės regos ir mašininio mokymosi pagalba galima atlikti defektų identifikavimą, tekstūros ir formos klasifikavimą ir kitus patikros veiksmus tuo pačiu metu. Per pastaruosius dešimtmečius patikros sistemos padarė nemenką progresą sprendžiant tekstūros reguliavimo ir lygiavimo užduotis, tačiau didžiausią progresą pavyko pasiekti, kai buvo pradėti naudoti mašininio mokymosi algoritmai. Sprendžiant mašininio mokymosi problemas yra naudojami du mašininio mokymosi algoritmų tipai: prižiūrimi ir neprižiūrimi. Prižiūrimi metodai – tai metodai, kurie po daugelio iteracijų sugeba sėkmingai nustatyti klases, pagal kurias buvo mokoma, o neprižiūrimi mašininio mokymosi metodai patys suformuoja grupes iš gautų duomenų [25]. Paviršiaus defektų identifikavimui ir klasifikavimui daugiausiai naudojami SVM ir KNN metodai. [13], [14], [22] Mašininio mokymosi naudojimas pramonės defektų aptikimui labai populiarėja ir vis daugiau problemų galima išspręsti panaudojant tinkamus metodus. Didelio populiarumo susilaukė ir „Kaggle“ puslapyje organizuotas konkursas [26], kurio metu dalyviai sukūrė ir padėjo tobulinti plieno paviršiaus defektų lokalizavimo ir defektų klasifikavimo algoritmus, kurie yra naudojami lyderiaujančios plieno gamybos įmonės „Severstal“

2.4.2.1. SVM metodo pritaikymas defektų tipo nustatymui

Dažnai defektų tipo nustatymui yra naudojami klasifikatoriai. Vienas populiariausių yra atraminių vektorių klasifikatorius. Šis metodas yra populiarus, kadangi gali pasiekti didelį tikslumą nenaudojant daug skaičiavimų resursų, todėl dažnai yra naudojamas kokybės patikrai, kuri vyksta realiu laiku. [14], [27] SVM gali būti naudojamas regresijos ir klasifikavimo uždaviniams, tačiau plačiausiai naudojamas atlikti klasifikavimą. SVM algoritmas yra pagrindžiamas statistine šablonų atpažinimo teorija, apskritai atraminių vektorių klasifikatorius yra laikomas geresniu pasirinkimu triukšmingiems duomenų rinkiniams, lyginant su „Naive Bayes“ ar neuroniniais tinklais, kalbant apie tikslumą ir skaičiavimų sudėtingumą [14]. Šio tyrimo metu SVM klasifikatorius pasiekė 90,5 proc. tikslumą, o dirbtinių neuroninių tinklų klasifikatorius pasiekė 89,9 proc. tikslumą. Atlikus vaizdų pradinį apdorojimą, kurio pagalba buvo pašalinti nuotraukų triukšmai, atraminių vektorių klasifikavimo metodas pasiekė net 94,4 proc. patikimumą, o tuo tarpu neuroninių tinklų algoritmas sugebėjo pasiekti 90,8 proc. tikslumą. [14] Taip SVM klasifikatorius pralenkė neuroninių tinklų metodą ne tik tikslumo atžvilgiu, bet savo mažesniu vykdymo laiku. [14]

Atraminių vektorių metodas yra sėkmingai naudojamas defektų aptikimui ir klasifikavimui medienos pramonėje. Vidutiniškai 96,5 proc. klasifikavimo tikslumas buvo pasiektas naudojant SVM klasifikatorių, kuris buvo apmokytas su 800 medienos mazgų nuotraukomis ir klasifikavo medienos mazgus net į 5 grupes. [28] Norint nustatyti defektų tipą reikia išskirti dominuojančias defektų savybes. Šių savybių pasirinkimas ir išgavimas yra svarbiausias žingsnis, norint pasiekti sėkmingą defektų klasifikavimą. [28] Savybių išskyrimas yra vienas svarbiausių mašininio mokymosi uždavinių, kuris padeda išvengti persimokymo (angl. overfitting) bei dimensijų prakeiksmo (angl. curse of dimensionality). [29] Dažnai tokios defektų savybės kaip spalva ir tekstūra yra labai svarbios žmogaus patikrai, tačiau naudojant kompiuterinės regos ir klasifikavimo metodus svarbiau yra santykis spalvos pokyčio su objekto fonu nei absoliutinė spalva, kadangi spalva gali labai priklausyti nuo kameros tipo bei nustatymų ir apšvietimo sąlygų. [28] Dažniausius baldų detalių paviršiaus defektus galima pamatyti **2.3 pav.**, šie defektai gana ryškiai skiriasi vienas nuo kito, todėl jų tipo nustatymui turėtų sėkmingai veikti SVM klasifikatorius, kadangi analizės metu nustatyta, kad šis klasifikatorius sėkmingai įvykdė panašias paviršiaus defektų tipų identifikavimo užduotis anksčiau minėtuose darbuose. [14], [28]

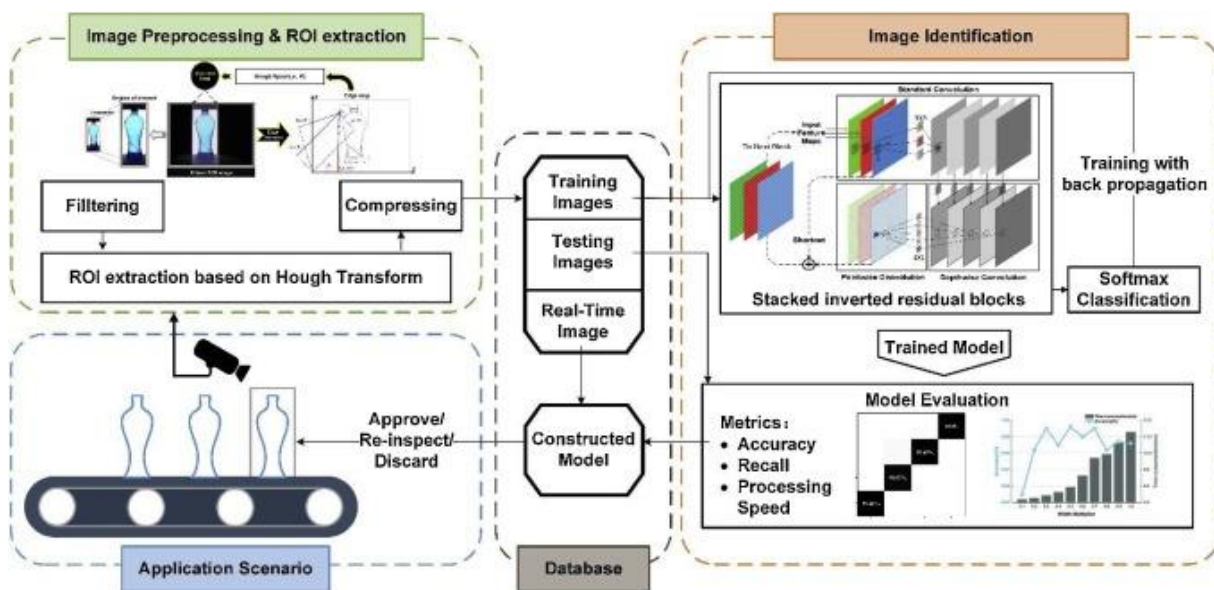


2.3 pav. Baldų detalių pagrindinių paviršių bei kraštų paviršių defektai, Elinta Robotics, UAB nuotrauka

2.4.2.2. Konvoliucinių neuroninių tinklų taikymas defektų aptikimui ir klasifikavimui

Konvoliuciniai neuroniniai tinklai labai svarbus ir pastaraisiais metais labai išpopuliarėjęs vaizdų atpažinimo metodas, kuris sėkmingai pritaikomas taip pat ir pramoninės gamybos kokybės užtikrinimo bei defektų identifikavimo uždaviniuose. [30] Per keletą praėjusių metų panaudojant neuroninius tinklus buvo išspręsta daug įdomių bei svarbių problemų. Šie pasiekimai turi ne tik nemažai naudos mokslinių tyrimų atžvilgiu, bet dauguma yra pritaikomi realiame pasaulyje ir palengvina kasdieninį žmonių gyvenimą. Neuroninių tinklų taikymas labiausiai patobulėjo teksto vertimo, balso generavimo, vaizdo atpažinimo, savivaldžių automobilių bei sveikatos priežiūros srityse [31]. Didžiąją dalį šių pasiekimų ir privalumų galima pritaikyti sprendžiant gaminių defektų aptikimo bei klasifikavimo problemas.

Pastaraisiais metais kompiuterių skaičiavimo galia stipriai išaugo. Ypač didelę įtaką giliojo mokymosi populiarėjimui padarė stipriai padidėjusi grafinių procesorių sparta, todėl vis daugiau defektų aptikimo užduočių, atliekamų realiu laiku, galima išspręsti panaudojant konvoliucinius neuroninius tinklus, kurie dažnai pasižymi geresniais rezultatais nei kiti mašininio mokymosi metodai. Tačiau praktinėse didelių paviršiaus defektų ar plėvelės medžiagų patikros aplikacijose, kurios naudoja gilųjį mokymąsi, šių metodų taikymas gali būti ne pats geriausias sprendimas dėl ypatingai didelių skaičiavimų resursų reikalavimų [13]. Giliojo mokymosi modelių tikslumas didėja didėjant modelių dydžiui, kuris tikrai sumažins apdorojimo greitį, todėl yra gana sudėtinga pasirinkti tinkamiausią patikros tikslumo bei skaičiavimų efektyvumo santykį [13]. Analizės metodu buvo nustatyta, kad kuriant sistemas, kurios aptinka objektus su defektais, nemažai dėmesio yra skiriama ne tik aparatūrinės įrangos tobulinimui, bet ir vaizdų apdorojimo bei defektų identifikavimo algoritmų optimizavimui bei efektyvumo didinimui [13]. Vienas siūlomas efektyvus variantas susideda iš trijų fazių. Pirmiausiai Gauso filtras panaudojamas triukšmų pašalinimui, tada „Hough“ transformacijos panaudojamos pašalinti nereikalingą foną ir gauti dominantę regioną (angl. Region of interest), galiausiai panaudojamas nesudėtingas giliojo mokymosi neuroninis tinklas, kuris panaudoja gautą regioną bei atpažįsta išskirto regiono klasę [13]. Šio metodo veikimo principas yra pavaizduotas 2.4 pav.



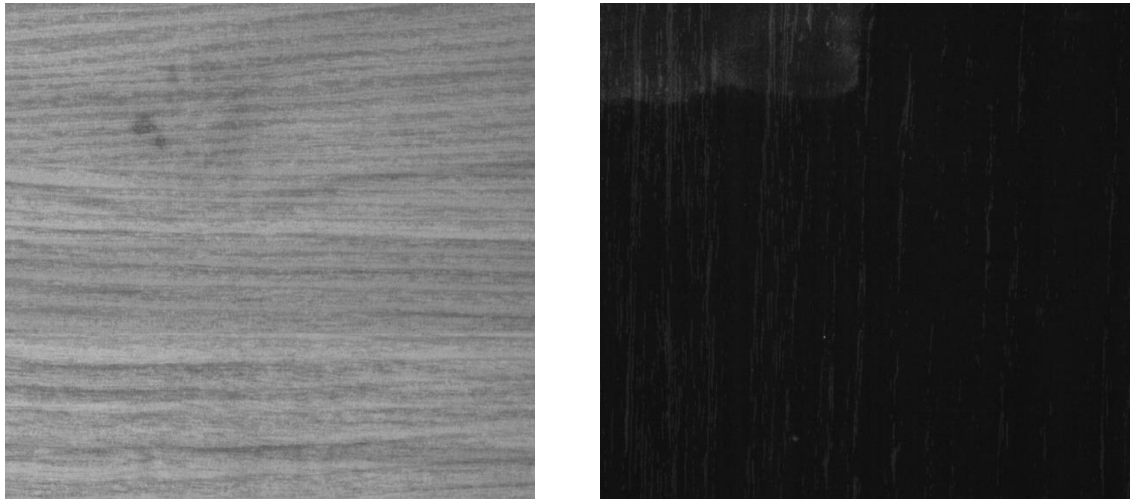
2.4 pav. Butelių pažeidimų atpažinimo metodas [13]

Šio tinklo svorių optimizavimui yra naudojamas atgalinės skaidos (angl. Backpropagation) algoritmas. Mokymosi fazės metu gana sudėtinga, bet svarbi užduotis yra nustatyti mokymosi greitį, kadangi netinkama mokymosi greičio reikšmė, taikant stochastinio gradiento nusileidimo optimizavimo algoritmą, gali įtakoti lėtesnius konvergavimą arba divergavimą, todėl šios užduoties palengvinimui buvo taikomas „Adam“ mokymosi greičio optimizatorius. [13] Pabaigus neuroninio tinklo mokymą ir atlikus spėjimus su testavimo duomenimis buvo gautas net 99,6 proc. tikslumas. [13] Tokio aukšto rezultato nepasiekė nei vienas anksčiau aprašytas SVM klasifikatorius, todėl galima teikti, kad KNN yra vienas geriausių sprendimų defektų klasifikavimui, tačiau jį vis dar stipriai riboja skaičiavimų trukmė. Atraminų vektorių ir konvoliucinių neuroninių tinklų bendrą palyginimą, paremtą analizės metu aprašytais rezultatais, galima rasti **5 lentelė**.

5 lentelė Konvoliucinių neuroninių tinklų ir atraminų vektorių klasifikatoriaus palyginimas

Kriterijus/Metodas	Konvoliuciniai neuroniniai tinklai	Atraminų vektorių klasifikatorius
Tikslumas	89,9 – 99,6 proc.	90,5 – 96,5 proc.
Galimybė pritaikyti tą patį modelį skirtingų paviršių analizei	Gana didelis efektyvumas	Mažas efektyvumas
Skaičiavimo resursai	Santykinai daug	Santykinai mažai
Reikalingas papildomas savybių išskyrimas	Ne	Taip
Mokymo trukmė	Ilgai	Trumpai
Spėjimo atlikimo trukmė	Santykinai ilgai	Santykinai trumpai
Duomenų kiekis apmokymui	Santykinai daug	Santykinai mažai

Kita svarbi problema, kurią galima išspręsti pasinaudojus konvoliucinių neuroninių tinklų pagalba yra paviršių defektų aptikimas paviršiuose su ryškia struktūra. Keletas baldų detalių nuotraukų su ryškia tekstūra pavaizduota **2.5 pav.**, aptikti tam tikrus defektus šiuose paviršiuose yra ypatingai sudėtinga, kadangi įbrėžimai arba nutrynimai yra labai panašūs į tekstūrą. Analizės metu nustatyta, kompiuterinės regos ir mašininio mokymosi technologijos seniau buvo naudojamos tik lygaus paviršiaus defektų nustatymui, tačiau šiuo metu pažengę giliojo mokymosi metodai gali analizuoti paviršius su sudėtinga tekstūra ar net atlikti tekstūros reguliavimo bei lygiavimo užduotis. [22]



2.5 pav. Baldų detalės su ryškia tekstūra, Elinta Robotics, UAB nuotrauka

Konvoliuciniai neuroniniai tinklai yra sudaryti iš įvesties, išvesties bei daug paslėptų sluoksnių. Bendras neuroninių tinklų rezultatas priklauso nuo paslėptų sluoksnių sudėties, todėl labai svarbu optimaliai sudaryti šiuos sluoksnius. Kai svorių apmokymui yra naudojami gana geri duomenys bei yra didelis duomenų kiekis, galima išgauti aukštesnio lygmens duomenų savybes sujungiant žemesniojo lygmens išvesties charakteristikas. [22] Paviršiaus patikrai yra labai svarbu pasirinkti tinkamą pavyzdinių nuotraukų dydį, nes šie vaizdai turi būtų pakankamai dideli, kad iš jų būtų galima nustatyti mažus defektus bei tekstūrą, todėl analizės metu nustatyta, kad dažniausiai norint išmokti tekstūrą ir aptikti mažus defektus yra naudojami nuo 416 iki 1000 pločio ir ilgio vaizdai. Eksperimento metu [22] naudojami net 6 skirtingo tipo paviršiai, šio tyrimo rezultatai buvo palyginti su vizualine žmogaus patikra, šį palyginimą galima pamatyti **6 lentelėje**. [22] Palyginime matome, kad tikslumas yra labai panašus, tačiau visuose kituose kriterijuose tiriamas metodas žymiai pranašesnis.

6 lentelė Žmogaus vizualinės patikros bei tyrime aprašyto metodo palyginimas

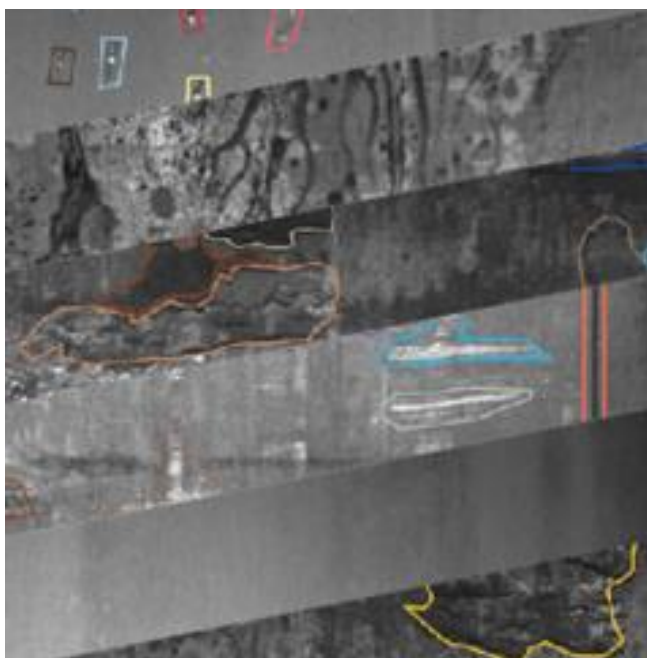
Kriterijus/Metodas	Siūlomas metodas	Žmogaus vizualinė patikra
Tikslumas	98 proc.	98,5 proc.
Greitis	5285 pavyzdžiai per minutę	20 pavyzdžių per minutę
Darbo trukmė	Visą dieną	Ribotos valandos
Defektų tipai	Įvairūs	Tik specifiniai defektai

2.4.2.3. „Kaggle“ platformos apžvalga

Pramoninės gamybos kokybės patikros uždaviniai yra sprendžiami net „Kaggle“ konkursų metu. „Kaggle“ platforma yra labai populiari tarp duomenų analitikų bei dirbtinio intelekto tyrėjų, nes didžioji dalis šių žmonių turi tik teorinių žinių ir retai susiduria su realaus pasaulio iššūkiais prieš pradėdami dirbti. 2017 metais ši platforma turėjo virš 500 tūkstančių aktyvių narių, kurie aktyviai bendravo, bendradarbiavo bei varžėsi, sprendžiant realaus pasaulio problemas. [32] Šių konkursų

metu tyrėjai gauna ne tik neįkainojamų žinių, bet geriausių sprendimų autoriai yra apdovanojami gana dideliais pinigais. Šios platformos bendruomenė sparčiai auga, čia naudingos informacijos ras ne tik pradedantys mašininio mokymosi entuziastai, bet ir pažengę dirbtinio intelekto tyrėjai.

Ypatingai didelio populiarumo susilaukė plieno paviršiaus defektų aptikimo konkursas, kurį organizavo „Severstal“ įmonė, šio konkurso defektų nuotrauką galite pamatyti **2.6 pav.** Šios užduoties sprendime dalyvavo virš 2000 komandų, bendras prizinis fondas buvo net 120 tūkstančių JAV dolerių [26]. Įmonė siekia panaudoti mašininio mokymosi sprendimus, kurie pagerins automatizacijos lygį, padidins gamybos efektyvumą ir palaikys aukštą jų produktų kokybę. Tiksliausi bei efektyviausi „Kaggle“ konkurso algoritmai dažnai yra pritaikomi įmonių, kurios inicijuoja šiuos konkursus, taikomosiose programose.



2.6 pav. Plieno paviršiaus defektai [26]

2.4.2.4. „Yolo“ metodų taikymas defektų aptikimui

Šiuo metu yra daug skirtingų objektų aptikimo metodų panaudojant konvoliucinius neuroninius tinklus. Vieni populiariausių sprendimų yra „YOLOv3“ ir „YOLOv4“ metodai. Šie metodai išsiskiria optimaliu greičiu bei objektų aptikimo tikslumu. Šiuo metu „YOLOv4“ metodas yra tiksliausias metodas, kuris veikia realiu laiku panaudojant „MS COCO“ duomenų rinkinį. [33] Šie metodai sėkmingai taikomi kasdieninių objektų aptikimui, tačiau gali būti pritaikomi ir pramoninių gaminių paviršiaus defektų aptikimui. Modifikuotas „YOLO“ metodas buvo sėkmingai pritaikytas plieno juostos paviršiaus defektų aptikimui. [34] Plieno juostos defektų aptikimas kelia daug iššūkių, kadangi ši juosta juda dideliu greičiu ir yra gana plati (50-100 cm), tačiau defektų aptikimas yra labai svarbus norint užtikrinti gamybos efektyvumą. Plienų defektų metodo apmokymui buvo surinktos nuotraukos, kurios vėliau rankiniu būdu buvo anototos. Duomenų rinkinį sudaro 6 klasės ir 4655 plieno defektai. Apmokius modifikuotą „YOLO“ metodą su turimu duomenų rinkiniu buvo pasiektas net 99 proc. tikslumas, kurį tikimasi padidinti išplėtus duomenų rinkinį. Straipsnio autoriai nemažai dėmesio skiria ir kitam „YOLO“ metodų privalumui – objektų aptikimui nuotraukose realiu laiku. Šis metodas veikia apie 10 kartų greičiau nei anksčiau naudoti metodai, todėl gali užtikrinti realios gamybos linijos reikalavimus. Pramoninių gaminių paviršių analizei yra labai svarbus mažų defektų

aptinkamų defektų dydis, kadangi dažnai gamybos kokybės reikalavimai yra labai aukšti – aptinkamas mažiausias defektas gali būti apie kelių milimetrų pločio bei aukščio. Modifikuotas „YOLO“ metodas galėjo aptikti gana mažus defektus, mažiausi aptinkami defektai buvo apie 10 kvadratinų milimetrų dydžio. Plienų defektų aptikimui buvo naudojamas modifikuojamas „YOLOv3“ metodas, todėl galima tikėtis, kad naudojant „YOLOv4“ metodą gaminių paviršių defektų aptikimui bus galima pasiekti dar didesnę mažų objektų aptikimo tikslumą, kadangi šio metodo architektūros pakeitimai leido patobulinti mažų objektų aptikimo tikslumą. [33]

2.5. Egzistuojančių rinkoje sistemų savybių palyginimas

Rinkoje egzistuoja nemažai įmonių, kurios pasitelkia kompiuterinės regos technologijas pramonės gaminių patikrai, tačiau nėra gausu baldų detalių kokybės užtikrinimo sistemų, kadangi jas sukurti yra gana sudėtinga ir užtrunka daug laiko. Analizės metu nustatyta, kad populiariausi yra įmonės „Baumer Inspection GmbH“ kuriamas sprendimas „ColourBrain“ [8] bei „Argos Solution“ sistema „Argos Grading System“ [10]. Abi sistemos yra modulinės ir gali būti sukonfigūruojamos pagal kliento poreikius. Analizės metu nustatyta, kad abi sistemos gali tikrinti visų detalių paviršiaus defektus, gręžtinių skylių bei griovelių pozicijos bei geometrijos neatitikimus, tačiau pavyko rasti informaciją tik apie „ColourBrain“ sprendimo naudojamus metodus. „Baumer Inspection GmbH“ įmonė paviršiaus defektų aptikimo problemai net sukūrė specialias kameras, kuriose vykdomas tam tikras pirminis vaizdo apdorojimas [35].

7 lentelė „ColourBrain“ ir „Argos Grading System“ sistemų palyginimas [8], [10], [35]

Kriterijus/Sistema	ColourBrain	Argos Grading System
Defektų klasifikavimas	Taip	Taip
Greitis	100 m/min	100m/m
Skylių ir griovelių patikra	Taip	Taip
Kraštų defektų patikra	Taip	Taip
Paviršių patikra	Taip	Taip
Defektų kilmės nustatymas	Taip	Ne
Minimalus defektų dydis	0,2 mm	1mm ²
Spalvotų kamerų naudojimas paviršių defektų nustatymui	Taip	Nepateikiama
Lazerio naudojimas	Taip	Taip
Skirtingų tekstūrų analizė	Taip	Taip
Statistinė informacija gamybos optimizavimui	Taip	Taip
Pirminis vaizdo apdorojimas kameroje	Taip	Nepateikiama
Aparatūrinės ir programinės įrangos sprendimai	Taip	Taip

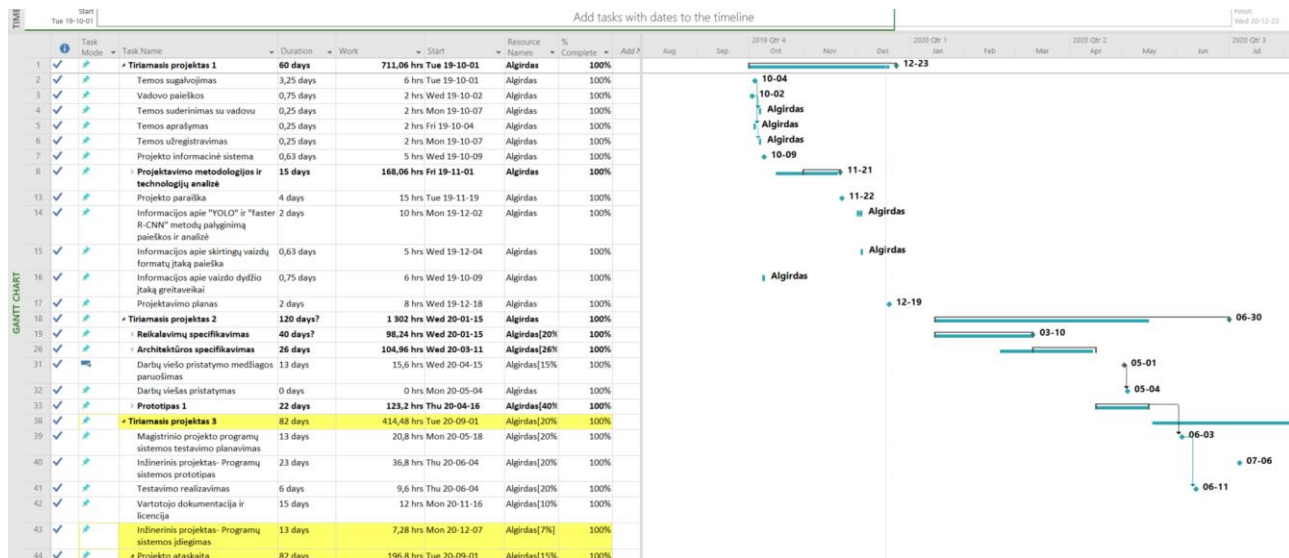
Linijos nuskaitymo kameros	Taip	Taip
Mašininio mokymosi metodai	Atraminių vektorių klasifikatorius	Nepateikiama

Abi sistemos turi panašias funkcijas, tačiau „ColourBrain“ sistema daugiau dėmesio skiria defektų kilmės nustatymui ir gamybos proceso optimizavimui, šios savybės palyginamos **7 lentelėje**. Taip „Baumer Inspection GmbH“ siūlomas sprendimas naudoja spalvotas linijos nuskaitymo kameras, kurių pagalba galima gauti tikslesnius duomenis apie skirtingas tekstūras. Vykdam analizę buvo nustatyta, kad įmonė „Baumer Inspection GmbH“ net patentuoja savo technologinius sprendimus [18], [35]. „ColourBrain“ sistema pasinaudoja vaizdo apdorojimo metodais aptikti defektus, o vėliau klasifikuoja defektus pagal jų kilmės šaltinį, pasinaudodama „Q-brain“ klasifikatoriumi, kuris yra paremtas atraminių vektorių klasifikatoriumi.

2.6. Išvados

1. Analizės metu buvo patvirtinta, kad pramonės automatizavimas užima labai svarbią vietą šiuolaikinės gamybos procesų grandinėje ir tik pramonės automatizavimas kartu su kompiuterinės regos technologijomis gali užtikrinti pažangią gamybą.
2. Analizės metu patvirtinta, kad plačių paviršių nuotraukų nuskaitymui dažniausiai yra naudojamos linijos nuskaitymo kameros, kurios dirba dideliu greičiu ir pasižymi didelės skiriamosios gebos vaizdais.
3. Mašininio mokymosi algoritmai yra labai populiarūs gaminių patikros sprendimuose, tačiau ne visada metodai, kurie pasižymi didžiausiu tikslumu, yra pakankamai greiti, kad jų pagalba būtų galima vykdyti patikrą realiu laiku, todėl būtina juos optimizuoti, išlaikant kuo didesnį tikslumą.
4. Analizės metu nustatyta, kad populiariausi atraminių vektorių klasifikatoriaus bei konvoliucinių neuroninių tinklų metodai, tačiau konkretus pasirinkimas priklauso nuo techninės įrangos bei kitų apribojimų.
5. Paviršiaus defektų identifikavimo ir klasifikavimo problemai spręsti dažnai naudojami tradiciniai vaizdo apdorojimo algoritmai, kurie nustato defekto vietą, o tik vėliau mašininio mokymosi algoritmų pagalba nustatomas defektų tipas. Šį principą galima pasitelkti kuriamame sprendime, kadangi tai sumažina bendrą analizės trukmę, tačiau užtikrina didelį tikslumą.
6. Konvoliuciniai neuroniniai tinklai yra pranašesni nei kiti mašininio mokymosi algoritmai, kadangi vieną modelį galima apmokyti taip, kad jis pakankamai dideliu tikslumu nustatytų objektų su skirtingomis tekstūromis paviršiaus defektus. Baldų detalės pasižymi plačia tekstūrų gama, todėl konvoliucinių tinklų pagalba galima taikyti tą patį metodą visoms tekstūroms ir sumažinti algoritmų rašymo trukmę.
7. Viena pirmaujančių rinkos įmonių „Baumer Inspection GmbH“ naudoja atraminių vektorių klasifikatorių, kurio pagalba nustato defekto kilmės šaltinį.

3. PROJEKTO PLANAS



3.1 pav. Projekto planas

4. REIKALAVIMŲ SPECIFIKAVIMAS

4.1. Sistemos paskirtis

Beveik visos baldų gamybos įmonės susiduria su problema, kad gamybos metu dalis detalių yra pažeidžiamos. Visi gamintojai stengiasi sumažinti detalių su defektais kiekį, šią problemą puikiai padeda išspręsti baldų detalių kokybės analizės sistema. Dėl didelės defektų įvairovės bei detalių tekstūros įvairovės nuspręsta naudoti mašininio mokymosi metodus.

4.1.1. Projekto kūrimo pagrindas (pagrindimas)

Automatizacija ir robotizacija šiuo metu yra labai svarbios, kadangi jų pagalba galima padidinti gamybos patikimumą, saugumą, pagerinti gaminių kokybę, sumažinti žaliavų švaistymą bei padidinti pelningumą. Taip pat automatizacija leidžia palengvinti žmonių darbą. Dažniausiai žmonės nemėgsta pasikartojančių, neįdomių užduočių. Pramoninės gamyklos dažniausiai dirba keliomis pamainomis, todėl žmonėms dažnai tenka dirbti naktį. Varginantis bei naktinis darbas sumažina žmonių darbo efektyvumą, todėl padidėja klaidų tikimybė. Šios klaidos dažnai lemia medžiagų sugadinimą ar net naudojimui netinkamą galutinį produktą. Tuo tarpu, automatizuotų sistemų šie veiksniai neveikia, kadangi jos yra sukurtos atlikti pasikartojančius veiksmus.

Nors šios automatizuotos sistemos turi labai daug privalumų lyginant su žmonių darbu, tačiau jos turi ir keletą trūkumų. Automatizuotos sistemos dažnai yra labai sudėtingos ir susideda iš daugybės komponentų, todėl yra gana didelė tikimybė, kad tam tikras komponentas suges. Toks gedimas gali turėti labai rimtų padarinių – visi pagaminti produktai bus su defektais ir bus iššvaistyta dar daugiau žaliavų. Šios rimtos problemos galima išvengti panaudojant kompiuterinės regos sprendimus, kurie užtikrina gaminių kokybę bei stabdo gamybos procesą, jei tam tikras netinkamų produktų kiekis pagaminamas iš eilės. Taip pat kompiuterinės regos sistemos informuoja žmones apie netinkamos kokybės gaminius bei dažnai identifikuoja defektų rūšį bei jų kilmės šaltinį. Kompiuterinės regos sistemos yra grįstos iš kamerų gauto vaizdo apdorojimu, naudojant vaizdo apdorojimo algoritmus arba taikant mašininio mokymosi metodus. Vizualinės patikros privalumai pramoninėje gamyboje yra labai ženkli, nes produktų kiekiai yra labai dideli ir net nedidelis kokybės pagerinimas leidžia sutaupyti daug pinigų. Beveik visada pramoninių gaminių kokybės patikra vyksta realiu laiku, todėl reikia ne tik analizuoti gautą iš nuotraukų vaizdą, bet ir užtikrinti, kad gaunamas vaizdas būtų kokybiškas ir tinkamas defektų aptikimui.

4.1.2. Sistemos tikslai (paskirtis)

1. **Užtikrinti optimizuotą gamybos procesą.** Optimizuota gamyba labai svarbu, kadangi net menki nuostoliai stipriai atsiliepia bendram rezultatui.
2. **Padėti atsekti defektų kilmę.** Norint greitai išspręsti problemą dėl kurios atsiranda defektai reikia žinoti kas sukelia defektus, todėl svarbu klasifikuoti defektus. Šis klasifikavimas leis greičiau panaikinti defektų šaltinį.
3. **Padidinti gamybos efektyvumą.** Įdiegus sistemą mažiau žmonių dirbs prie detalių rūšiavimo, kadangi nebereikės rūšiuoti visų detalių, o tik užteks patikrinti detales su defektais, todėl bus galima pasiekti tą patį efektyvumą su mažiau darbuotojų arba padidinti su esamu darbuotojų skaičiumi.

4.2. Užsakovai, pirkėjai ir kiti sistema suinteresuoti asmenys

4.2.1. Užsakovas

Užsakovas yra baldų gamintojai. Užsakovas bus atsakingas už projekto finansavimą. Projektas bus finansuojamas keliais etapais, atlikus pusę darbų ir pademonstravus tarpinę sistemos versiją užsakovas atliks mokėjimą. Užsakovas bus atsakingas už informacijos teikimą ir reikalavimų tikslinimą visą projekto vystymo laikotarpį. Taip pat užsakovas turės adaptuoti savo veiklos procesus, kad gamybos planavimas vyktų, naudojantis kuriamą sistema, tik pakeitus veiklos procesus bus galima tikėtis didžiausios naudos.

4.2.2. Pirkėjas

Pirkėjas ir užsakovas yra tas pats juridinis asmuo.

4.2.3. Kiti sprendimus priimančiosios asmenys

Užsakovo atstovai:

- Baldų gamybos technologai (2 - 4 asmenys) - dalykinės srities ekspertai, jie atsakingi, kad baldų gamybos kokybė būtų aukšta. Šiems asmenims ypatingai aktualu gamybos proceso optimizavimas bei didesnis kokybiškų detalių kiekis. Šie asmenys naudosis programa, kai norės nustatyti kiek kokybiškų detalių bus pagaminta per tam tikrą laikotarpį.
- Baldų gamybos planavimo meistras - asmuo vadovaujantis gamybai. Jis atsakingas už gamybos plano sudarymą ir nenutrūkstantį gamybos procesą. Jis naudosis programos statistiniais duomenimis ir prognozėmis geresnio gamybos plano sudarymui.
- Baldų gamybos operatoriai (10-50 asmenų) - asmenys aptarnaujantys gamybos įrangą. Jie naudosis sistema peržiūrėti statistinius duomenis ir įvertinti savo darbą, identifikuoti etapus, kur gali patobulėti.

Projekto vykdytojo atstovai:

- Projekto analitikas - atsakingas už bendravimą su klientu. Nustatys pagrindinius reikalavimus ir juos specifikuos. Išbandys sistemą ir ją demonstruos užsakovą atstovaujantiems asmenims, bus atsakingas, kad sistema atitiktų užsakovo reikalavimus. Darbo patirtis apie 5 metai.
- Programuotojai (2 asmenys) - asmenys, kurie kurs sistemos funkcionalumą. Jie naudosis sistemos reikalavimų specifikacija ir įgyvendins sistemos funkcijas. Bendraus su projekto analitiku, kad sistema kuo labiau atitiktų užsakovo poreikius. Darbo patirtis 2 - 3 metai.
- Testuotojas - asmuo atsakingas už sistemos testavimą. Detalei testuos kiekvieną sistemos funkciją atskirai bei bendrą sistemos veikimą. Darbo patirtis 1 - 2 metai.

4.2.4. Naudotojai

Operatorius

- Asmenys, kurie aptarnauja gamybos įrenginius;
- Jų tikslas gaminti kokybišką produkciją bei kuo greičiau identifikuoti problemas;

- Sistema naudosis peržiūrėti statistinius duomenis;
- Susipažinę su dalykine sritimi, tačiau neturi gilių žinių;
- IT srities vidutiniškai;
- Dažniausiai profesinis išsilavinimas;
- Amžius - 20 - 50 metai;
- Domėjimasis mechanika;
- Vidutiniškai svarbūs.

Administratorius

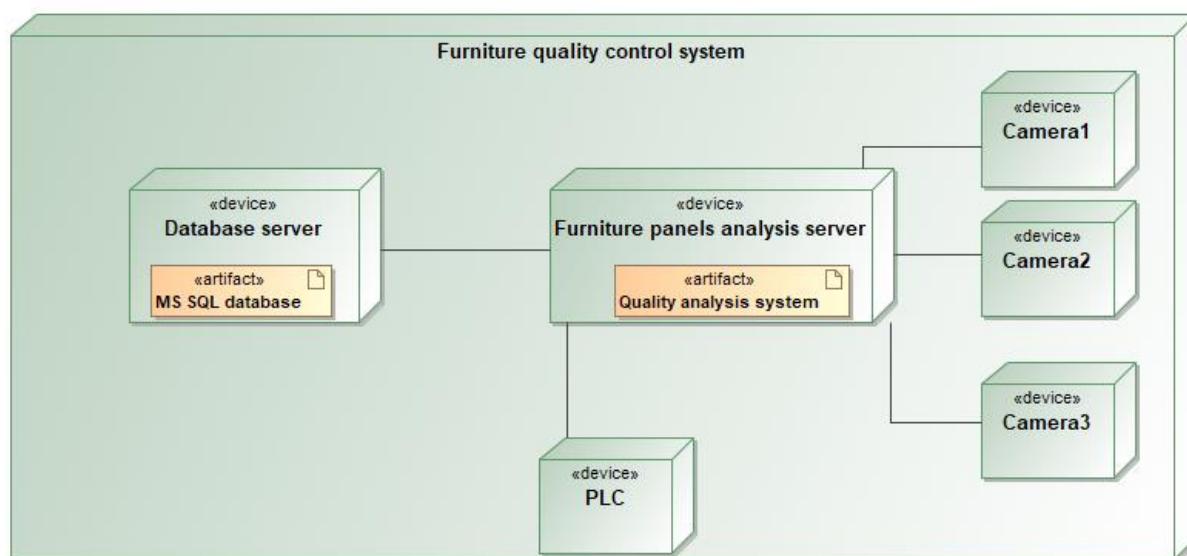
- Baldų gamybos technologai ir gamybos meistrai;
- Asmenys atsakingi už gaminių kokybę, kokybės gerinimą, gamybos planavimą, gamybos apkrovimo paskirstymą;
- Sistema naudosis gamybos plano sudarymui bei kokybiškų detalių kiekio prognozei;
- Gerai susipažinę su dalykine sritimi, dalykinės srities ekspertai;
- IT srities specialistai.
- Amžius - 35 - 50 metai;
- Domisi naujausiomis gamybos technologijomis;
- Labai svarbūs.

4.3. Įpareigojantys apribojimai.

4.3.1. Apribojimai sprendimui

Projektas privalo būti įgyvendintas panaudojant mašininio mokymosi metodus, kadangi tradiciniai vaizdo apdorojimo metodai neleidžia pasiekti norimo tikslumo. Svarbiausiai yra nustatyti detalę su defektu bei defekto vietą, tačiau gana svarbu yra ir nustatyti defekto tipą, kadangi tai leidžia analizuoti gamybos procesą bei geriau jį optimizuoti.

4.3.2. Diegimo aplinka



4.1 pav. Diegimo aplinka

4.3.3. Bendradarbiaujančios sistemos

Sistema neturės bendrauti su kitomis išorinėmis sistemomis.

4.3.4. Komerciniai specializuoti programų paketai

Numatomi naudoti šie paketai:

- EMGU CV DNN– paketas, kuris leidžia naudoti mašininio mokymosi modelius, kurie yra paremti „Yolo“ metodais programose parašytose naudojant .NET karkasą bei C# kalbą.
- EMGU CV – paketas skirtas atlikti vaizdo apdorojimo operacijas. OPEN CV bibliotekos sąsaja, kuri leidžia naudoti šios bibliotekos funkcionalumą .NET platformoje.

4.3.5. Numatoma darbo vietos aplinka

Numatoma darbo vietos aplinka yra dulkėta (gamybos patalpos), todėl sistema turėtų būti patogi naudotis liečiamu ekranu.

Numatoma darbo vieta yra triukšminga, todėl sistemos garsiniai signalais neveiks arba jie turėtų būti ypatingai garsūs.

4.3.6. Sistemos kūrimo terminai

Defektų identifikavimo posistemę į baldų detalių analizės sistema planuojama integruoti per 9 mėnesius, kadangi tiek laiko prireiks tyrimams, duomenų anotavimui bei mašininio mokymosi metodų apmokymui.

4.3.7. Sistemos kūrimo biudžetas

Defektų identifikavimo posistemės kūrimas neturėtų viršyti 70 tūkstančių eur.

4.4. Terminų žodynas

- **Kompiuterinė rega** – (angl. Computer vision) tarpdisciplininė mokslo sritis, kuri siekia gauti tam tikrą informaciją apdorojant skaitmeninį vaizdą. Dažniausiai naudojama užduočių automatizavimui.
- **Dirbtinis neuroninis tinklas** – tarpusavyje sujungtų dirbtinių neuronų grupė. Ši technologija mėgdžioja žmogaus galvos smegenų darbą – tiksliau neuronų veikimą. Dirbtiniai neuroniniai tinklai yra tam tikros struktūros matematinės funkcijos, kurios naudojamos kaip funkcijų aproksimatoriai. Tai reiškia, jog neuroniniam tinklui suteikiant pavyzdinę informaciją (funkcijos įvestį ir rezultatą), jis geba išmokyti imituoti pavyzdinę funkciją.

4.5. Svarbūs faktai ir prielaidos

4.5.1. Faktai

- Baldų gamybos įmonės didžiąją dalį savo produkcijos eksportuoja.
- Pagrindinė šių įmonių užsakovas - pasaulyje įsitvirtinęs baldų prekybos tinklas „IKEA“.

4.5.2. Veiklos taisyklės

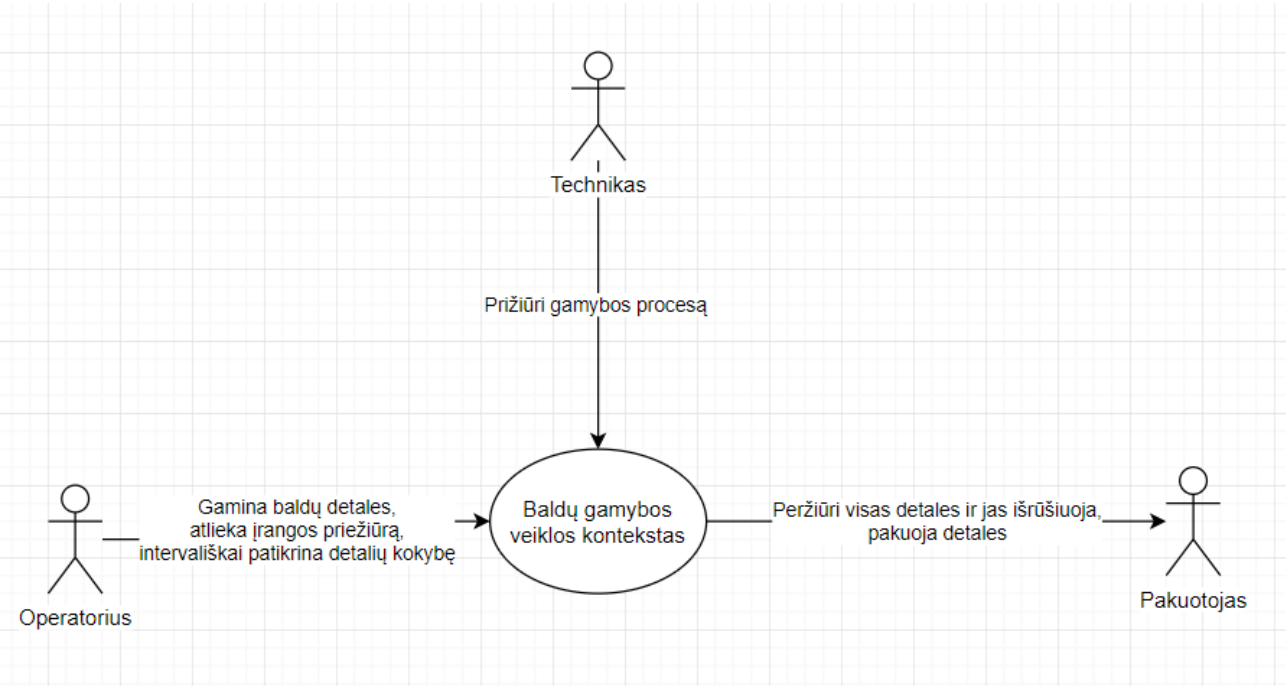
- Maksimali pamainos trukmė yra 12h.
- Gamyba vyksta 24h per parą, 7 dienas per savaitę.
- Jei gamyba nevyksta dėl gedimo per 15 minučių reikia informuoti gamybos meistrą.

4.5.3. Prielaidos

- Mažesnis gaminių su defektais kiekis sumažina žaliavų kiekį, todėl sumažėja iškertamų medžių kiekis bei dėl to atsirandančios ekologinės problemos.
- Baldų gamybos apimtys ir toliau didės, todėl svarbu gamybą kuo daugiau automatizuoti.

4.6. Veiklos sfera

4.6.1. Veiklos kontekstas



4.2 pav. Konteksto diagrama

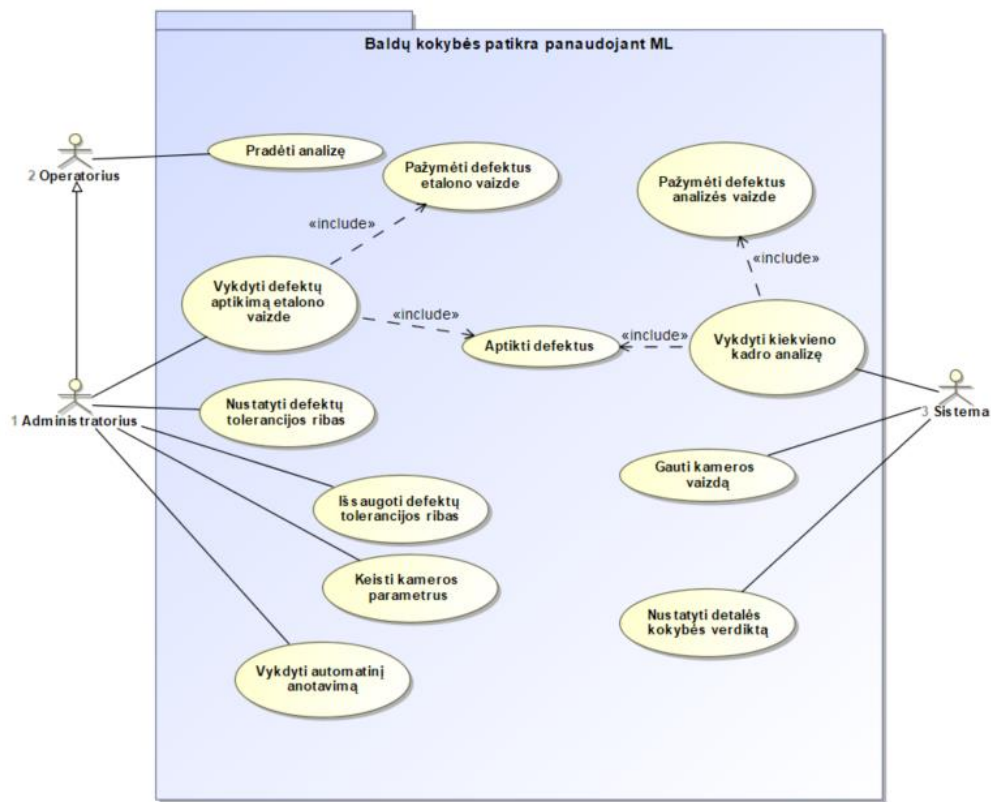
4.6.2. Veiklos padalinimas

8 lentelė Veiklos padalinimas

Eil. nr.	Įvykio pavadinimas	Įeinantys/išeinantys informacijos srautai
1	Darbuotojas peržiūri atsitiktinės detalės kokybę	Duomenys apie detalę (out)
2	Technikas prižiūri gamybos procesą	Informacija apie gamybos procesą (in)
3	Pakuotojas peržiūri kiekvieną detalę	Duomenys apie kiekvieną detalę (out)

4.7. Produkto veiklos sfera

4.7.1. Sistemos ribos



4.3 pav. Panaudojimo atvejų diagrama

4.7.2. Panaudojimo atvejų sąrašas

9 lentelė PA aptikti defektus

1 PA Aptikti defektus	
Aktorius	Sistema
Aprašas	Nustatomos detalės su defektais bei defekto vieta detalėje
Prieš sąlyga	Gautas vaizdas iš kameros ir atliktas pirminis vaizdo apdorojimas
Sužadinimo sąlyga	Vyksta gamyba bei pradėta analizė
Po sąlyga	Sistema išsaugo duomenis apie detales

10 lentelė PA Pažymėti defektus etalono vaizde

2 PA Pažymėti defektus etalono vaizde	
Aktorius	Sistema
Aprašas	Pažymimi defektai nuotraukoje vykdant apdorojimą etaloniniame vaizde
Prieš sąlyga	Yra nuskaitytas etalono vaizdas
Sužadinimo sąlyga	Reikia vykdyti etaloninio vaizdo analizę

Po sąlyga	Nuotrauka su pažymėtais defektais, defektų dydžiu bei įverčiu parodoma administravimo puslapyje
------------------	---

11 lentelė PA Pažymėti defektus analizės vaizde

3 PA Pažymėti defektus analizės vaizde	
Aktorius	Sistema
Aprašas	Pažymimi defektai nuotraukoje analizės metu
Prieš sąlyga	Gautas baldų detalės vaizdas ir yra įkelti modelio parametrai
Sužadinimo sąlyga	Reikia pažymėti defektus nuotraukoje
Po sąlyga	Nuotrauka su pažymėtais defektais parodoma vartotojui vykdant analizę

12 lentelė PA Nustatyti defektų tolerancijos ribas

4 PA Nustatyti defektų tolerancijos ribas	
Aktorius	Administratorius
Aprašas	Nustatomos defektų tolerancijos ribos bei minimalus defektų dydis
Prieš sąlyga	Naudotojas prisijungęs kaip administratorius
Sužadinimo sąlyga	Reikia pakeisti defektų tolerancijos ribas
Po sąlyga	Pakeistos tolerancijos ribos, kurių pagalba nustatomas aptikimo metodo jautrumas

13 lentelė PA Išsaugoti defektų tolerancijos ribas

5 PA Išsaugoti defektų tolerancijos ribas	
Aktorius	Administratorius
Aprašas	Administratorius pakeičia defektų tolerancijos ribas ir išbando analizę. Radęs tinkamas reikšmes jas išsaugo.
Prieš sąlyga	Naudotojas prisijungęs kaip administratorius
Sužadinimo sąlyga	Administratorius nori išsaugoti pakeistas defektų tolerancijos ribas
Po sąlyga	Išsaugojamos pakeistos defektų tolerancijos ribos

14 lentelė PA Gauti kameros vaizdą

6 PA Gauti kameros vaizdą	
Aktorius	Sistema
Aprašas	Nuskaitomas detalės vaizdas
Prieš sąlyga	Pradėta analizė
Sužadinimo sąlyga	Vyksta gamyba
Po sąlyga	Gaunama detalės nuotrauka

15 lentelė PA Vykdyti kiekvieno kadro analizę

7 PA Vykdyti kiekvieno kadro analizę	
Aktorius	Sistema
Aprašas	Vykdoma kiekvieno iš kameros gauto kadro analizė
Prieš sąlyga	Gautas vaizdas iš kameros
Sužadinimo sąlyga	Vyksta gamyba
Po sąlyga	Apdorota nuotrauka su pažymėtais defektais

16 lentelė PA Vykdyti defektų aptikimą etalono vaizde

8 PA Vykdyti defektų aptikimą etalono vaizde	
Aktorius	Administratorius
Aprašas	Yra nuskaityta etalono nuotrauka ir norima įvykdyti objektų aptikimą šiai nuotraukai
Prieš sąlyga	Nuskaityta etalono nuotrauka ir įkelti modelio parametrai
Sužadinimo sąlyga	Paspaudžiamas analizės vykdymo mygtukas
Po sąlyga	Gaunamas analizės rezultatas

17 lentelė PA Pradėti analizę

9 PA Pradėti analizę	
Aktorius	Operatorius
Aprašas	Pradedama analizės, kurios metu patikrinama kiekvienos detalės kokybė
Prieš sąlyga	Naudotojas prisijungęs kaip administratorius
Sužadinimo sąlyga	Planuojama pradėti gamybą
Po sąlyga	Pradėta analizė

18 lentelė PA Nustatyti detalės kokybės verdiktą

10 PA Nustatyti detalės kokybės verdiktą	
Aktorius	Sistema
Aprašas	Nustatomas sprendimas apie detalės kokybę pagal aptiktus defektus
Prieš sąlyga	Gauti visi baldų detalių paviršių vaizdai
Sužadinimo sąlyga	Vyksta gamyba
Po sąlyga	Nustatytas detalės kokybės verdiktas (taisoma, netaisoma, gera).

19 lentelė PA Keisti kameros parametrus

11 PA Keisti kameros parametrus	
Aktorius	Administratorius

Aprašas	Pakeičiami kameros parametrai, kurių keitimas leidžia gauti skirtingą baldų detalės vaizdą (ryškesnį, tamsesnį). Šių parametrų keitimas reikalingas norint išgauti didesnę defektų kontrastą.
Prieš sąlyga	Prie sistemos yra prijungta kamera
Sužadinimo sąlyga	Norima nuskaityti šviesesnį detalės vaizdą
Po sąlyga	Gautas šviesesnis detalės vaizdas

20 lentelė PA Vykdyti automatinį anotavimą

12 PA Vykdyti automatinį anotavimą	
Aktorius	Administratorius
Aprašas	Vykdomas dar nematytų detalių automatinis anotavimas, todėl pagreitinamas anotavimo procesas.
Prieš sąlyga	Yra įkelti modelio parametrai
Sužadinimo sąlyga	Norima anotuoti dar neanalizuotas detalių nuotraukas
Po sąlyga	Gaunami neapdoroti vaizdai, anotacijų failai bei nuotraukos su pažymėtais defektais

4.8. Funkciniai reikalavimai

4.8.1. Funkciniai reikalavimai

21 lentelė Funkcinis reikalavimas: Aptikti defektus ir išfiltruoti pagal pasitikėjimo koeficientą

Reikalavimo numeris:	1	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	1
Aprašymas	Vykdamas defektų aptikimą su mašininio mokymosi metodais gaunamas defekto tipas bei pasitikėjimo koeficientas, kad čia tam tikras defektas, todėl reikia atmesti defektus, kurie yra žemiau pasitikėjimo ribos.				
Pagrindimas	Defektus reikia išfiltruoti pagal pasitikėjimo koeficientą, kadangi defektai aptikti su žemu pasitikėjimo koeficientu dažnai būna klaidingai aptikti.				
Šaltinis	Mašininio mokymosi programuotojas				
Tinkamumo kriterijus:	Visi defektai išfiltruoti pagal pasitikėjimo koeficientą.				
Užsakovo pasitenkinimas:	3		Užsakovo nepasitenkinimas:	5	
Priklausomybės:	Nėra		Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

22 lentelė Funkcinis reikalavimas: Pažymėti defektus etalono vaizde

Reikalavimo numeris:	2	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	2
-----------------------------	----------	---------------------------	----------	-----------------------------	----------

Aprašymas	Vykdant defektų aptikimą su mašininio mokymosi metodais gaunamas defekto tipas, todėl svarbu nuotraukoje pažymėti defektą pagal jo tipą tam tikra spalva bei nustatyti to defekto dydį. Vykdant etaloninio vaizdo analizę svarbu pažymėti ir defekto įvertį, kadangi tada naudotojas gali lengviau įvertinti kokį įvertį nustatyti kiekvienai defekto grupei.		
Pagrindimas	Naudotojui reikia tinkamai suderinti defektų įverčius, kadangi tai leis ženkliai sumažinti netinkamai aptiktų detalių kiekį.		
Šaltinis	Užsakovo technologas		
Tinkamumo kriterijus:	Naudotojas gali aptikti matyti kiekvieno defekto įvertį.		
Užsakovo pasitenkinimas:	3	Užsakovo nepasitenkinimas:	3
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24		

23 lentelė Funkcinis reikalavimas: Pažymėti defektus analizės vaizde

Reikalavimo numeris:	3	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	3
Aprašymas	Vykdant defektų aptikimą su mašininio mokymosi metodais gaunamas defekto tipas, todėl svarbu nuotraukoje pažymėti defektą pagal jo tipą tam tikra spalva bei nustatyti to defekto dydį.				
Pagrindimas	Naudotojui svarbu ne tik, kad defektai būtų aptinkami, tačiau ir jų tipas bei dydis, todėl reikia tai pažymėti nuotraukoje.				
Šaltinis	Užsakovo technologas				
Tinkamumo kriterijus:	Visų aptiktų defektų pažymėtas tipas bei dydis.				
Užsakovo pasitenkinimas:	4	Užsakovo nepasitenkinimas:	3		
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra		
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

24 lentelė Funkcinis reikalavimas: Nustatyti defektų pasitikėjimo koeficientus

Reikalavimo numeris:	4	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	4
Aprašymas	Vykdant defektų aptikimą su mašininio mokymosi metodais apie kiekvieną aptiktą defektą gaunamas tipas bei pasitikėjimo koeficientais. Galima kiekvieną tipą išfiltruoti pagal naudotojo nurodytus koeficientus taip sumažinant netinkamų aptikimų skaičių.				

Pagrindimas	Suderinus pasitikėjimo koeficientą galima stipriai sumažinti netinkamai aptiktų defektų skaičių.		
Šaltinis	Mašininio mokymosi programuotojas		
Tinkamumo kriterijus:	Galima keisti pasitikėjimo koeficientą.		
Užsakovo pasitenkinimas:	2	Užsakovo nepasitenkinimas:	1
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24		

25 lentelė Funkcinis reikalavimas: Nustatyti defektų dydžius

Reikalavimo numeris:	5	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	4
Aprašymas	Vykdant defektų aptikimą su mašininio mokymosi metodais apie kiekvieną aptiktą defektą gaunamas tipas defekto dydis. Galima kiekvieną defektą išfiltruoti pagal naudotojo nurodytus defektų dydžius.				
Pagrindimas	Suderinus defektų dydžius galima išfiltruoti defektus, kurie mažesni nei nurodyta.				
Šaltinis	Mašininio mokymosi programuotojas				
Tinkamumo kriterijus:	Galima keisti defektų dydžius				
Užsakovo pasitenkinimas:	2	Užsakovo nepasitenkinimas:	1		
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra		
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

26 lentelė Funkcinis reikalavimas: Išsaugoti defektų tolerancijos ribas.

Reikalavimo numeris:	6	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	5
Aprašymas	Suderinus defektų aptikimo tolerancijos ribas reikia jas išsaugoti. Išsaugojus šias reikšmes jos yra naudojamos vykdant detalių analizę.				
Pagrindimas	Svarbu ne tik išbandyti skirtingas tolerancijos ribas, bet radus optimalias reikšmes reikia jas išsaugoti.				
Šaltinis	Užsakovo technologas				
Tinkamumo kriterijus:	Išsaugotos reikšmės yra naudojamos analizės metu				

Užsakovo pasitenkinimas:	4	Užsakovo nepasitenkinimas:	3
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24		

27 lentelė Funkcinis reikalavimas: Gauti kameros vaizdą.

Reikalavimo numeris:	7	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	6
Aprašymas	Vykdant gamybą defektai identifikuojami išanalizuojant iš vaizdo kamerų gautą vaizdą.				
Pagrindimas	Norint nustatyti defektus privaloma gauti vaizdą iš kamerų.				
Šaltinis	Programinės įrangos kūrėjas				
Tinkamumo kriterijus:	Gaunamas vaizdas iš kamerų				
Užsakovo pasitenkinimas:	2	Užsakovo nepasitenkinimas:	5		
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra		
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

28 lentelė Funkcinis reikalavimas: Vykdyti kiekvieno kadro analizę.

Reikalavimo numeris:	8	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	7
Aprašymas	Gamybos proceso detalės juda konvejeriu, linijos nuskaitymo kamerų pagalba yra nuskaitymi visi paviršiai ir gaunamas kiekvieno paviršiaus vaizdas kaip atskiras kadras. Reikia išanalizuoti kiekvieną paviršiaus kadrą.				
Pagrindimas	Reikia išanalizuoti kiekvieną kadrą, kadangi defektai gali būti ir apačioje, ir viršuje.				
Šaltinis	Programinės įrangos kūrėjas				
Tinkamumo kriterijus:	Išanalizuoti visi paviršiai, kurių vaizdas nuskaitymas				
Užsakovo pasitenkinimas:	2	Užsakovo nepasitenkinimas:	1		
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra		
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

29 lentelė Funkcinis reikalavimas: Vykdyti defektų aptikimą etalono vaizde.

Reikalavimo numeris:	9	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	8
Aprašymas	Derinant sistemos aptikimo metodus yra nuskaitomas pavyzdinis vaizdas, kuriame vykdoma analizė.				
Pagrindimas	Reikia būdo, kuris leistų išbandyti defektų aptikimą ne tik analizės metu, bet ir tuo metu kai nevykdomi gamybos procesas bei analizė.				
Šaltinis	Programinės įrangos kūrėjas				
Tinkamumo kriterijus:	Galima vykdyti etaloninio vaizdo defektų aptikimą				
Užsakovo pasitenkinimas:	4	Užsakovo nepasitenkinimas:	3		
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra		
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

30 lentelė Funkcinis reikalavimas: Pradėti analizę.

Reikalavimo numeris:	10	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	9
Aprašymas	Galima pradėti analizę prieš gamybos pradžią.				
Pagrindimas	Prieš detalės gamybą reikia pasirinkti tinkamą detalės kodą ir pradėti analizę, kad būtų taikomi tai detalei nustatyti analizės nustatymai.				
Šaltinis	Programinės įrangos kūrėjas				
Tinkamumo kriterijus:	Galima pradėti analizę.				
Užsakovo pasitenkinimas:	4		Užsakovo nepasitenkinimas:	3	
Priklausomybės:	Nėra		Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

31 lentelė Funkcinis reikalavimas: Nustatyti detalės kokybės verdiktą.

Reikalavimo numeris:	11	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	10
Aprašymas	Gavus ir išanalizavus visų paviršius vaizdus reikia priimti sprendimą apie detalės kokybę.				

Pagrindimas	Sprendimas apie detalės kokybę lemia tolesnius veiksmus su detale. Jei detalė yra gera ji toliau transportuojama konvejeriu į pakavimą, jei detalė yra brokuota ji yra kraunama atskirai ir vėliau papildomai peržiūrima.		
Šaltinis	Užsakovo technologas		
Tinkamumo kriterijus:	Galima filtruoti statistinius duomenis pagal nurodytus datos ir laiko intervalus bei pagal pasirinktas pamainas.		
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	3
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24		

32 lentelė Funkcinis reikalavimas: Keisti kameros parametrus.

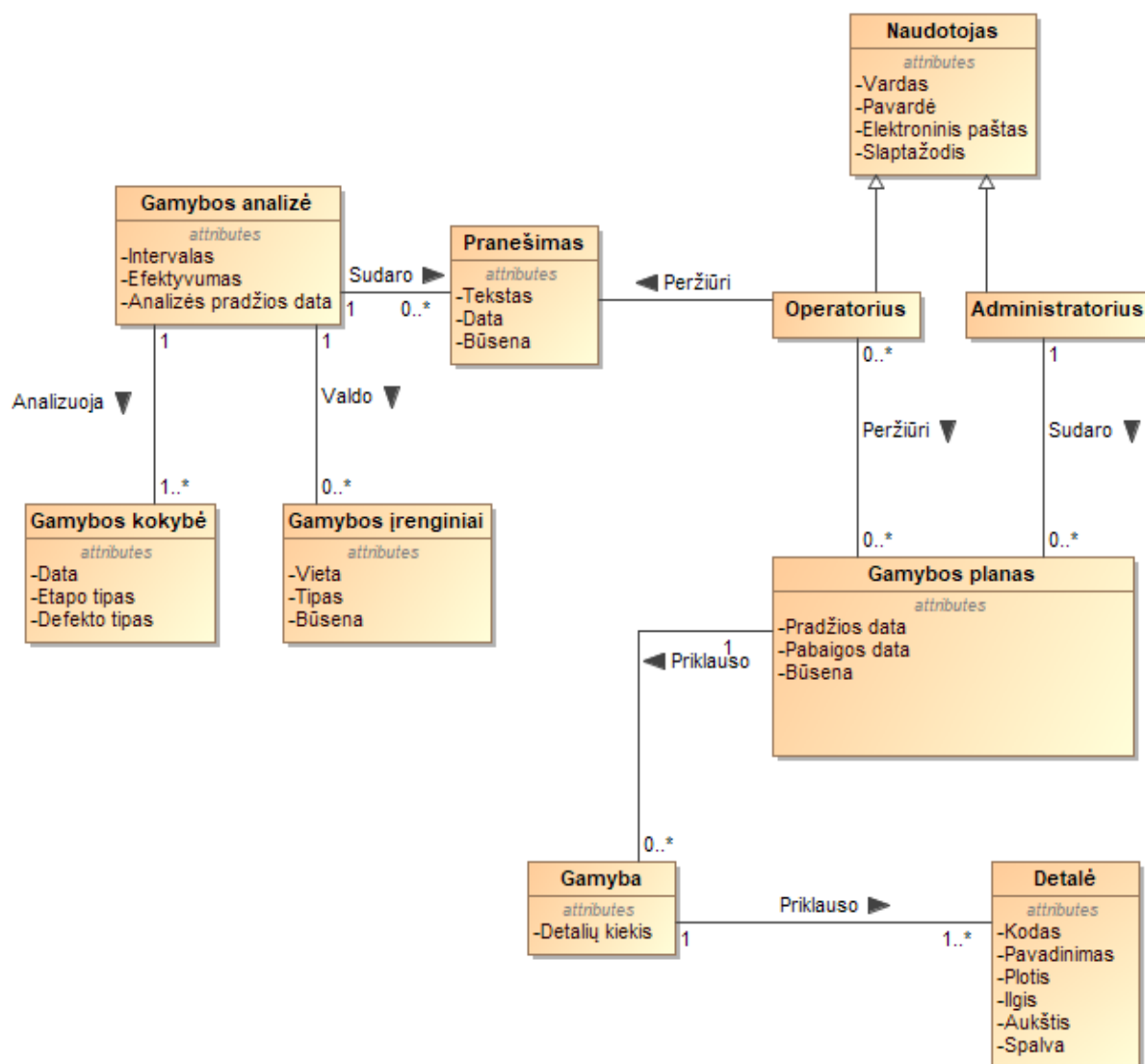
Reikalavimo numeris:	12	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	11
Aprašymas	Pakeičiami kameros parametrai, kurių keitimas leidžia gauti skirtingą baldų detalės vaizdą (ryškesnį, tamsesnį). Šių parametrų keitimas reikalingas norint išgauti didesnį defektų kontrastą				
Pagrindimas	Reikia keisti kameros parametrus, kadangi tai leidžia geriau matyti defektus bei padidinti defektų aptikimo metodų tikslumą.				
Šaltinis	Programinės įrangos kūrėjas				
Tinkamumo kriterijus:	Kontrastingai matomi defektai				
Užsakovo pasitenkinimas:	1		Užsakovo nepasitenkinimas:	1	
Priklausomybės:	Nėra		Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

33 lentelė Funkcinis reikalavimas: Vykdyti automatinį anotavimą.

Reikalavimo numeris:	13	Reikalavimo tipas:	9	Panaudojimo atvejis:	12
Aprašymas	Vykdomas dar nematytų detalių automatinis anotavimas, todėl pagreitinamas anotavimo procesas.				
Pagrindimas	Anotavimas užtrunka ilgą laiką. Gamybos proceso metu defektų susidarymas yra skirtingas, todėl duomenų rinkinyje gali būti labai daug tam tikros rūšies defektų, o kitos rūšies defektų gali būti gana mažai. Automatinis anotavimas padeda padidinti retų defektų skaičių.				
Šaltinis	Mašininio mokymosi programuotojas				

Tinkamumo kriterijus:	Išsaugojami vaizdai bei failai su anotacijomis.		
Užsakovo pasitenkinimas:	1	Užsakovo nepasitenkinimas:	1
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24		

4.8.2. Reikalavimai duomenims



4.4 pav. Esysių - ryšių diagrama

4.9. Reikalavimai sistemos išvaizdai

34 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Spalvos turi būti nevarginančios.

Reikalavimo numeris:	13	Reikalavimo tipas:	10	Panaudojimo atvejis:	2, 3, 4, 5, 8, 9
Aprašymas	Sistemos spalvos turi būti nevarginančios.				
Pagrindimas	Naudotojai sistema naudosis visą parą, todėl reikia, kad spalvos nevargintų ir nebūtų per daug ryškios.				
Šaltinis	Sistemos analitikas				
Tinkamumo kriterijus:	Naudojamos ne daugiau nei 4 spalvos, spalvų sodrumas negali būti didesnis nei 50. Daugiau nei 4 spalvas galima naudoti skirtingų defektų žymėjimui bei diagramose.				
Užsakovo pasitenkinimas:		5	Užsakovo nepasitenkinimas:		3
Priklausomybės:		Nėra	Konfliktai:		Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

35 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Meniu kairėje.

Reikalavimo numeris:	14	Reikalavimo tipas:	10	Panaudojimo atvejis:	2, 3, 4, 5, 8, 9
Aprašymas	Sistemos meniu turi būti kairėje pusėje.				
Pagrindimas	Naudotojai pripratę prie sistemų, kurių meniu yra kairėje.				
Šaltinis	Sistemos analitikas				
Tinkamumo kriterijus:	Po pirmos dienos naudojimosi programa 95 proc. naudotojų turi patvirtinti, kad randa visus meniu pasiekiamus puslapius				
Užsakovo pasitenkinimas:	1		Užsakovo nepasitenkinimas:	4	
Priklausomybės:	Nėra		Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

4.10. Reikalavimai panaudojamumui

36 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Sistemos matmenys.

Reikalavimo numeris:	16	Reikalavimo tipas:	11	Panaudojimo atvejis:	4, 5
Aprašymas	Visi matmenys įvedami sistemoje turėtų būti milimetrai				
Pagrindimas	Baldų gamyboje naudojami milimetrai.				
Šaltinis	Užsakovo technologas				

Tinkamumo kriterijus:	Visur naudojami milimetrai		
Užsakovo pasitenkinimas:	3	Užsakovo nepasitenkinimas:	3
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24		

4.11. Reikalavimai vykdymo charakteristikoms

37 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Defektų analizės trukmė

Reikalavimo numeris:	17	Reikalavimo tipas:	12	Panaudojimo atvejis:	1
Aprašymas	Sistema turi veikti realiu laiku, todėl analizė negali ilgai užtrukti.				
Pagrindimas	Gamyba vyksta dideliu greičiu, todėl reikia greitai priimti sprendimą apie gaminio analizės charakteristikas.				
Šaltinis	Užsakovo technologas				
Tinkamumo kriterijus:	Analizės trukmė ne didesnė nei 2 sekundės.				
Užsakovo pasitenkinimas:	2	Užsakovo nepasitenkinimas:	3		
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra		
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -28				

38 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Analizės duomenų tikslumas.

Reikalavimo numeris:	18	Reikalavimo tipas:	12	Panaudojimo atvejis:	1
Aprašymas	Vykdant analizę matavimo duomenys suapvalinami iki milimetro dešimtųjų dalių.				
Pagrindimas	Didesnis tikslumas nėra galimas, todėl daugiau skaičių po kablelio tik padidina neaiškumus.				
Šaltinis	Sistemos analitikas				
Tinkamumo kriterijus:	Visi gauti duomenys yra suapvalinami iki dešimtųjų milimetro dalių.				
Užsakovo pasitenkinimas:		5	Užsakovo nepasitenkinimas:		3
Priklausomybės:		Nėra	Konfliktai:		Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra				

Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -28
------------------	------------------------------------

4.12. Reikalavimai veikimo sąlygoms

39 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Garsinis informavimas apie nekokybišką detalę.

Reikalavimo numeris:	19	Reikalavimo tipas:	13	Panaudojimo atvejis:	1
Aprašymas	Sistemos pranešimai turi būti garsiniai				
Pagrindimas	Sistemos pranešimai turi būti garsiniai ir pakankamai garsūs, kadangi aplinka, kurioje bus naudojama sistema yra triukšminga.				
Šaltinis	Užsakovo technikas				
Tinkamumo kriterijus:	Garsiniai pranešimai girdimi aplinkoje, kurioje yra 110 dB triukšmas.				
Užsakovo pasitenkinimas:		4	Užsakovo nepasitenkinimas:		3
Priklausomybės:		Nėra	Konfliktai:		Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -24				

40 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Sistemos apsaugojimas licencija.

Reikalavimo numeris:	20	Reikalavimo tipas:	13	Panaudojimo atvejis:	Visi
Aprašymas	Sistema turi būti apsaugota, kad tik įsigiję vartotojai galėtų ja naudotis.				
Pagrindimas	Sistema yra komercinis sprendimas, todėl svarbu, kad jos nebūtų galima naudotis nelegaliai.				
Šaltinis	Sistemos analitikas				
Tinkamumo kriterijus:	Sistema apsaugota licencija.				
Užsakovo pasitenkinimas:		2	Užsakovo nepasitenkinimas:		2
Priklausomybės:		Nėra	Konfliktai:		Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -28				

4.13. Reikalavimai sistemos priežiūrai

41 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Aptarnavimo darbų trukmė.

Reikalavimo numeris:	21	Reikalavimo tipas:	14	Panaudojimo atvejis:	Visi
Aprašymas	Sistema turėtų būti neprieinama naudotojams ne ilgiau nei valandą nuo atnaujinimo darbų pradžios				
Pagrindimas	Programuotojai turi būti ištestavę ir pilnai pasiruošę, kad atnaujinimas neužtruktų ilgiau nei vieną valandą, kadangi ilgesnė atnaujinimų trukmė stipriai paveiks gaminių kokybę.				
Šaltinis	Sistemos analitikas				
Tinkamumo kriterijus:	Sistema po valandos nuo atnaujinimo pradžios bus galima pilnai naudotis be jokių nesklandumų.				
Užsakovo pasitenkinimas:	2		Užsakovo nepasitenkinimas:	5	
Priklausomybės:	Nėra		Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -28				

42 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Atsakymas į klausimus.

Reikalavimo numeris:	22	Reikalavimo tipas:	14	Panaudojimo atvejis:	Visi
Aprašymas	Visa informacija dėl neaiškumų ar kitų klausimų turi būti atsakyta parašius laišką atsakingam asmeniui.				
Pagrindimas	Ši programa nėra plačiai naudojama, todėl nėra visą parą veikiančio klientų aptarnavimų personalo, todėl atsakymai į visus klausimus pateikiami elektroniniu paštu.				
Šaltinis	Projekto vadovas				
Tinkamumo kriterijus:	Atsakyti į kliento klausimą ar padėti išspręsti problemą reikia per neilgiau nei 2 darbo dienas.				
Užsakovo pasitenkinimas:	2		Užsakovo nepasitenkinimas:	4	
Priklausomybės:	Nėra		Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -28				

4.14. Reikalavimai saugumui

43 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Tolerancijos ribų nustatymai.

Reikalavimo numeris:	23	Reikalavimo tipas:	15	Panaudojimo atvejis:	4, 5
Aprašymas	Tik administratorius gali keisti tolerancijos ribas ir jas išsaugoti.				
Pagrindimas	Tolerancijos ribų nustatymas yra labai svarbus etapas, kadangi nuo to priklauso defektų aptikimo kokybė.				
Šaltinis	Sistemos analitikas				
Tinkamumo kriterijus:	Tolerancijos ribų keitimas prieinamas tik naudotojams, kurie yra prisijungę kaip administratoriai.				
Užsakovo pasitenkinimas:	1		Užsakovo nepasitenkinimas:	5	
Priklausomybės:	Nėra		Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -28				

44 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Duomenų bazės transakcijos.

Reikalavimo numeris:	24	Reikalavimo tipas:	15	Panaudojimo atvejis:	
Aprašymas	Duomenų bazės operacijos turi būti vykdomos kaip transakcijos.				
Pagrindimas	Svarbu, kad duomenų bazės operacijos būtų įvykdomos iki galo arba visiškai anuliuojamos, kadangi dalinis duomenų nukopijavimas ar įrašymas nėra tinkamas, kadangi tokiu atveju analizės rezultatai nebus teisingi.				
Šaltinis	Sistemos analitikas				
Tinkamumo kriterijus:	Operacijos susijusios su duomenų kopijavimu iš patikros sistemų bei gamybos analizė turi vykdomos naudojant transakcijų valdymo mechanizmą.				
Užsakovo pasitenkinimas:		2	Užsakovo nepasitenkinimas:		5
Priklausomybės:		Nėra	Konfliktai:		Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -28				

4.15. Kultūriniai-politiniai reikalavimai

45 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Pranešimų datos formatas.

Reikalavimo numeris:	25	Reikalavimo tipas:	16	Panaudojimo atvejis:	7
Aprašymas	Pranešimo datos formatas turi būti pagal kompiuteryje parinktą regioną.				
Pagrindimas	Svarbu, kad datos formatas būtų įprastas naudotojui, kadangi įprastas formatas yra lengviau suprantamas.				
Šaltinis	Sistemos analitikas				
Tinkamumo kriterijus:	Datos formatas atitinka kompiuterio nustatymuose rodomą regiono formatą.				
Užsakovo pasitenkinimas:	3		Užsakovo nepasitenkinimas:	3	
Priklausomybės:	Nėra		Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -28				

4.16. Teisiniai reikalavimai

46 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Duomenų apsaugos reglamento atitikimas.

Reikalavimo numeris:	26	Reikalavimo tipas:	17	Panaudojimo atvejis:	Visi
Aprašymas	Sistema turi atitikti asmens duomenų apsaugos reglamentui.				
Pagrindimas	Šis reglamentas yra privalomas ir jo nesilaikymas pažeidžia naudotojų teises.				
Šaltinis	Sistemos analitikas				
Tinkamumo kriterijus:	Nepažeidžiamas nei vienas asmens duomenų apsaugos reglamento nurodytas punktas.				
Užsakovo pasitenkinimas:	1		Užsakovo nepasitenkinimas:	5	
Priklausomybės:	Nėra		Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra				
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -28				

47 lentelė Nefunkcinis reikalavimas: Sistemos vystymo standartas.

Reikalavimo numeris:	27	Reikalavimo tipas:	17	Panaudojimo atvejis:	4
Aprašymas	Sistemos vystymo darbų metu reikia laikytis ISO/IEEE 12207 standarto.				

Pagrindimas	Šis standartas nustato visus procesus reikalingus programos kūrimui ir palaikymui		
Šaltinis	Sistemos analitikas		
Tinkamumo kriterijus:	Sistemos kūrimo ir palaikymo metu visi procesai, veiklos ir užduotys yra užrašomi, kad vėliau būtų galima patikrinti ar jie atitinka standarto reikalavimus, kurie aprašyti. https://www.iso.org/standard/43447.html		
Užsakovo pasitenkinimas:	1	Užsakovo nepasitenkinimas:	2
Priklausomybės:	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas: 2020-02 -28		

4.17. Atviri klausimai

- Grafinio vaizdo procesoriaus našumas;
- Minimalus defektų dydis;
- Defektų aptikimas detalėse su ryškia tekstūra;
- Vaizdo kamerų greیتaveika.

4.18. Egzistuojantys sprendimai

4.18.1. Pagamintos sistemos, kurios gali būti nupirktos

Šiuo metu rinkoje nėra sprendimų, kuriuos būtų galima nupirkti ir panaudoti baldų gamybos proceso kokybės užtikrinimui.

4.18.2. Pagaminti komponentai, kurie gali būti panaudoti

OpenCV – atvirojo kodo vaizdų apdorojimo biblioteka, kurios pagalba galima atlikti vaizdo apdorojimą.

Pytorch – mašininio mokymosi biblioteka.

4.18.3. Galimas pakartotinas panaudojimas

Šiuo metu nei vienas kokybės patikros sistemų gamintojas nenori atskleisti savo naudojamų technologijų, kadangi šios žinios leidžia išsilaikyti konkurencinėje kovoje.

4.19. Naujos problemos

4.19.1. Problemos diegimo palinkai

Sistema bus diegiama tik jai dedikuotoje aplinkoje. Sistemos diegimo aplinkoje bus duomenų bazė į kurią bus įrašomi iš patikros sistemos gauti duomenys. Sistemos įdiegimas turi nepaveikti duomenų bazės veikimo. Sistemos aplinka turi būti su Windows operacine sistema.

4.19.2. Įtaka jau instaliuotoms sistemoms

Sistema bus įdiegta aplinkoje, kurioje nebus kitų sistemų, todėl ji neturės tiesioginio poveikio esamoms sistemoms.

4.19.3. Neigiamas vartotojų nusiteikimas

Sistema gali paveikti operatorių darbą, kadangi gamyba bus analizuojama nuolatos ir jei sutrikus operatoriai turės reaguoti. Šiuo metu operatoriai patikrina gaminių kokybę maždaug kartą per valandą, todėl retai pastebi defektus. Vykdam gamybos analizę operatoriams gali tekti dažniau tvarkyti netinkamą įrangos veikimą. Norint sušvelninti šias pasekmes bus vertinamas operatoriaus darbo efektyvumas ir esant puikiems rezultatais skiriamas priedas prie atlyginimo.

4.19.4. Kliudantys diegimo aplinkos apribojimai

Kompiuteris, kurioje įdiegta sistema gali netinkamai veikti, kadangi gamybos patalpų oro temperatūra yra aukšta ir aplinkoje yra nemažai dulkių. Norint išvengti šių problemų reikia naudoti kondicionierių bei specialią spintą kompiuterio laikymui.

4.19.5. Galimos naujos sistemos sukeltos problemos

Padidėjus gamybos greičiui iki 80 m/minutę gali būti sunku spėti apdoroti vaizdus realiu laiku, todėl gali reikėti pagreitininti algoritmų veikimą.

4.20. Uždaviniai

4.20.1. Sistemos pateikimo žingsniai

Sistemos pateikimas bus atliekamas tokiais žingsniais:

- Surinktų anotuočių pavyzdžių pateikimas užsakovui, kad jis galėtų patikrinti;
- Mašininio mokymosi algoritmų testavimas sistemos kūrėjo patalpose;
- Mašininio mokymosi algoritmų patobulinimas;
- Mašininio mokymosi algoritmų testavimas užsakovo patalpose;
- Sistemos diegimas ir testavimas;
- Naudotojų mokymai.

4.20.2. Vystymo etapai

1. Darbai pradedami nuo projekto koncepcijos analizės, šio etapo metu išnagrinėjami pagrindiniai projekto pagrindiniai aspektai (trukmė - 2 savaitės).
2. Vėliau atliekamas sistemos projektavimas (trukmė -2 savaitės):
 - a. Funkcinių ir nefuncinių reikalavimų nustatymas;
 - b. Suprojektuojama sistemos architektūra;
 - c. Suprojektuojamos sistemos dalys (komponentai);
 - d. Nustatomi pagrindiniai apribojimai
3. Verslo logikos (Back end) programavimas (trukmė – 12 savaitių).

4. Mašininio mokymosi metodų programavimas (trukmė – 16 savaičių).
5. Sistemos testavimas (trukmė – 3 savaitės).
6. Sistemos įdiegimas bei naudotojų apmokymas (trukmė – 1 savaitė).

48 lentelė Vystymo etapas: Projekto koncepcijos analizė.

Etapas	Projekto koncepcijos analizė
Aprašymas	Įsigilinama į užsakovo problemas bei dalykinę sritį.
Trukmė (savaitėmis)	2
Techninė įranga	1 nešiojamas kompiuteris su įdiegtu „Microsoft Word“ programine įranga.
Funkciniai reikalavimai	Nėra
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra

49 lentelė Vystymo etapas: Sistemos projektavimas.

Etapas	Sistemos projektavimas
Aprašymas	Funkcinių ir nefunkcinių reikalavimų nustatymas, sistemos architektūros projektavimas, sistemos komponentų projektavimas, pagrindinių apribojimų nustatymas.
Trukmė (savaitėmis)	2
Techninė įranga	1 nešiojamas kompiuteris su įdiegtu „MagicDraw“ programine įranga.
Funkciniai reikalavimai	Nėra
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra

50 lentelė Vystymo etapas: „Back end“ programavimas.

Etapas	„Back end“ programavimas
Aprašymas	Suprogramuojamos funkcijos aprašytos reikalavimų specifikacijoje.
Trukmė (savaitėmis)	12

Techninė įranga	1 stacionarus kompiuteris su įdiegta „Visual Studio“ programine įranga.
Funkciniai reikalavimai	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.
Nefunkciniai reikalavimai	Visi

51 lentelė Vystymo etapas: Mašininio mokymosi metodų programavimas.

Etapas	Mašininio mokymosi metodų programavimas
Aprašymas	Sukurti metodus, kurie identifikuos defektus.
Trukmė (savaitėmis)	16
Techninė įranga	1 stacionarus kompiuteris su įdiegta operacine sistema.
Funkciniai reikalavimai	1, 2, 3.
Nefunkciniai reikalavimai	17, 18.

52 lentelė Vystymo etapas: Sistemos testavimas.

Etapas	Sistemos testavimas
Aprašymas	Visos sistemos veikimo testavimas.
Trukmė (savaitėmis)	3
Techninė įranga	1 stacionarus kompiuteris su įdiegta operacine sistema.
Funkciniai reikalavimai	Visi
Nefunkciniai reikalavimai	Visi

53 lentelė Vystymo etapas: Sistemos įdiegimas bei naudotojų apmokymas.

Etapas	Sistemos įdiegimas bei naudotojų apmokymas
Aprašymas	Sistema įdiegiama pas klientą ir atliekamas galutinis testavimas. Sistemos naudotojai supažindinami su sistema bei dokumentacija.

Trukmė (savaitėmis)	1
Techninė įranga	1 stacionarus kompiuteris su įdiegta operacine sistema.
Funkciniai reikalavimai	Visi
Nefunkciniai reikalavimai	Visi

4.20.3. Pritaikymas

Sistema bus diegiama jai skirtoje aplinkoje, todėl jos nereikia pritaikyti prie jokių esamų sistemų ar aplinkų.

4.20.4. Reikalavimai esamų duomenų perkėlimui

Šiuo metu nėra naudojama jokia gamybos patikros sistema, todėl migravimas nėra sudėtingas. Sistema turi turėti galimybę importuoti gaminių sąrašą.

4.20.5. Reikalingas duomenų transformavimas perkeliant į naują sistemą

Duomenys bus importuojami CSV formatu, todėl reikia atlikti šių duomenų transformaciją į SQL užklausas.

4.21. Rizikos

4.21.1. Galimos sistemos kūrimo rizikos

Neteisingos analizės atlikimo rizika - atliekant neteisingą gamybos analizę būtų nuolatos stabdoma gamyba bei taip kenkiama bendram gamybos efektyvumui. Toks atvejis gali nutikti, kai tinkamus gaminius sistema palaikys netinkamai. Norint išvengti didelių šio neatitikimo pasekmių reikėtų pridėti funkciją, kuri leistų laikinai sustabdyti gamybos analizę.

Saugos grandinės netinkamas išjungimas - sistema sustabdžius gamybą turi įjungti saugos grandinę, kadangi dažnai operatoriai nueina patikrinti kas negerai. Svarbu, kad įrenginiai nepradėtų vėl veikti, kai darbuotojas yra įrenginių veikimo zonoje.

4.21.2. Kaina

Pagal specifikaciją galima išmatuoti šiuos faktorius:

- Panaudojimų atvejų skaičius - 12.
- Funkcinių reikalavimų skaičius - 13
- Nefuncinių reikalavimų skaičius - 15.

Pagal šių specifikacijos faktorius numatoma kiek laiko užtruks projekto vykdymas. Planuojama, kad prie projekto dirbs 3 asmenys:

- Projektų vadovas, 3 – 4 metų patirtis dirbant prie procesų automatizavimo ar verslo valdymo sistemų.
- Back-end programuotojas, 2-4 metų patirtis C#, .NET bei .NET core karkasai;
- Mašininio mokymosi programuotojas, 2-3 metų patirtis taikant mašininio mokymosi metodus.

Darbuotojams planuojama mokėti atlyginimus pateikiamus lentelėje, o projekto vystymo trukmė yra pateikiama.

54 lentelė Darbuotojų atlyginimai

Darbuotojo kvalifikacija	Mėnesinis atlyginimas (neatskaičius mokesčių)
Projektų vadovas	3500 eur
Back-end programuotojas	2500 eur
Mašininio mokymosi programuotojas	3000 eur

Darbuotojų atlyginimas planuojama išleisti apie 60 tūkstančių eur.

Taip pat reikės 2 stacionarių bei 1 nešiojamo kompiuterių, kurių bendra kaina bus 3000 eur.

Bendri projekto kaštai bus apie 70 tūkstančiai eur.

4.22. Vartotojo dokumentacija ir apmokymas

4.22.1. Naudotojo vadovas

Šio dokumento paskirtis yra supažindinti sistemos naudotojus su sistemos veikimu bei aprašyti visus pagrindinius scenarijus. Taip pat šis dokumentas dažnai bus naudojamas, jei naudotojas nežinos kaip atlikti tam tikras funkcijas. Šios funkcijos bus detalios aprašytos naudotojo vadove. Dokumentu naudosis gamybos meistrai bei operatoriai. Dokumentas bus atnaujinamas kartą per mėnesį, jei tą mėnesį bus atliekami sistemos atnaujinimo darbai. Už dokumento atnaujinimą atsakingi sistemos kūrėjai. Pateikiama elektroniniu formatu.

4.22.2. Techninės įrangos dokumentacija

Šio dokumento paskirtis yra supažindinti naudotojus su technine įranga. Šiame dokumente bus aprašyta, kaip veikia techninė įranga, kaip pakeisti tam tikrus techninės įrangos parametrus (kondicionieriaus reguliavimas, nepertraukiamo srovės šaltinio (UPS) reguliavimas). Dokumentu naudosis gamybos meistrai bei operatoriai. Dokumentas atnaujinamas pakeitus techninės įrangos komponentą. Už dokumento atnaujinimą atsakingi asmenys, kurie atlieka techninės įrangos pakeitimus. Pateikiama elektroniniu formatu.

4.22.3. Mokymai

Naudotojų apmokymai užtruks dvi dienas ir bus vykdomi dviem etapais:

- Pirmo etapo metu bus mokoma naudotis pagrindinėmis funkcijomis, kurios yra prieinamos operatoriams. Šiuose mokymuose dalyvaus visi sistemos naudotojai.
- Antro etapo metu bus mokoma naudotis sudėtingesnėmis sistemos funkcijomis, kurias gali

prieiti tik administratoriai. Šiuose mokymuose dalyvaus tik asmenys, kurie administruos sistemą (gamybos meistrai, technologai).

Už naudotojų apmokymą atsakingi sistemos kūrėjai. Mokymai vyks užsakovo patalpose. Tikslī data yra suderinama mėnesis iki mokymų pradžios.

4.23. Perspektyviniai reikalavimai

Planuojama įgyvendinti šiuos funkcinis reikalavimus:

1. Nustatyti dominuojančius defektus;
2. Nustatyti dominuojančių defektų kilmės šaltinį;
3. Sudaryti dominuojančių defektų kilmės šaltinio ataskaitą;
4. Gamybos efektyvumo prognozavimas;

4.24. Idėjos sprendimams

Gamybos efektyvumo prognozavimui būtų galima panaudoti mašininio mokymosi metodus. Būtų galima išbandyti linijinę regresiją, "Gradient boosting" regresiją bei neuroninius tinklus.

5. ARCHITEKTŪROS SPECIFIKAVIMAS

5.1. Įvadas

5.1.1. Dokumento paskirtis

Šio dokumento pagrindinė paskirtis yra nustatyti pagrindinį kuriamos sistemos vaizdą. Šis dokumentas bus naudingas kuriant sistemos prototipą bei įgyvendinant galutinę sistemos versiją. Architektūros specifikacijos dokumentas leidžia gana greitai susipažinti su sistema, todėl yra puikus būdas sumažinti kitus asmenis su kuriu produktu. Taip pat šis dokumentas yra puiki medžiaga, kuri leidžia greitai supažindinti projekto komandą (analitiką, programuotojus, testuotojus, projektų vadovą) su kuriu produkto savybėmis ir jo funkcionalumo įgyvendinimu.

5.1.2. Apibrėžimai ir sutrumpinimai

Kompiuterinė rega – (angl. Computer vision) tarpdisciplininė mokslo sritis, kuri siekia gauti tam tikrą informaciją apdorojant skaitmeninį vaizdą. Dažniausiai naudojama užduočių automatizavimui.

UML – unifikuota modeliavimo kalba (Unified Modeling Language).

MM (angl. Machine learning) – mašininis mokymasis.

Saugykla (angl. repository) – projektavimo šablonas, kuris leidžia paslėpti duomenų prieigos logiką nuo verslo logikos.

Verslo logika (angl. business logic) – algoritmai ir taisyklės, kurie valdo grafinės vartotojo sąsajos bei duomenų bazės sąsają.

Programuojamas loginis valdiklis (angl. programmable logic controller) – industrinis skaitmenis įrenginys, kuris skirtas gamybos procesų valdymui.

PLV (angl. PLC) – programuojamas loginis valdiklis.

Žmogaus – mašinos sąsaja (angl. human-machine interface) – vartotojo sąsaja industrinių procesų valdymui.

GPU – vaizdo apdorojimo procesorius.

5.1.3. Apžvalga

Architektūros specifikavimo ataskaitoje pateikiami panaudojimo atvejų vaizdai, loginis vaizdas (klasių diagramos, paketų diagramos) bei procesų vaizdas.

Antrame skyriuje pateikiami įrankiai, kurie bus naudojami architektūros specifikavimui bei UML diagramų sąrašas.

Sistemos tikslai ir apribojimai pateikiami trečiame skyriuje.

Ketvirtame skyriuje pateikiama panaudojimų atvejų diagrama bei kiekvieno panaudojimo atvejo aprašymas.

Penktame skyriuje pateikiamos paketų bei klasių diagramos, kurios parodo sistemos statinį vaizdą.

Šeštame skyriuje pateikiamos sekų diagramos, kurių pagalba demonstruojamas veiksmų sekų eiliškumas. Taip pat šiame skyriuje pateiktos ir veiklos diagramos.

Septintame skyriuje pateikiama sistemos diegimo diagrama.

Esybių – ryšių diagrama pateikiama aštuntajame skyriuje.

Devintajame skyriuje pateikiami sistemos kokybiniai parametrai.

5.2. Architektūros pateikimas

Architektūros pateikimui bus naudojamas įrankis „MagicDraw“ bei UML kalba.

UML diagramomis bus pavaizduoti šie vaizdai (angl. views):

1. Panaudojimo atvejų vaizdas – panaudojimo atvejų diagrama;
2. Loginis vaizdas – klasių diagramos, sistemos išskaidymas į paketus;
3. Procesų vaizdas – sekų diagramos, veiklos diagramos;

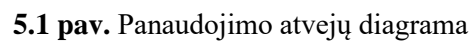
5.3. Architektūros tikslai ir apribojimai

Sprendimo architektūrai įtakos turi šie tikslai ir apribojimai:

- Sistema turi veikti kompiuteryje su įdiegta “Windows” operacine sistema.
- Sistema turi išnaudoti grafinio procesoriaus privalumus, kurie leidžia pagreitinti skaitmeninių vaizdų apdorojimą.
- Naudotojai turi turėti galimybę keisti tolerancijos ribas.
- Defektai turi būti klasifikuojami ir pažymimi nuotraukose.
- Sistema turi spėti apdoroti skaitmeninius vaizdus realiu.
- Detalės matmenys kuo mažiau turi įtakoti sistemos našumą – sistema efektyviai turi apdoroti net ir didelių gabaritų gaminius.
- Sistema turi naudoti mašininio mokymosi algoritmus.
- Sistema turi užtikrinti žmogaus – mašinos sąsają.

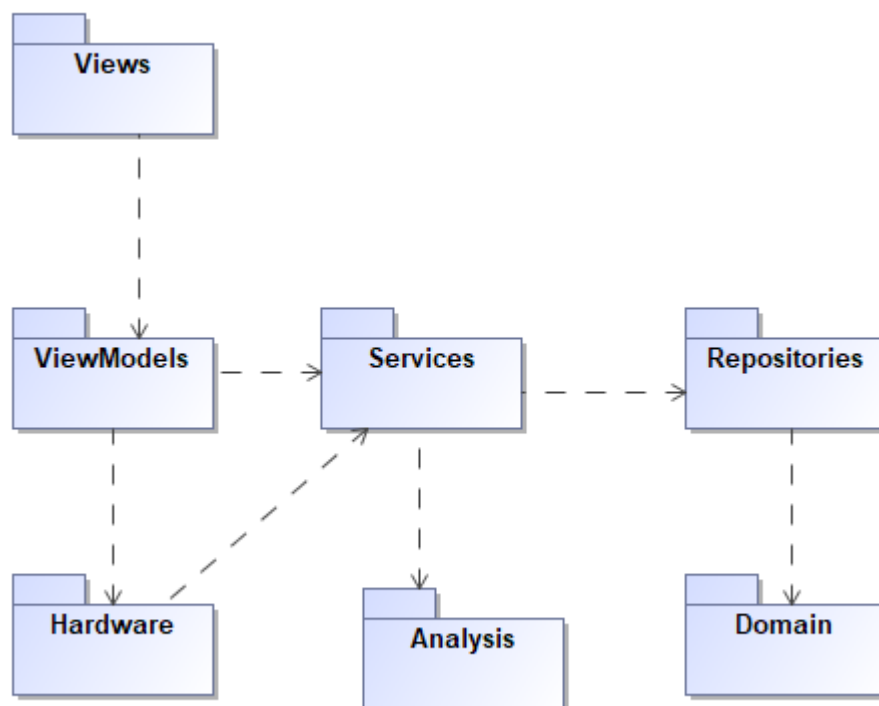
5.4. Panaudojimo atvejų vaizdas

Žemiau pateikiami pagrindiniai panaudojimo atvejai, kurie yra skirti aptikti baldų detalių paviršiaus defektus. Ši posistemė yra bendros baldų kokybės patikros sistemos dalis.



5.5. Sistemos statinis vaizdas

5.5.1. Apžvalga

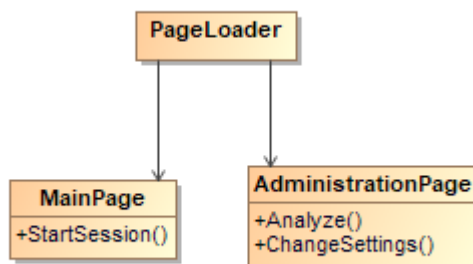


5.2 pav. Abstrakti sistemos paketų diagrama

5.5.2. Paketų detalizavimas

5.5.2.1. Paketas „Views“

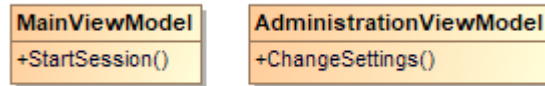
Šį paketą sudaro sistemos puslapiai. Sistemos puslapiai yra keičiami „PageLoader“ pagalba.



5.3 pav. „Views“ paketo klasių diagrama

5.5.2.2. Paketas „ViewModels“

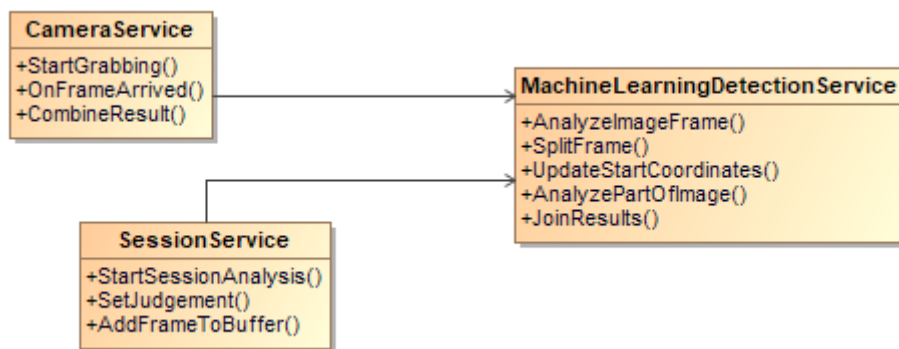
Šis paketas yra atsakingas už „Views“ duomenų laikymą bei valdymą.



5.4 pav. „ViewModels“ paketo klasių diagrama

5.5.2.3. Paketas „Services“

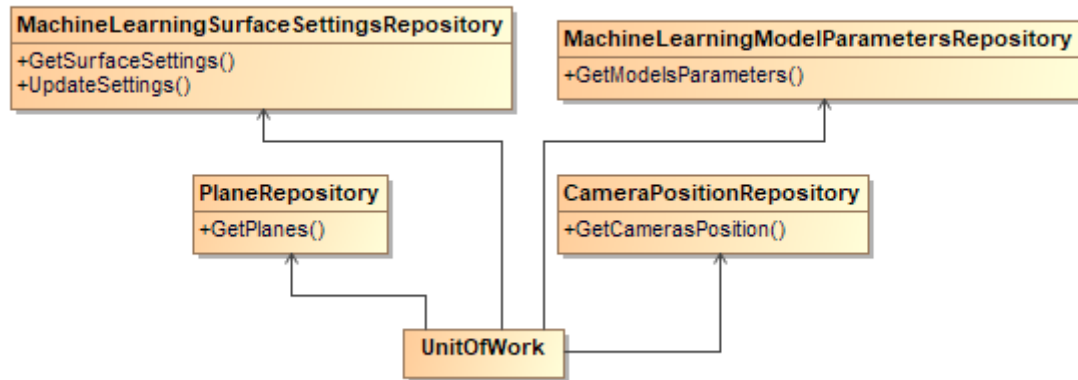
Šiame pakete yra aprašyta visa pagrindinė logika, kuri yra susijusi su vaizdų apdorojimu bei defektų aptikimu.



5.5 pav. „Services“ paketo klasių diagrama

5.5.2.4. Paketas „Repositories“

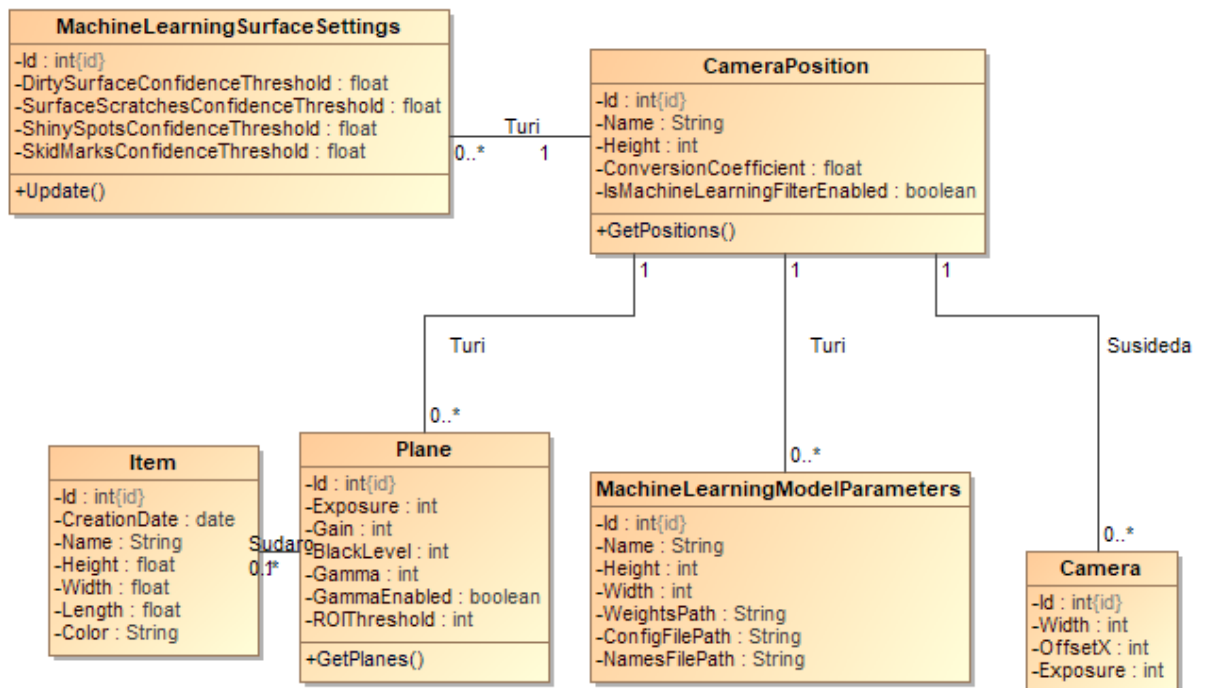
Šiame pakete pateikiamos saugyklos (angl. repository), kurios yra naudojamos sąsajai su duomenų baze.



5.6 pav. „Repositories“ paketo klasių diagrama

5.5.2.5. Paketas „Domain“

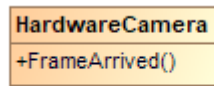
Šiame pakete pateikiamos duomenų bazės klasės.



5.7 pav. „Domain“ paketo klasių diagrama

5.5.2.6. Paketas „Hardware“

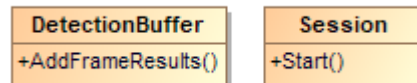
Šis paketas susideda iš klasių, kurios naudojamos bendrauti su aparatinėmis įranga.



5.8 pav. Hardware“ paketo klasių diagrama

5.5.2.7. Paketas “Analysis”

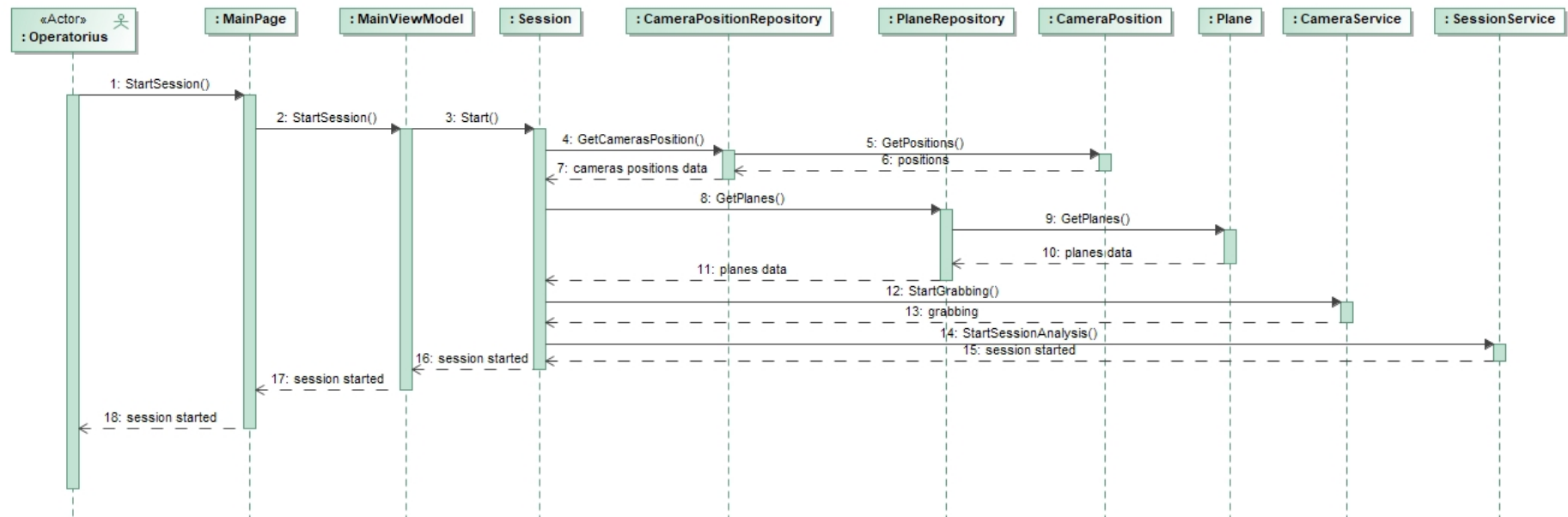
Šio paketo paskirtis yra duomenų saugojimas ir veiksmams susijusiems su analize.



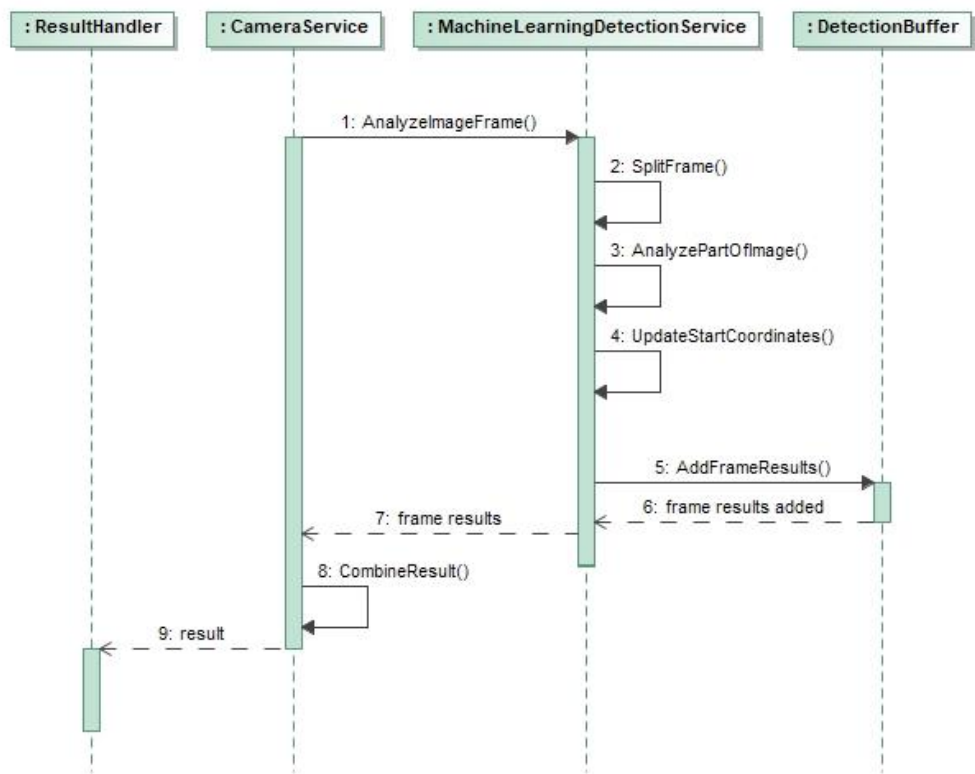
5.9 pav. „Analysis“ paketo klasių diagrama

5.6. Sistemos dinaminis vaizdas

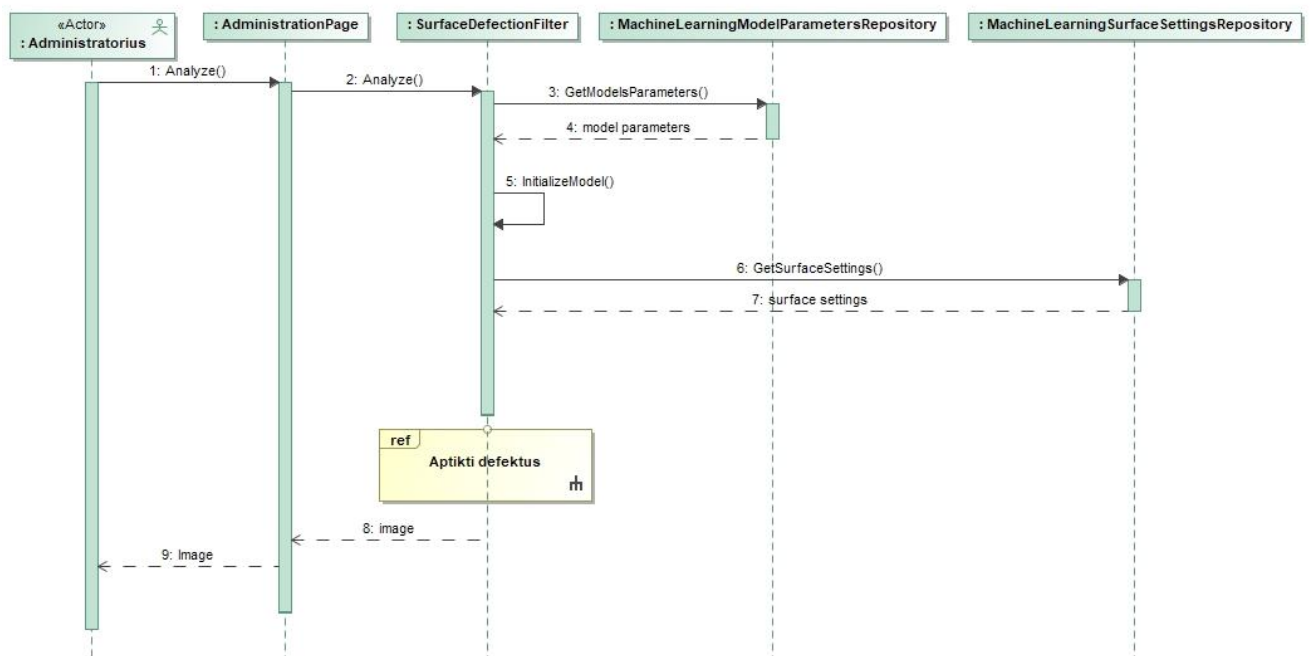
Sekų diagramos pateikiamos visiems panaudojimo atvejams, kurie yra sudėtingi. Nuspręsta, kad panaudojimo atvejai „Pažymėti defektus analizės vaizde“, „Pažymėti defektus etalono vaizde“ bei „Gauti kameros vaizdą“ nereikalauja didelio veiksmų sekos sudėtingumo, todėl jiems sekų diagramos nebuvo braižomos.



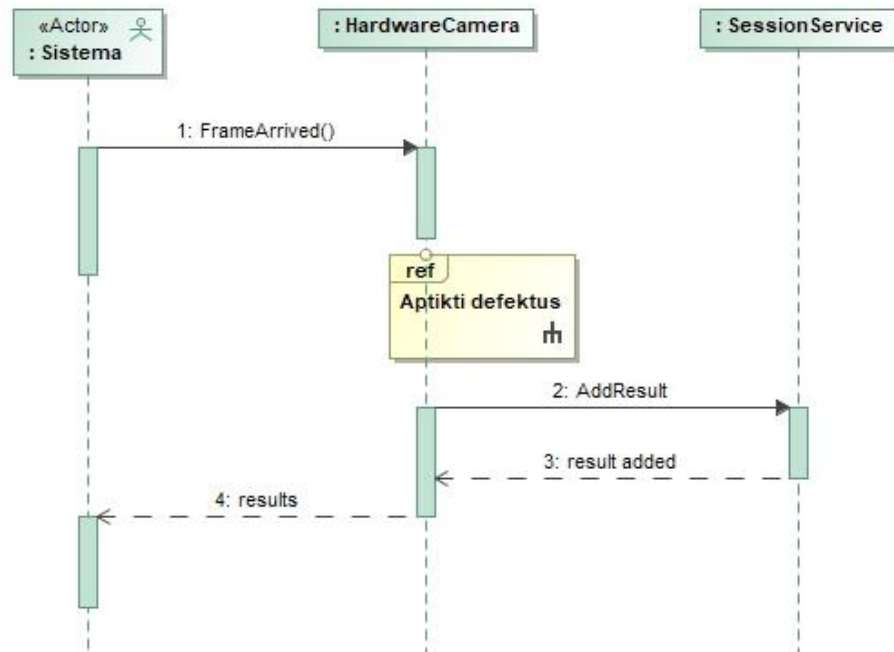
5.10 pav. PA „Pradėti analizę“ sekų diagrama



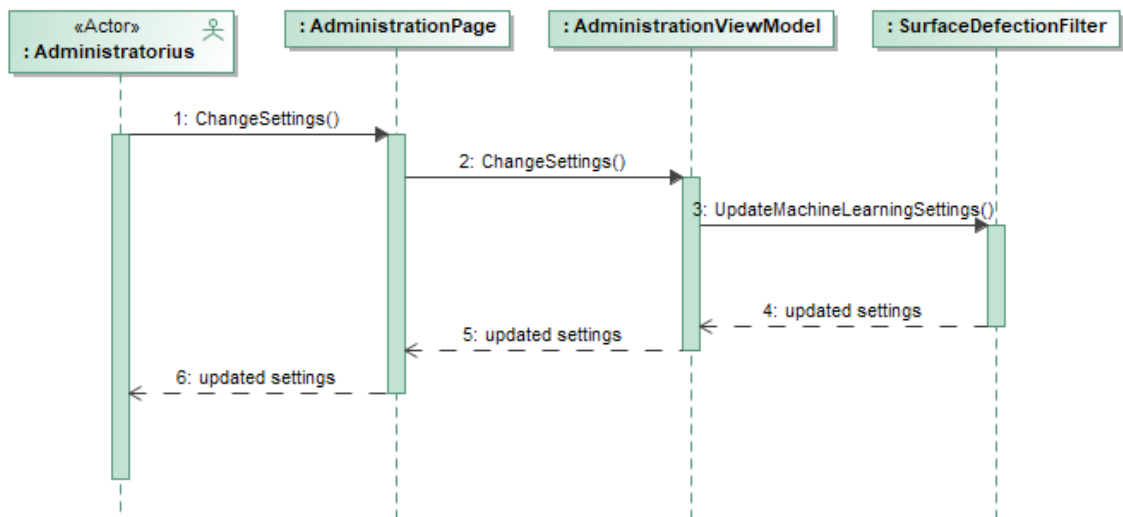
5.11 pav. PA „Aptikti defektus“ sekų diagrama



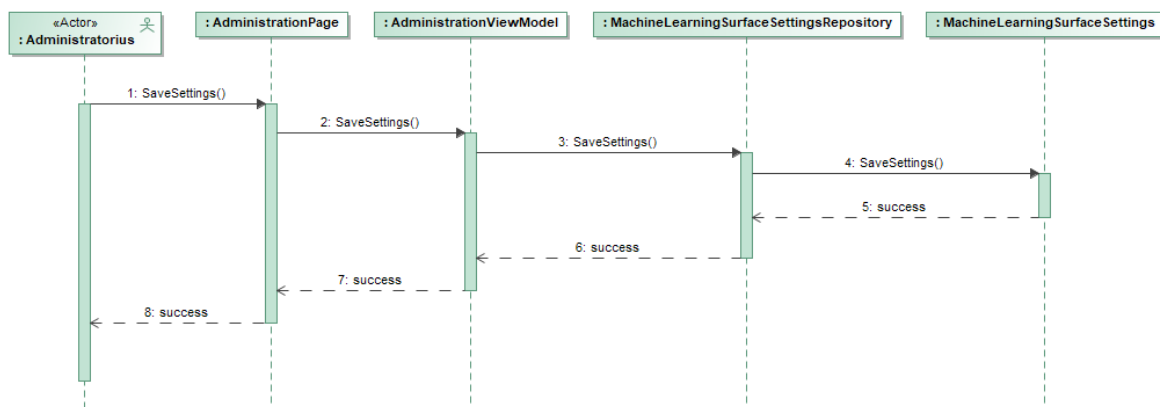
5.12 pav. PA „Vykdėti defektų aptikimą etalono vaizde“ sekų diagrama



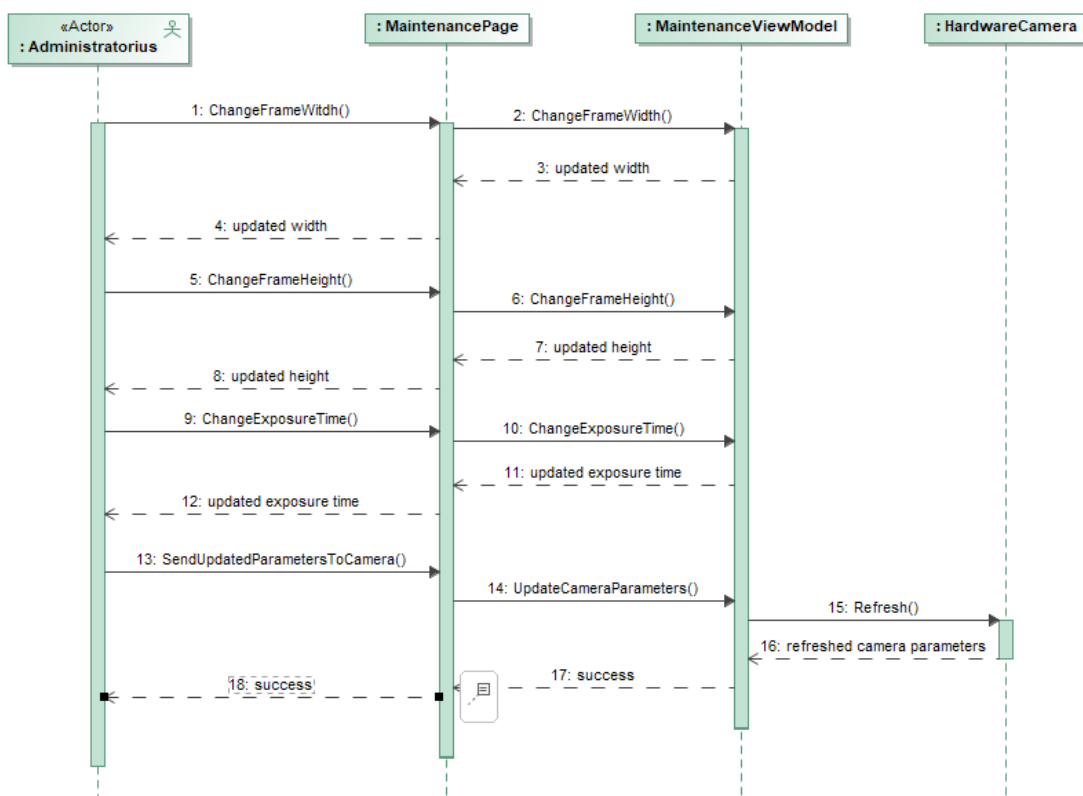
5.13 pav. PA „Vykdėti kiekvieno kadro analizę“ sekų diagrama



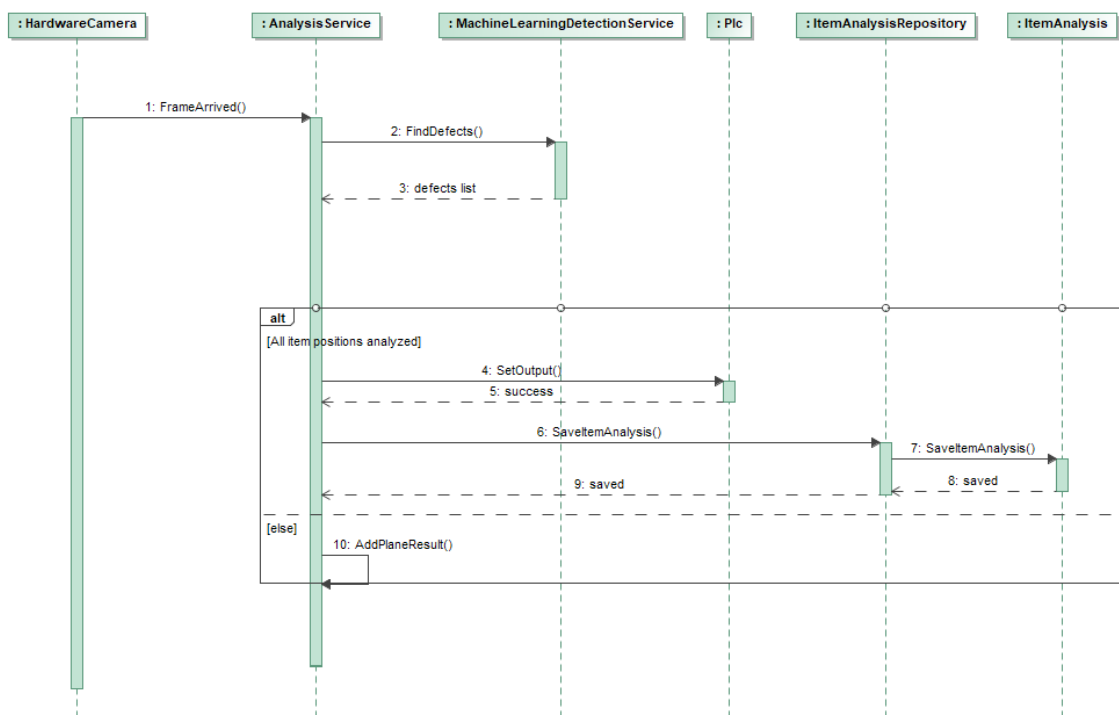
5.14 pav. PA „Nustatyti defektų tolerancijos ribas“ sekų diagrama



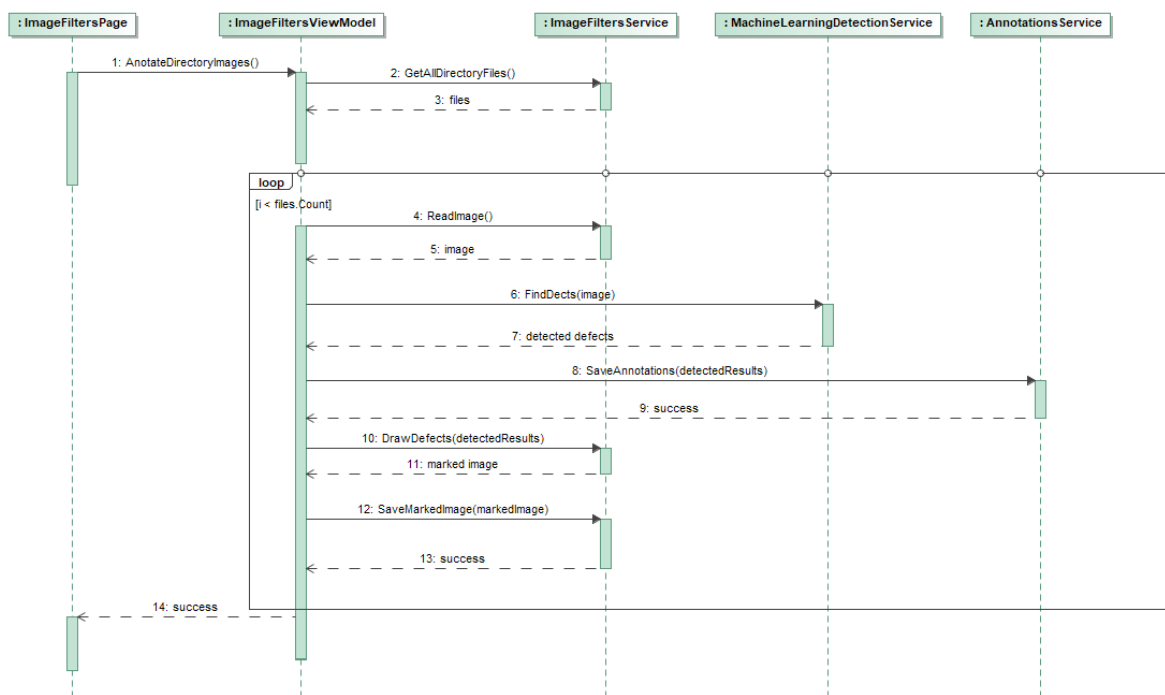
5.15 pav. PA „Išsaugoti defektų tolerancijos ribas“ sekų diagrama



5.16 pav. PA „Keisti kameros parametrus“ sekų diagrama

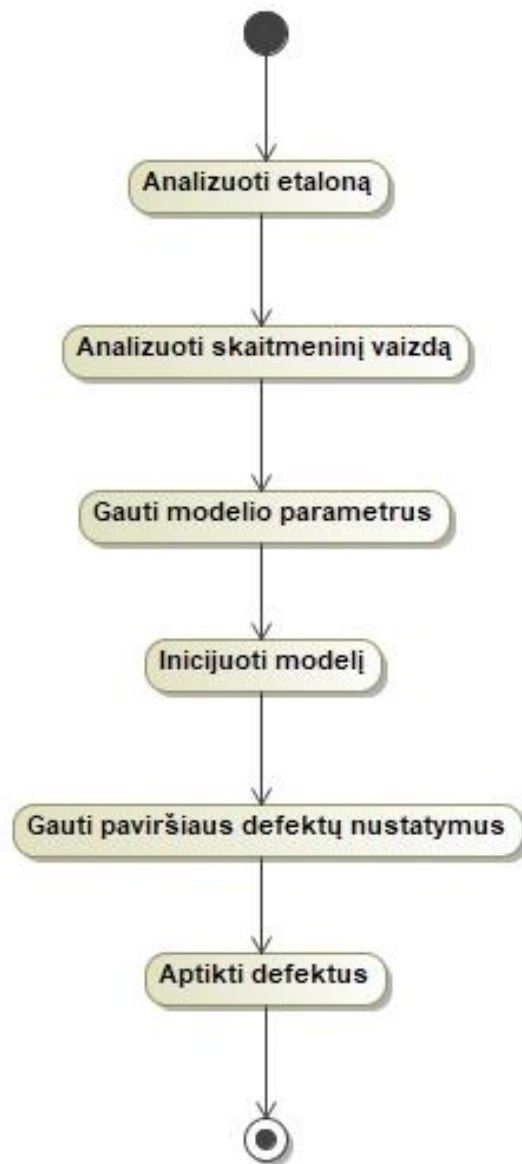


5.17 pav. PA „Nustatyti detalės kokybės verdiktą“ sekų diagrama

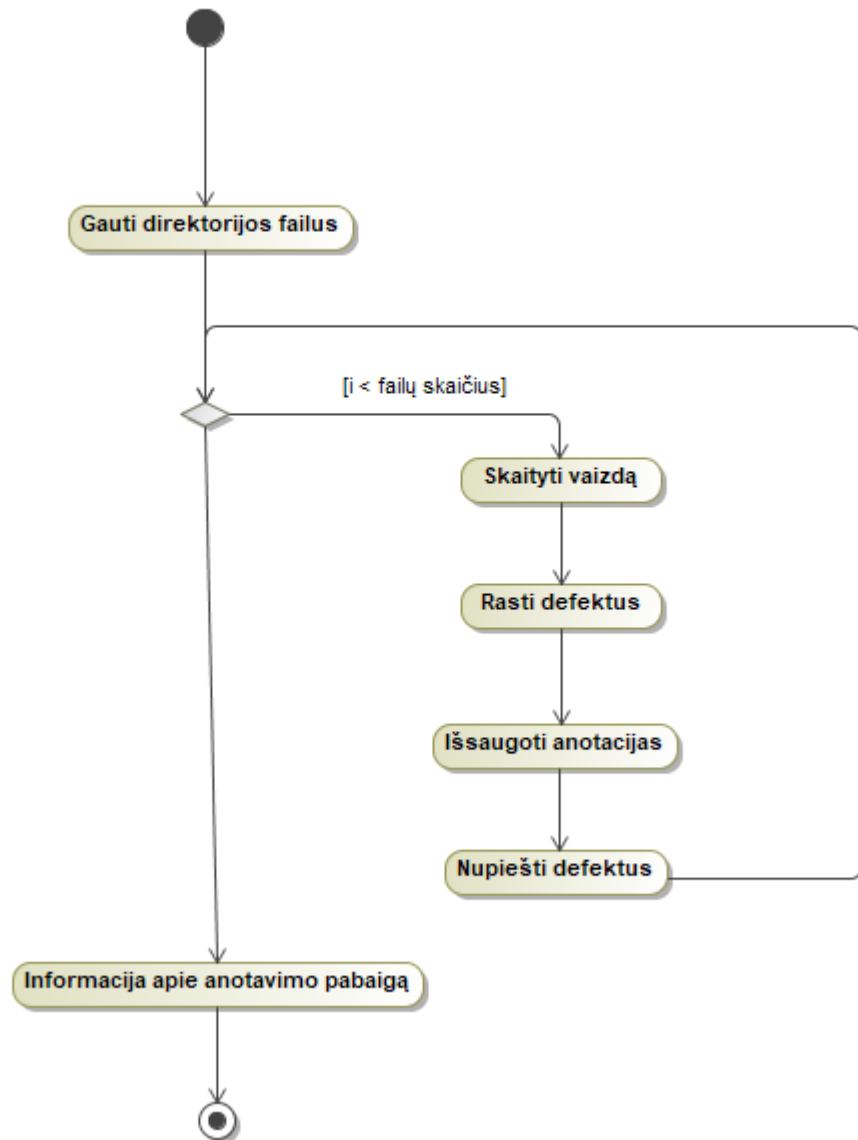


5.18 pav. PA „Vykdėti automatinį anotavimą“ sekų diagrama

Žemiau pateikiamos defektų aptikimo etalono vaizde bei automatinio anotavimo veiklos diagramos.



5.19 pav. Vykdyti defektų aptikimą etalono vaizde veiksmų diagrama



5.20 pav. Vykdyti automatinę anotavimą veiklos diagrama

5.7. Išdėstymo (deployment) vaizdas

Šiame skyriuje pateikiama sistemos diegimo diagrama. Diegimo diagramoje pavaizduoti įrenginiai bei artefaktai.

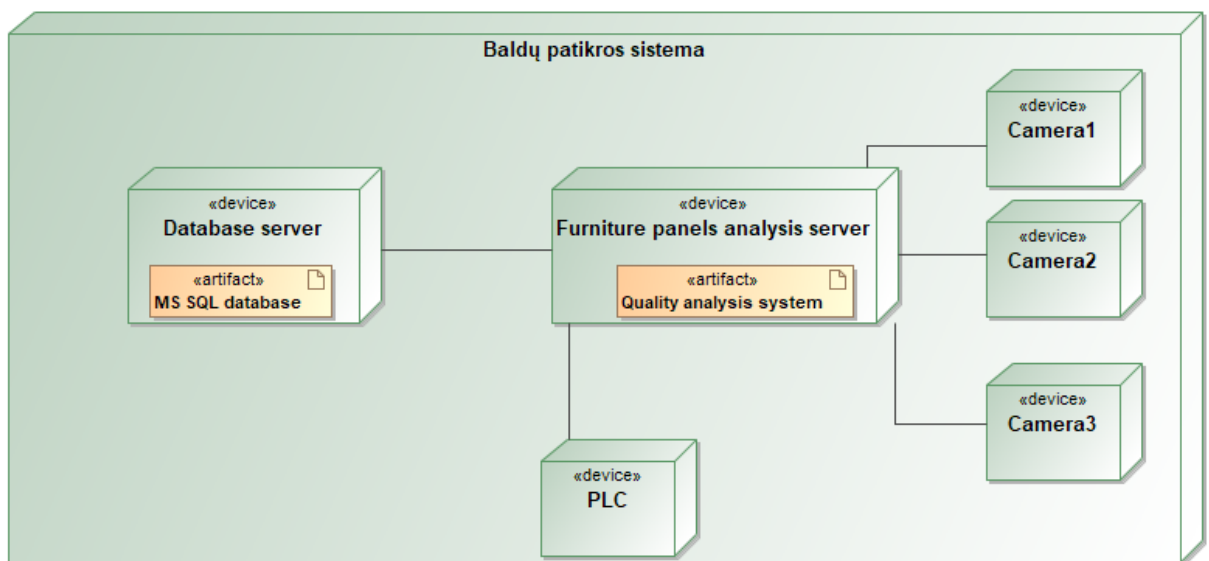
Sistema susideda iš šių įrenginių:

- Duomenų bazės serveris;
- Baldų detalių analizės serveris;
- Kamerų (kiekis gali kisti pagal poreikį). Gali būti naudojamos įvairios pramoninės kameros. Paviršiaus defektų aptikimui yra naudojamos aukštos skiriamosios gebos linijos nuskaitymo kameros, kurios .

- Programuojamo loginio valdiklio. Programuojami loginiai valdikliai naudojami industrinių procesų valdymui. Baldų sistemos atveju PLV yra naudojamas šviestuvų įtampos valdymui, konvejerio valdymui (greičio keitimui, paleidimui bei stabdymui).

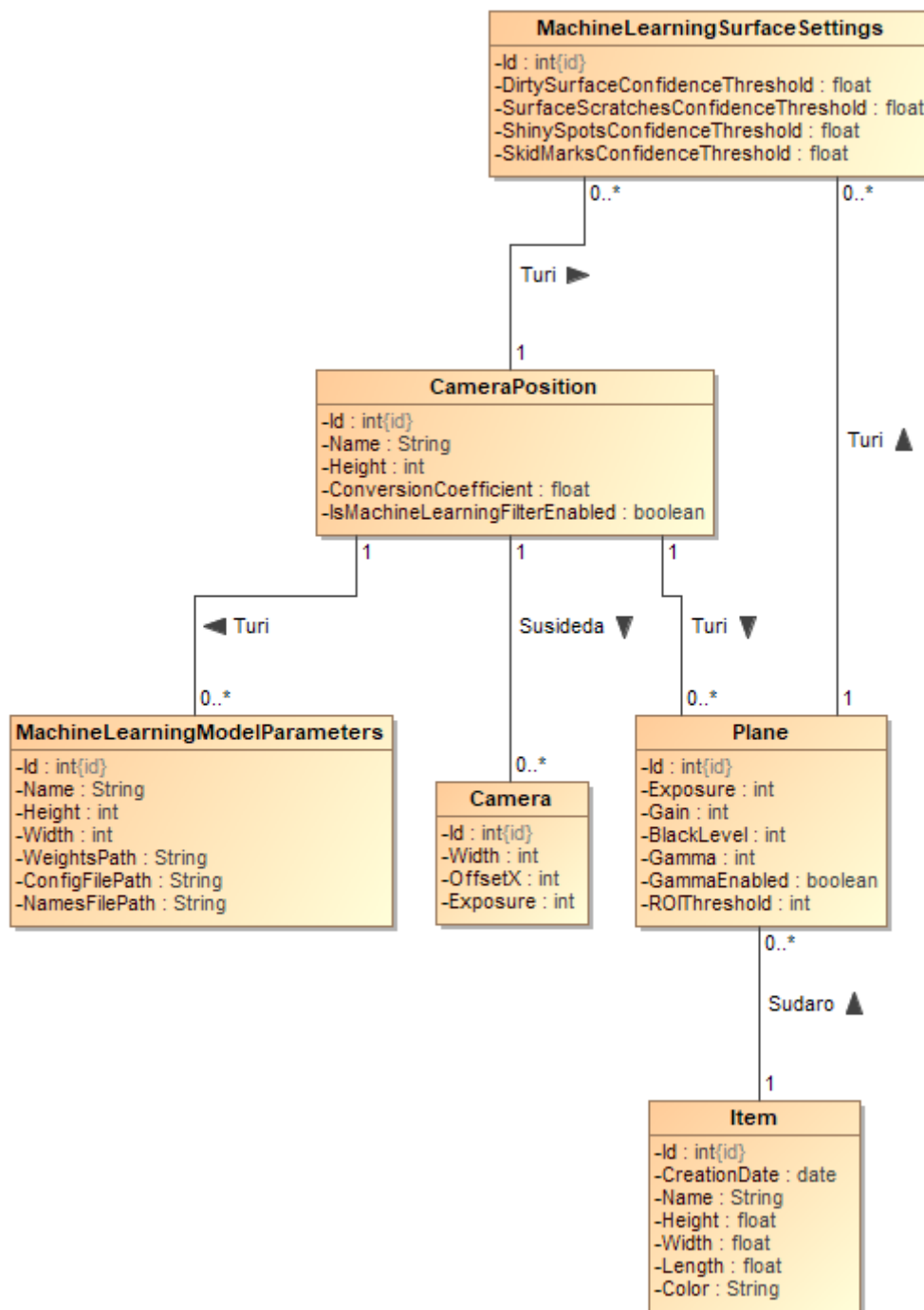
Sistema susideda iš šių artefaktų:

- Kokybės patikros sistemos (sistema kuri naudoja defektų aptikimo posistemę). Baldų detalių kokybės patikros sistema yra įgyvendinta kaip darbalaukio aplikacija, panaudojant .NET karkasą bei C# programavimo kalbą.
- MS SQL duomenų bazės.



5.21 pav. Išdėstymo diagrama

5.8. Duomenų vaizdas



5.22 pav. Esybių – ryšių diagrama

Šioje diagramoje pateikiamos esybės, kurios yra naudojamos baldų detalių kokybės sistemos paviršiaus defektų aptikimo posistemėje.

5.9. Kokybė

Baldų sistemos architektūra leidžia vykdyti skaitmeninių baldų detalių vaizdų analizę realiu laiku, todėl sistema užtikrina baldų detalių kokybę bei padidina gamybos efektyvumą. Sistemos architektūra

leidžia panaudoti skirtingas vaizdo kameras. Taip pat yra pilnai užtikrinamas vartotojo sąsają su PLV, todėl nėra naudojama atskira žmogaus – mašinos sąsaja (angl. Human-Machine interface), o visas industrinių procesų valdymas yra atliekamas sistemos pagalba.

Architektūrinis sprendimas analizuoti kiekvieną kadrą iškarto kai jis gaunamas leido efektyviai analizuoti net ir labai didelių gabaritų detalių paviršiaus defektus. Taip pat šis sprendimas leido sutaupyti lėšų aparatinės įrangos įsigijimui, kadangi analizė realiu laiku gali vykti naudojant ženkliai pigesnę vaizdo procesorių (GPU).

Naudojami talpyklos (angl. repository) šablonai leido puikiai atskirti verslo logikos bei duomenų prieigos sluoksnius, todėl sistema tapo lengviau prižiūrima. Veiksmams su duomenų baze buvo naudotas „Entity framework 6“ karkasas. Buvo pritaikymas „kodas pirmiausiai“ principas, todėl duomenų bazės migracijų pagalba galima nesudėtingai pridėti naujus duomenų bazės atributus ar redaguoti esamus.

Atskiras duomenų bazės serveris leido efektyviai išnaudoti baldų detalių patikros serverio resursus.

Galimybė pasirinkti mašininių modelių parametrus vartotojo sąsajoje leido ženkliai supaprastinti sistemos diegimą bei suteikė galimybę nesudėtingai panaudoti skirtingus mašininio mokymosi metodus baldų detalėms su skirtinga spalva bei įvairia tekstūra.

6. TESTAVIMO MEDŽIAGA

6.1. Testavimo planas

6.1.1. Įvadas

Šis testavimo planas yra skirtas baigiamojo magistrinio darbo sistemos testavimui. Baigiamojo magistrinio darbo tema yra susijusi su kompiuterinės regos ir mašininio mokymosi pritaikymo tyrimu pramoninės gamybos gaminių kokybės patikrai. Planuojama kurti sistemos dalį, kuri bus integruota į bendrą baldų patikros sistemą. Darbe planuojama įsigilinti į baldų detalių paviršiaus defektų aptikimą ir klasifikavimą.

Šiuo metu labai daug gamybos procesų yra automatizuojami, nemažoje dalyje stambesnių gamyklų yra diegiami robotizacijos sprendimai. Nors šios automatizuotos sistemos turi labai daug privalumų lyginant su žmonių darbu, tačiau jos turi ir keletą trūkumų. Automatizuotos sistemos dažnai yra labai sudėtingos ir susideda iš daugybės komponentų, todėl yra gana didelė tikimybė, kad tam tikras komponentas suges. Toks gedimas gali turėti labai rimtų padarinių – visi pagaminti produktai bus su defektais ir bus iššvaistyta dar daugiau žaliavų. Šios rimtos problemos galima išvengti panaudojant kompiuterinės regos sprendimus, kurie užtikrina gaminių kokybę bei stabdo gamybos procesą, jei tam tikras netinkamų produktų kiekis pagaminamas iš eilės. Vizualinės patikros privalumai pramoninėje gamyboje yra labai ženkliūs, nes produktų kiekiai yra labai dideli ir net nedidelis kokybės pagerinimas leidžia sutaupyti daug pinigų. Kompiuterine rega pagrįsti produktų patikros metodai yra plačiai ištirti ir naudojami pagerinti produktų kokybę bei sumažinti išlaidas. Beveik visada pramoninių gaminių kokybės patikra vyksta realiu laiku, todėl reikia ne tik analizuoti gautą iš nuotraukų vaizdą, bet ir užtikrinti, kad gaunamas vaizdas būtų kokybiškas ir tinkamas defektų aptikimui.

Vykdam projektus, kurie yra susiję su kompiuterine rega, neapsieinama be aparatūrinės įrangos. Beveik visų projektų įgyvendinimui reikia kamerų arba tam tikrų jutiklių. Programinės įrangos, kurioje yra naudojama aparatūrinė įranga kelia nemažai iššūkių, dažniausiai programinė įranga gali būti ištestuota tik specifinėse tam skirtose patalpose, tačiau panaudojus šiuolaikinius automatinius programinės įrangos testus nemažai funkcionalumo galima ištestuoti ir be įrangos, imituoiant gaunamą iš jutiklių arba naudojant jau išsaugotus skaitmeninius vaizdus. Didžioji dalis gamybos kokybės patikros sistemų turi sugebėti patikrinti gaminius realiu laiku, kadangi tai svarbu norint išlaikyti aukštą efektyvumą. Baldų detalių patikra išsiskiria tuo, kad gaminių matmenys yra gana dideli, tačiau reikia pastebėti pakankamai smulkius defektus. Baldų detalių patikrai dažnai naudojamos linijos nuskaitymo kameros, todėl gaunami labai didelės skiriamosios gebos vaizdai. Vykdam analizę realiu laiku labai svarbus skaitmeninių vaizdų apdorojimo algoritmų greitaveikos testavimas.

6.1.1.1. Testavimo tikslai ir objektai

Sistemos testavimo tikslas yra atskleisti kuo daugiau programos klaidų bei padaryti sistemos veikimą stabilesniu. Taip pat sistemos testavimas padeda sumažinti riziką, kad atliekant programos atnaujinimus ar pakeitimus atsiras klaidų, kurių anksčiau nebuvo. Testavimas taip pat leis sukurti aukštesnės kokybės sistemos versiją bei užtikrinti, kad atlikus atnaujinimus sistema ir toliau stabiliai veiks.

6.1.1.2. Testavimo apimtis ir tipai

Testavimo metu planuojama atlikti vienetų, integravimo, priėmimo, greitaveikos bei aukšto lygio testavimą. Kuriant vieneto testus bus užtikrinta, kad kiekvienas kuriamos sistemos dalies metodas bus padengiamas paduodant tinkamus bei netinkamus duomenis. Vykdam integravimo testavimą bus užtikrinama, kad sistemos klasės tinkamai sąveikauja viena su kita. Taip bus užtikrinama duomenų kontrolė. Priėmimo testavimas bus atliekamas vykdant standartinius sistemos naudotojo veiksmus. Vykdam aukšto lygio testavimą bus atliekamas sistemos testavimas su realiomis baldų detalėmis bei skaitmeninėmis vaizdo kameromis. Aukšto testavimo metu ypatingai bus skiriama dėmesio sistemos našumui bei greitaveikai. Vykdam greitaveikos testavimą bus tikrinamas algoritmų efektyvumas su didelės skaitmeninės skiriamosios gebos vaizdais. Greitaveikos testavimo metu bus testuojamas ir aparatūrinės kompiuterio įrangos našumas, kadangi taikant mašininio mokymosi algoritmus didelę įtaką greitaveiką turi grafinio procesoriaus skaičiavimų greitis.

6.1.1.3. Pagrindiniai apribojimai

Kadangi skaitmeninių vaizdų apdorojimas reikalauja gana daug resursų, todėl nuspręsta nustatyti minimalius testavimo aplinkos resursus. Taip pat baldų patikros sistema yra sukurta naudojant „C#“ programavimo kalbą bei „.NET framework“ karkasą, todėl mašininio mokymosi algoritmai turi veikti su „Windows“ operacine sistema.

Minimalūs testavimo aplinkos resursai:

- Windows 10 operacinė sistema;
- 16 GB operatyviosios atminties;
- 250 GB talpos SSD diskas;
- 8 branduolių procesorius;
- Grafinis procesorius:
 - Bent 11 GB „VRAM“;
 - Bent 14 „TFLOPs“ skaičiavimo resursų;
 - Bent 4000 „NVIDIA CUDA“ branduolių.

6.1.1.4. Nuorodos

55 lentelė. Nuorodos

Dokumentas	Data	Dokumento autorius
Projekto planas	2019-12-20	Algirdas Kartavičius
Reikalavimų specifikacija	2020-04-10	Algirdas Kartavičius
Architektūros specifikacija	2020-05-15	Algirdas Kartavičius

6.1.1.5. Dokumento struktūra

Šį testavimo planą sudaro trys dalys: įvadas, testavimo planas ir testavimo procedūros. Įvade pateikiama informacijos apie testuojamos sistemos veikimą bei nurodomi testavimo tikslai, testavimo apimtis ir apribojimai. Testavimo plane pateikiama testavimo strategija, ištekliai ir laukiami rezultatai. Paskutinėje dalyje apibūdinama būsima testavimo procedūra ir jos laukiami rezultatai.

6.1.2. Testavimo planas

Pateikiama informacija sistemos testavimą bei jos testavimo planas.

6.1.2.1. Testuojama programų sistema

Kuriama sistemos dalis bus naudojama pramoninės gamybos gaminių paviršiaus defektų identifikacija bei tinkamos gaminių kokybės užtikrinimas pasitelkiant gaminio nuotrauką bei mašininio mokymosi algoritmus. Darbe planuojama įsigilinti į baldų detalių kokybės įvertinimą, kadangi baldų gamyba bene stambiausia Lietuvos pramonės sritis. Gaminių kokybės patikra yra svarbi, kadangi leidžia greičiau identifikuoti iškilusias problemas, sumažinti gamybos išlaidas, eliminuoti brangias klaidas. Taip pat automatizuota patikra leidžia objektyviai įvertinti gaminio kokybę ir išvengti žmogiškųjų klaidų. Svarbiausia darbo dalis – mašininio mokymosi algoritmų, kurie labiausiai tinkami defektų identifikacijai, tyrimas. Sistema turi pakankamai sparčiai identifikuoti detalės kokybę, kadangi šis procesas vyksta realiu laiku.

Sistemos tikslai:

1. **Užtikrinti optimizuotą gamybos procesą.** Optimizuota gamyba labai svarbu, kadangi net menki nuostoliai stipriai atsiliepia bendram rezultatui.
2. **Padėti atsekti defektų kilmę.** Norint greitai išspręsti problemą dėl kurios atsiranda defektai reikia žinoti kas sukelia defektus, todėl svarbu klasifikuoti defektus. Šis klasifikavimas leis greičiau panaikinti defektų šaltinį.
3. **Padidinti gamybos efektyvumą.** Įdiegus sistemą mažiau žmonių dirbs prie detalių rūšiavimo, kadangi nebereikės rūšiuoti visų detalių, o tik užteks patikrinti detales su defektais, todėl bus galima pasiekti tą patį efektyvumą su mažiau darbuotojų arba padidinti su esamu darbuotojų skaičiumi.

6.1.2.1.1. Sąsajos

Testuojamą naudotojo sąsają sudarys pagrindinis langas, kuriame bus atvaizduojamos baldų detalės su pažymėtais defektais.

6.1.2.2. Testavimo strategija

Testavimas bus atliekamas norint užtikrinti stabilų sistemos veikimą bei išvengti sistemos klaidų atliekant sistemos funkcijų atnaujinimą.

6.1.2.2.1. Vienetų testavimas

Vienetų testai bus kuriami sistemos klasėms bei jų metodams. Vienetų testai vykdomi paduodant tam tikrus duomenis į metodus. Į metodus bus paduodami tinkami bei netinkami duomenys. Bus tikrinama ar metodų grąžinami rezultatai sutampa su vertėmis, kurių yra tikimasi. Vienetų testavimą planuojama atlikti programavimo metu, kadangi planuojama taikyti „TDD“ principą.

6.1.2.2.2. Integravimo testavimas

Sukūrus vienetų testus, pašalinus kritines klaidas bei įsitikinus, kad visi metodai grąžina tinkamus rezultatus bus kuriami integravimo testai. Planuojama naudoti daugiasluksnį testavimo principą („bottom-up“ ir „top-down“ testavimo principų kombinacija). Integravimo testavimo metu bus

patikrinama sąveika tarp skirtingų sistemos komponentų ir bus patikrinama ar bendras komponentų sąveikos rezultatas yra toks kokio yra tikimasi.

6.1.2.2.3. Priėmimo testavimas

Priėmimo testavimo metu bus atliekami pagrindiniai sistemos naudotojo žingsniai. Testavimo metu bus peržiūrimas pagrindinis sistemos funkcionalumas bei patikrinama ar šis funkcionalumas atitinka sistemos užsakovo poreikius. Radus neatitikimų specifikacijoje arba sistemos veikime šie neatitikimai bus taisomi.

6.1.2.2.4. Aukšto lygio testavimas

Aukšto lygio testavimas bus atliekamas prie realaus testavimo stendo, kurį sudaro kompiuteris su našiu grafiniu procesoriumi, ritininis konvejeris, kuris skirtas baldų detalių tolygiam transportavimui, vaizdo kameros, programuojamas loginis valdiklis bei kita aparatūrinė įranga.

6.1.2.3. Testavimo ištekliai

Bus naudojami šie ištekliai:

- Vaizdo kamera;
- Kompiuteris su grafiniu procesoriumi;
- Žmogiškieji ištekliai – programuotojas;
- Baldų detalės;
-

6.1.2.4. Testavimo rezultatai

Testavimo rezultatai bus kaupiami tekstiniuose failuose bei nuotraukose.

6.1.2.5. Testavimo įrankiai ir aplinka

Planuojama naudoti integruotą programavimo aplinką „Visual studio 2019“. Testų vykdymui nuspręsta panaudoti integruotos programavimo aplinkos įskiepi „Resharper“. Patys testai bus kuriami panaudojus atvirojo kodo testavimo karkasą „xUnit“.

6.1.2.6. Testavimo tvarkaraštis

56 lentelė Testavimo tvarkaraštis

Testavimo užduotis	Pradžia	Galutinis terminas
Testavimo planas	2020-09-10	2020-10-01
Vienetų testavimas	2020-09-15	2020-11-25
Integravimo testavimas	2020-09-30	2020-12-20
Priėmimo testavimas	2020-10-01	2020-12-10
Aukšto lygio testavimas	2020-10-10	2020-12-15
Galutinis sistemos priėmimo testavimas	2020-12-20	2020-12-23

6.1.3. Testavimo procedūra

Šiame skyriuje pateikiama sistemos testavimo procedūra.

6.1.3.1. Testuojama programų sistema

Testuojama baldų detalių paviršių patikros sistemos dalis;

6.1.3.2. Testavimo procedūros

Pateikiama informacija apie sistemos testavimo eigą, metodiką, įvestis bei rezultatus, kurių tikimasi.

6.1.3.2.1. Vienetų testavimas

Žemiau pateikiami vienetų testų atvejai, kurias planuojama testuoti pagrindinius defektų aptikimo metodus.

57 lentelė Klasės „MachineLearningDefectDetection“ metodo „AnalyzePartOfImage“ testavimo atvejai

Testas	Rezultatas
Vykdomas „AnalyzePartOfImage“ metodas kai parametras „img“ yra inicializuotas bet neturi jokios informacijos (nėra vaizdo informacijos).	Metodas sustoja ties vaizdo informacijos tikrinimu, grąžinama tuščias aptiktų defektų sąrašas.
Vykdomas „AnalyzePartOfImage“ metodas kai parametras „img“ yra „null“.	Metodas sustoja ties vaizdo informacijos tikrinimu, grąžinama tuščias aptiktų defektų sąrašas.
Vykdomas „AnalyzePartOfImage“ metodas kai parametras „img“ yra tinkamai inicializuotas bei užpildytas vaizdo informacija.	Metodas sėkmingai įvykdomas, grąžinamas sąrašas su aptiktais defektais.

58 lentelė Klasės „MachineLearningDefectDetection“ metodo „MatToBytes“ testavimo atvejai

Testas	Rezultatas
Vykdomas „MatToBytes“ metodas kai parametras „img“ yra inicializuotas bet neturi jokios informacijos (nėra vaizdo informacijos).	Metodas sustoja ties vaizdo informacijos tikrinimu, grąžinama „null“ reikšmė.
Vykdomas „MatToBytes“ metodas kai parametras „img“ yra „null“.	Metodas sustoja ties vaizdo informacijos tikrinimu, grąžinama „null“ reikšmė.
Vykdomas „MatToBytes“ metodas kai parametras „img“ yra tinkamai inicializuotas bei užpildytas vaizdo informacija.	Metodas sėkmingai įvykdomas grąžinama vaizdo informacija paversta į baitų masyvą.

59 lentelė Klasės „MachineLearningDefectDetection“ metodo „DrawRectangles“ testavimo atvejai

Testas	Rezultatas
--------	------------

Vykdomas „DrawRectangles“ metodas kai parametras „img“ yra inicializuotas bet neturi jokios informacijos (nėra vaizdo informacijos).	Metodas sustoja ties vaizdo informacijos tikrinimu, grąžinama „null“ reikšmė.
Vykdomas „DrawRectangles“ metodas kai parametras „img“ yra „null“.	Metodas sustoja ties vaizdo informacijos tikrinimu, grąžinama „null“ reikšmė.
Vykdomas „DrawRectangles“ metodas kai parametras „img“ yra tinkamai inicializuotas bei užpildytas vaizdo informacija, vaizdas yra trijų kanalų (spalvotas).	Metodas sėkmingai įvykdomas, grąžinama vaizdas su pažymėtais defektais.
Vykdomas „DrawRectangles“ metodas kai parametras „img“ yra tinkamai inicializuotas bei užpildytas vaizdo informacija, vaizdas yra vieno kanalo (n spalvotas).	Vaizdas paverčiamas į trijų kanalų, metodas sėkmingai įvykdomas, grąžinama vaizdas su pažymėtais defektais.

60 lentelė Klasės „MachineLearningDefectDetection“ metodo „AnalyzeImage“ testavimo atvejai

Testas	Rezultatas
Vykdomas „AnalyzeImage“ metodas kai parametras „img“ yra inicializuotas bet neturi jokios informacijos (nėra vaizdo informacijos).	Metodas sustoja ties vaizdo informacijos tikrinimu, grąžinama tuščias aptiktų defektų sąrašas.
Vykdomas „AnalyzeImage“ metodas kai parametras „img“ yra „null“.	Metodas sustoja ties vaizdo informacijos tikrinimu, grąžinama tuščias aptiktų defektų sąrašas.
Vykdomas „AnalyzeImage“ metodas kai parametras „img“ yra tinkamai inicializuotas bei užpildytas vaizdo informacija.	Metodas sėkmingai įvykdomas, grąžinamas sąrašas su aptiktais defektais.

61 lentelė Klasės „MachineLearningDefectDetection“ metodo „AnalyzeImageFromFile“ testavimo atvejai

Testas	Rezultatas
Vykdomas „AnalyzeImageFromFile“ metodas kai parametras „filename“ yra neegzistuojantis failas	Metodas sustoja ties failo egzistavimo tikrinimu, grąžinama tuščias aptiktų defektų sąrašas.
Vykdomas „AnalyzeImageFromFile“ metodas kai parametras „filename“ yra egzistuojantis failas	Metodas sėkmingai įvykdomas, grąžinamas sąrašas su aptiktais defektais.

6.1.3.2.2. Integravimo testavimas

Atlikus vienetų testavimą ir įsitikinus, kad pagrindinės sistemos dalys neturi kritinių klaidų bus pradedamas integravimo testavimas. Pasirinktas daugiasluoksnio testavimo metodas, kadangi kiti metodai pasirodė mažiau efektyvūs. Naudojant „bottom-up“ arba „top-down“ testavimo metodus tam tikrų sistemos dalių integravimo testavimas pradedamas tik labai vėlai. Pasirinkto testavimo metodo principas yra pradėti testavimą viduriniame sluoksnyje ir tuo pačiu testuoti žemesnį bei aukštesnį sluoksnius. Šis metodas reikalauja daugiau resursų bei žinių tačiau leidžia pasiekti didesnę patikimumą.

6.1.3.2.3. Priėmimo testavimas

Priėmimo testavimo metu sistemos naudotojai tikrins ar sistema atitinka reikalavimų specifikaciją bei tinkamai atlieka visas funkcijas. Priėmimo testavimo metu bus įvertinama ir grafinės naudotojo sąsajos funkcionalumas bei aiškumas.

6.1.3.2.4. Aukšto lygio testavimas

Aukšto lygio testavimo metu sistema bus testuojama su realiais baldų detalių pavyzdžiais. Bus bandoma su įvairių matmenų baldų detalėmis, kadangi pagal detalių dydį priklauso apdorojamos skaitmeninių vaizdų informacijos kiekis. Baldų detalių defektų aptikimo algoritmas bus testuojamas su įvairiai grafiniais procesoriais, kurie yra prieinami pasinaudojus „Google cloud“ debesų paslauga. Testavimas su skirtingais grafiniais procesoriais yra svarbu, kadangi padeda nuspręsti kiek resursų reikia norint taikyti mašininio mokymosi algoritmus defektų aptikimui realiu laiku. Įsitikinus, kad mašininio mokymosi algoritmai yra pakankamai efektyvūs bus testuojama pasinaudojant testavimo stendu, kuris imituoja baldų gamyklos sąlygas. Baldų detalės bus transportuojamos konvejeriu, iš skaitmeninių vaizdo kamerų gaunamas vaizdas bus apdorojamas testavimo stendo kompiuteryje.

6.1.3.3. Testavimo išteklių paskirstymas

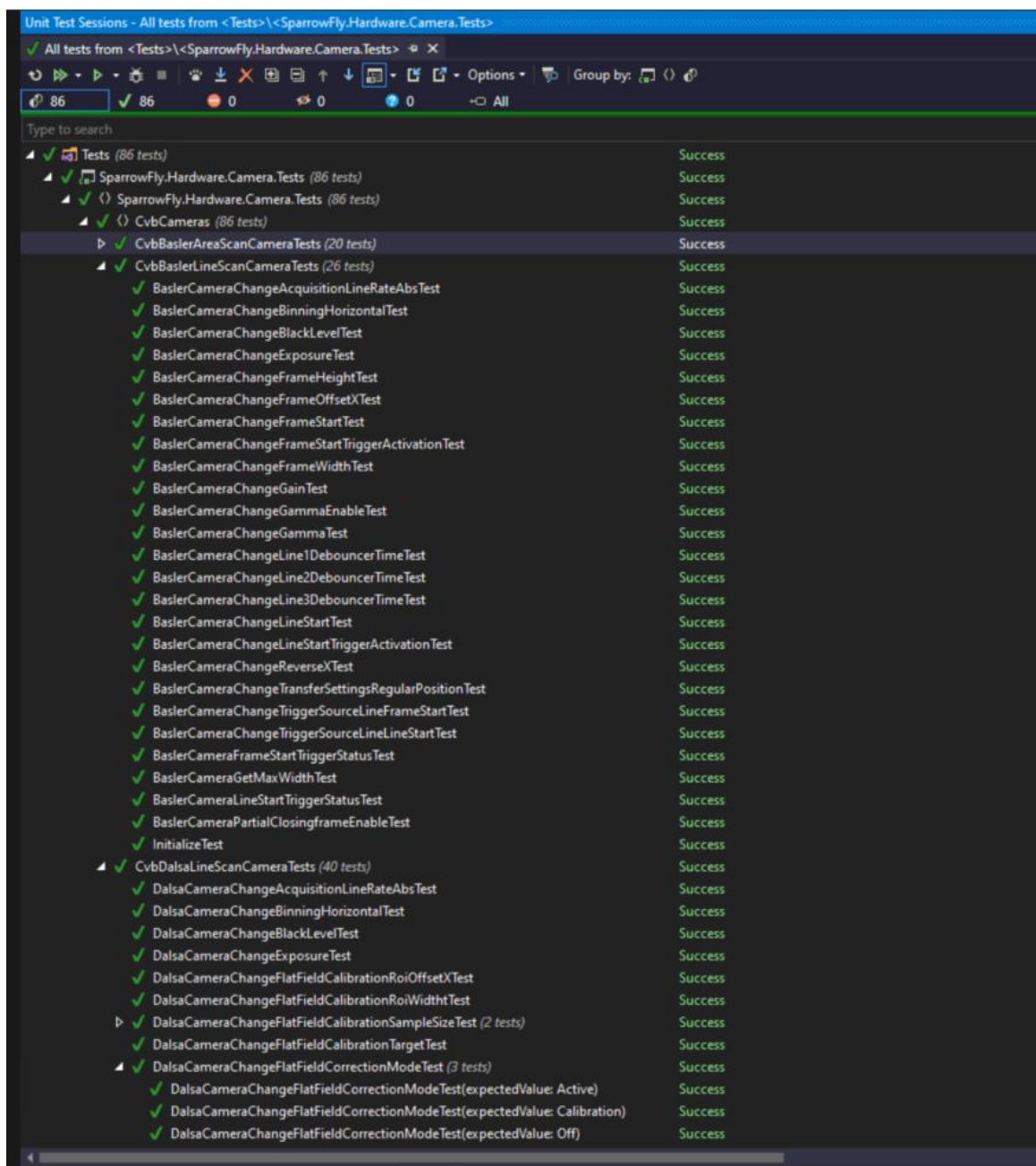
Testavimui bus naudojamas našus kompiuterius su grafiniu procesoriumi, kurio specifikacijos pateikiamos pagrindinių apribojimų skyriuje.

6.1.3.4. Testavimo rezultatų kaupimas

Testavimo rezultatai bus kaupiami tekstiniuose failuose bei nuotraukose.

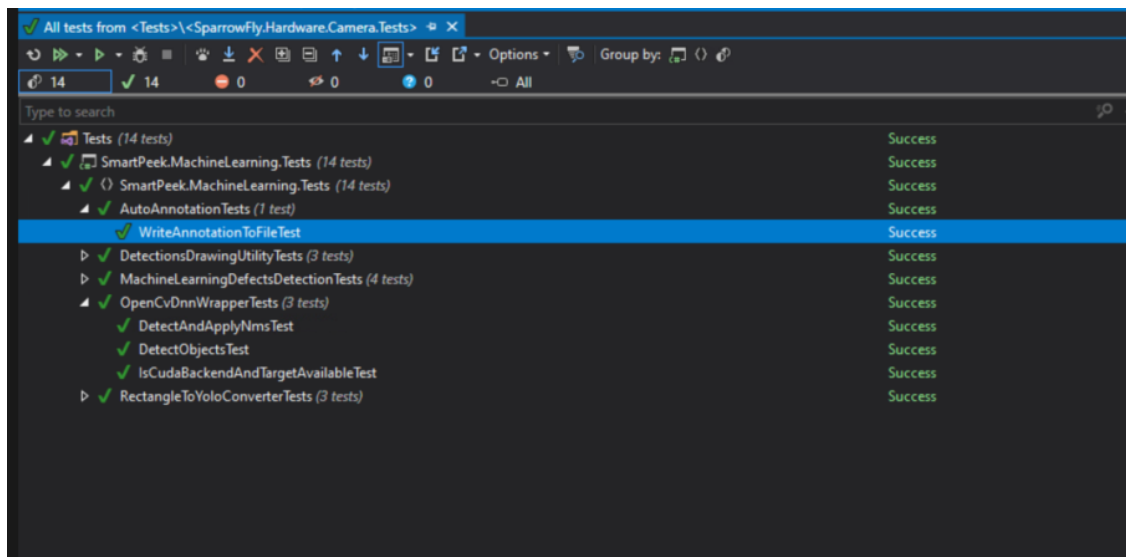
6.2. Testavimo rezultatai ir išvados

Testavimas buvo atliekamas pagal testavimo planą. Buvo atliekamas vienetų, integravimo, priėmimo bei aukšto lygio testavimas. Vienetų testavimo metu daugiausiai dėmesio buvo skirta kameros parametrų nustatymui. Buvo testuojami visi trys sistemoje naudojami kamerų tipai. Kamerų parametrų testavimui buvo sukurti 86 vienetų testai (**6.1 pav.**). Daugiausiai vienetų testų buvo sukurta „CvbDalsaLineScanCamera“ klasei, kadangi „Teledyne dalsa“ gamintojo linijos nuskaitymo kamera turi daugiausiai funkcionalumo bei turi daugiausiai parametrų, kurių pagalba galima gauti kokybiškesnį vaizdą. Taip pat buvo testuojamos „CvbBaslerLineScanCamera“ ir „CvbBaslerAreaScanCamera“ klasės. Šiose klasėse yra įgyvendinta sąveika su plačiai žinomo „Basler“ gamintojo linijos nuskaitymo ir pilno kadro nuskaitymo kameromis.



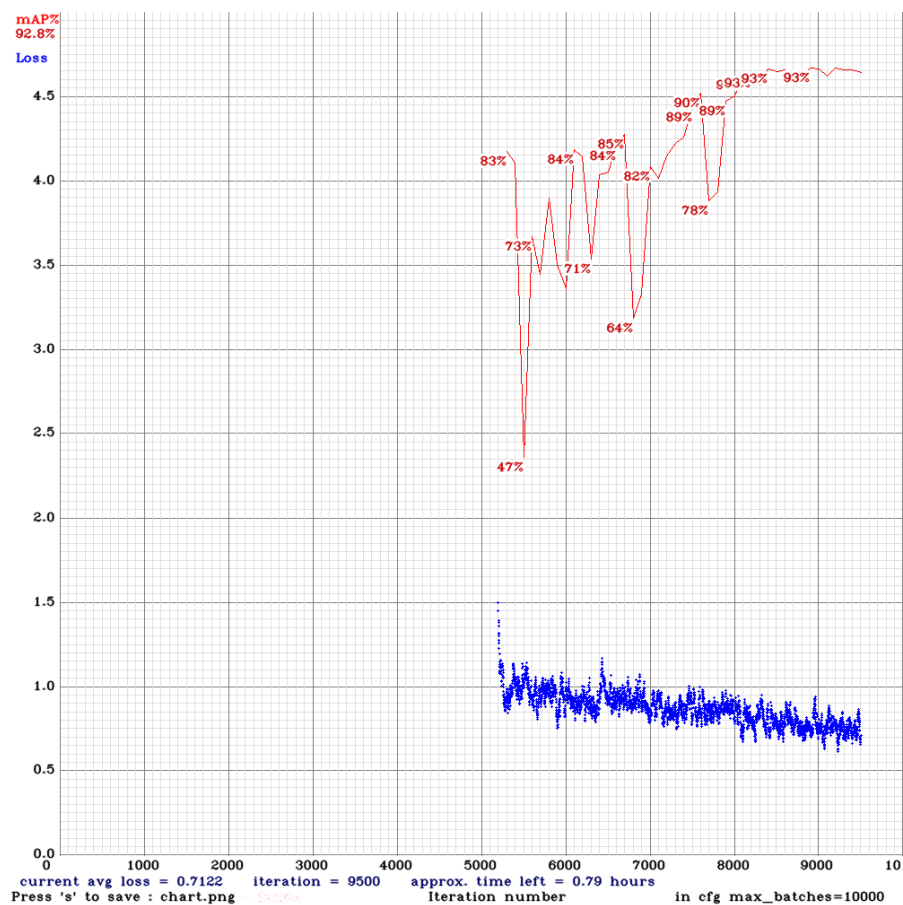
6.1 pav. Kamerų parametrų keitimo vienetų testai

Integravimo testavimo metu daugiausiai dėmesio buvo skirta objektų aptikimo metodų integravimui į baldų detalių kokybės patikros sistemą. Objektų aptikimo funkcionalumui ištestuoti buvo parašyta 10 integravimo bei 4 vienetų testai (6.2 pav.). Buvo testuotas objektų aptikimas, defektų piešimas, koordinatų konvertavimo bei automatinio anotavimo funkcijos.



6.2 pav. Objekto aptikimo modelio testavimo vienetų ir integravimo testai

Priėmimo testavimo metu buvo ištestuos pagrindinės baldų sistemos paviršių patikros dalies funkcijos. Buvo išbandyta vaizdo gavimas praleidus baldų detalę konvejeriu bei defektų aptikimas realiu laiku. Sistema atitiko visus specifikacijos reikalavimus. Priėmimo testavimo metu buvo įvertintas ir objektų aptikimo metodų tikslumas su validavimo duomenų rinkiniu. Sistema pasiekė 93 proc. tikslumą, todėl atitiko reikalavimus, kadangi sistemos tikslumas buvo didesnis nei užsakovo keliama reikalavimai (92 proc.).



6.3 pav. Objektų aptikimo modelio tikslumas

Aukšto lygio testavimas buvo vykdomas dviem etapais. Pirmiausiai buvo testuojama objektų aptikimo metodo greitaveika su didžiausios rezoliucijos nuotraukomis. Testavimui buvo naudojami „Google colab“ prieinami grafiniai vaizdo procesoriai. Testavimas buvo atliktas su šiais grafiniais vaizdo procesoriais:

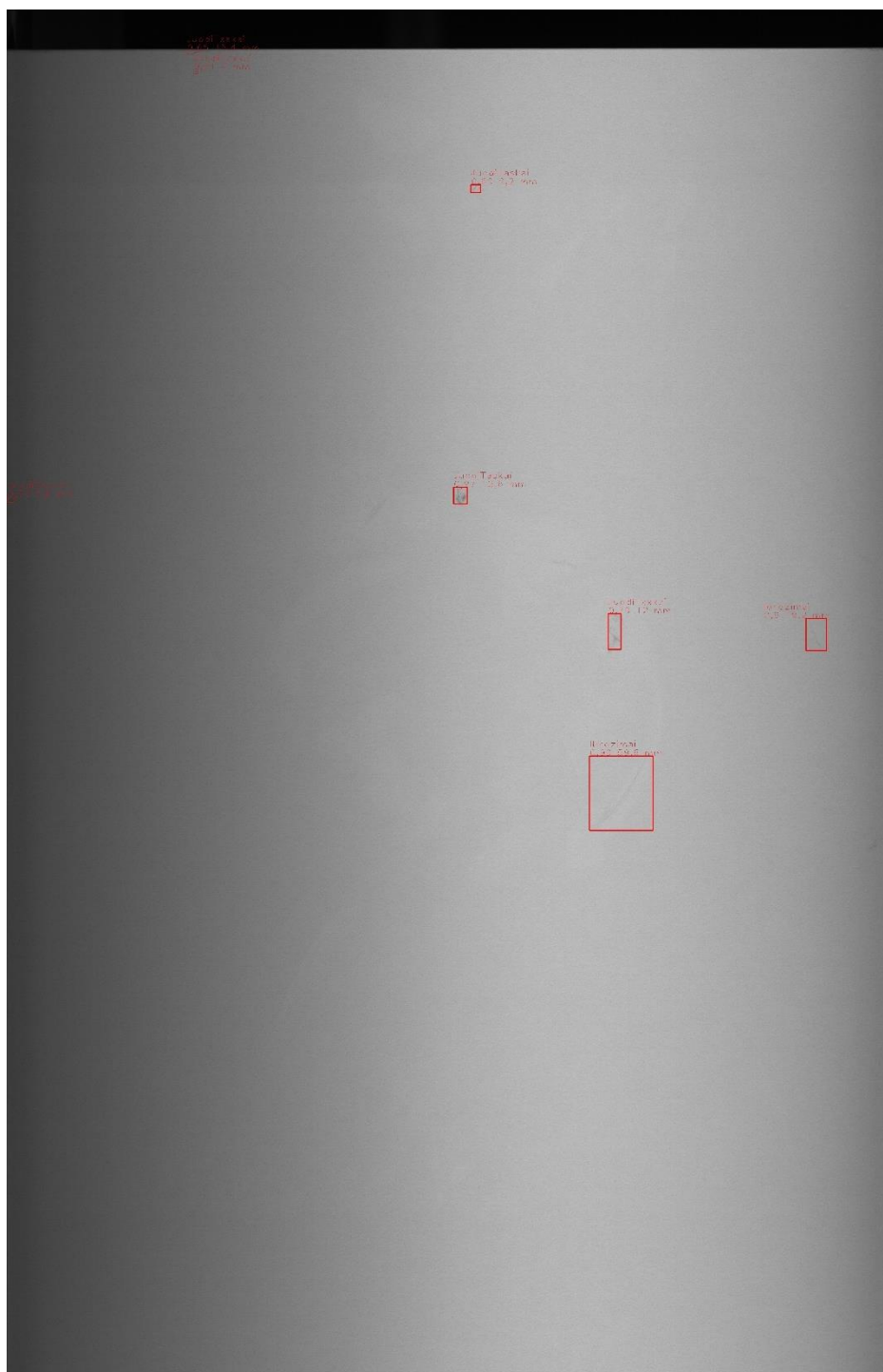
1. „Nvidia K80“;
2. „Nvidia T4“;
3. „Nvidia P4“;
4. „Nvidia P100“.

Atlikus testavimą su anksčiau minėtais grafiniais vaizdo procesoriais buvo nustatyta, kad tik „Nvidia P100“ tenkino keliamus objektų aptikimo greitaveikos reikalavimus, tačiau dėl didelės kainos buvo nuspręsta paieškoti alternatyvų šiam procesoriui. Buvo atliktas vaizdo procesorių rinkos tyrimas ir nustatyta, kad neseniai gamintojas „Nvidia“ išleido naujos kartos grafinius vaizdo procesorius „GeForce RTX 3090“. Šie procesoriai pasižymi dideliu našumu, tačiau yra pigesni, kadangi pagrindiniai šių procesorių naudotojai yra kompiuterinių žaidimų žaidėjai. Įvertinus šio procesoriaus našumą buvo nustatyta, kad jis puikiai tiks objektų aptikimui bei tenkins greitaveikos rezultatus. Šis procesorius ir buvo įsigytas bei naudojamas testavimo stende.

Atlikus pirmą aukšto lygio testavimo etapą buvo pereita prie antrojo. Antrojo etapo metu buvo testuojamas baldų detalių paviršiaus defektų aptikimas imituojant realias sistemos veikimo sąlygas. Sistemos veikimo sąlygų imitavimui buvo naudojamas testavimo stendas, kurį sudaro šie komponentai:

1. Konvejeris;
2. Linijos nuskaitymo kamera;
3. Šviestuvas;
4. Kompiuteris su grafiniu vaizdo procesoriumi;
5. Programuojamas loginis valdiklis;
6. Konvejerio valdymo komponentai.

Testavimo metu konvejeriu buvo leidžiamos įvairių matmenų detalės su defektais ir be defektų. Iš viso buvo praleista 50 detalių, iš kurių 1 buvo klaidingai identifikuota – buvo identifikuotas defektas ten kur jo nėra, todėl galima laikyti, kad sistema dirba patikimai. Defektų aptikimas ten kur jų nėra (angl. false positive) šiuo atveju yra geriau nei neaptikti defektų, kadangi visos išbrokuotos detalės bus vėliau peržiūrimos už detalių rūšiavimą atsakingų žmonių (šiuo metu šie žmonės peržiūri kiekvieną detalę). Nemaža dalis defektų buvo gana smulkūs, detalės su defektais (**6.4 pav.**) pavyzdys pateikiamas nuotraukoje.



6.4 pav. Testavimo metu aptiktų defektų pavyzdys

7. VARTOTOJO DOKUMENTACIJA

7.1. Sistemos funkcinis aprašymas

7.1.1. Apie sistemą

Defektų aptikimas yra labai svarbus pramoninės gamybos etapas, kadangi jis leidžia padidinti gamybos efektyvumą ir sumažinti neįdomaus, rankinio darbo kiekį. Automatinės defektų aptikimo sistemos leidžia padidinti gamybos patikimumą, saugumą, pagerinti gaminių kokybę, sumažinti žaliavų švaistymą bei padidinti pelningumą. Taip pat automatizacija leidžia palengvinti žmonių darbą. Dažniausiai žmonės nemėgsta pasikartojančių, neįdomių užduočių. Pramoninės gamyklos dažniausiai dirba keliomis pamainomis, todėl žmonėms dažnai tenka dirbti naktį. Varginantis bei naktinis darbas sumažina žmonių darbo efektyvumą, todėl padidėja klaidų tikimybė. Šios klaidos dažnai lemia medžiagų sugadinimą ar net naudojimui netinkamą galutinį produktą.

Sistema naudoja kompiuterinės regos ir mašininio mokymosi technologijas paviršiaus defektų aptikimui. Iš kamerų gautas vaizdas yra apdorojimas panaudojant našius grafinius procesorius. Defektų aptikimas vyksta realiu laiku (dažniausiai užtrunka nuo 0,5s iki 1s), todėl apie netinkamą gamybą yra informuojama iškart. Šioje dokumentacijoje bus skiriamas dėmesys paviršiaus defektų aptikimui bei vaizdo kamerų parametrų aprašymui, kadangi šie moduliai yra integruoti į bendrą pramoninių gaminių sistemą.

7.1.2. Pagrindinės funkcijos

Sistemos dalis turi šias funkcijas:

1. Vartotojo funkcijos:
 - a. Pradėti analizę;
 - b. Vykdyti defektų aptikimą etalono vaizde;
 - c. Nustatyti defektų tolerancijos ribas;
 - d. Keisti kameros parametrus;
2. Sistemos funkcijos (dalies šių funkcijų rezultatas matomas vartotojui):
 - a. Pažymėti defektus;
 - b. Nustatyti detalės kokybės verdiktą
 - c. Gauti kameros vaizdą;
 - d. Aptikti defektus;
 - e. Sujungti visus kadrų defektus;
 - f. Klasifikuoti defektus.

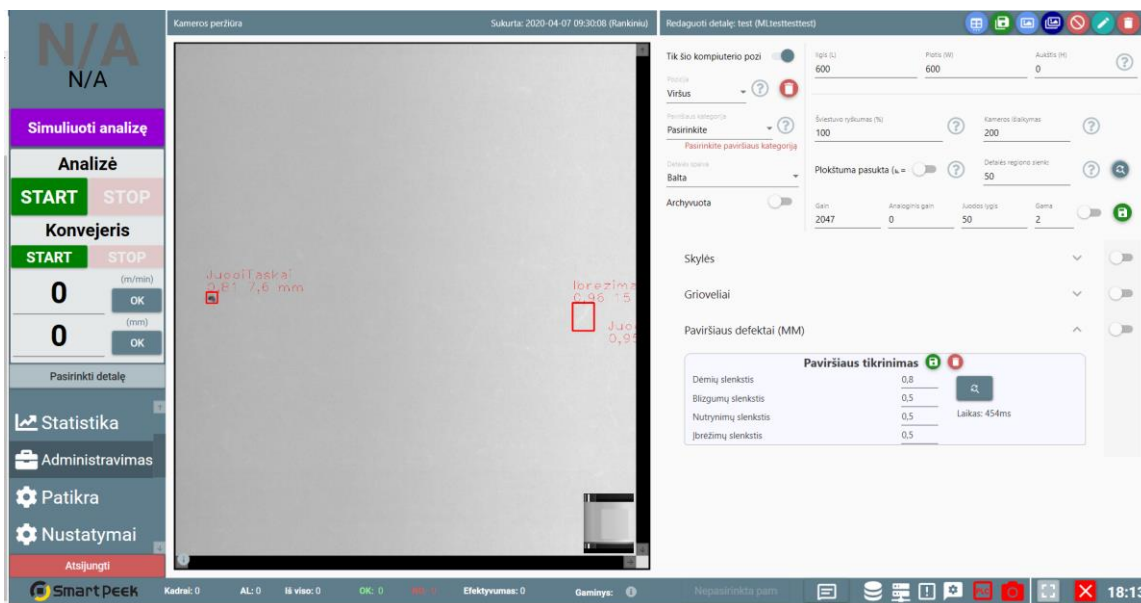
7.2. VARTOTOJO ATMINTINĖ

Šiame skyriuje pateikiami pagrindiniai naudotojo veiksmai.

7.2.1. Defektų aptikimas etalono vaizde ir defektų tolerancijos ribų keitimas

Norint išbandyti paviršiaus defektų aptikimą bei suderinti defektų tolerancijos slenkstines vertes galima atlikti defektų aptikimą pavyzdiniame vaizde. Defektų aptikimas vykdomas paspaudus paieškos mygtuką (**7.1 pav.**) prie kortelės „Paviršiaus tikrinimas“. Paspaudus šį mygtuką vaizde yra apibrėžiami aptikti defektai. Parašoma informacija apie kiekvieną defektą: defekto tipas, defekto dydis bei įvertis, kuris nurodo tikimybę, kad ten tikrai toks defektas. Aptiktų defektų kiekis priklauso

nuo kiekvieno defekto įvestos slenkstinės vertės. Norint aptikti defektus su mažesne tikimybe reikėtų sumažinti slenkstines vertes (optimali reikšmė yra apie 0,5), o norint aptikti tik defektus, kurie turi didelį įvertį reikėtų šią vertę padidinti (0,9 – 0,95 intervalas). Pakeitus slenkstines reikšmes vėl atliekama analizė su pavyzdiniu vaizdu. Paviršiaus tikrinimo kortelėje taip pat matoma ir viso vaizdo analizės trukmė. Suderinus optimalias slenkstines reikšmes galima jas išsaugoti, šios reikšmės bus naudojamos vykdant kiekvienos detalės analizę.



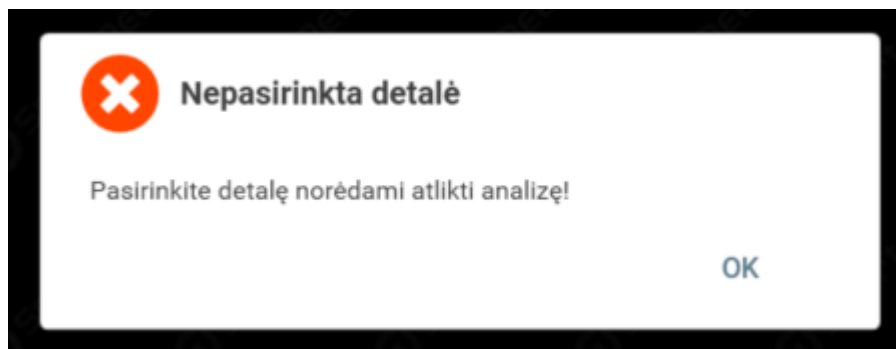
7.1 pav. Defektų aptikimas pavyzdiniame vaizde.

7.2.2. Analizės pradėjimas

Analizė pradedama paspaudžiant „START“ mygtuką pagrindiniame meniu (7.2 pav.), kuris yra puslapio kairėje. Norint pradėti analizę reikia pasirinkti detalę, kadangi kitu atveju gaunamas klaidos pranešimas (7.3 pav.7.5 pav.).



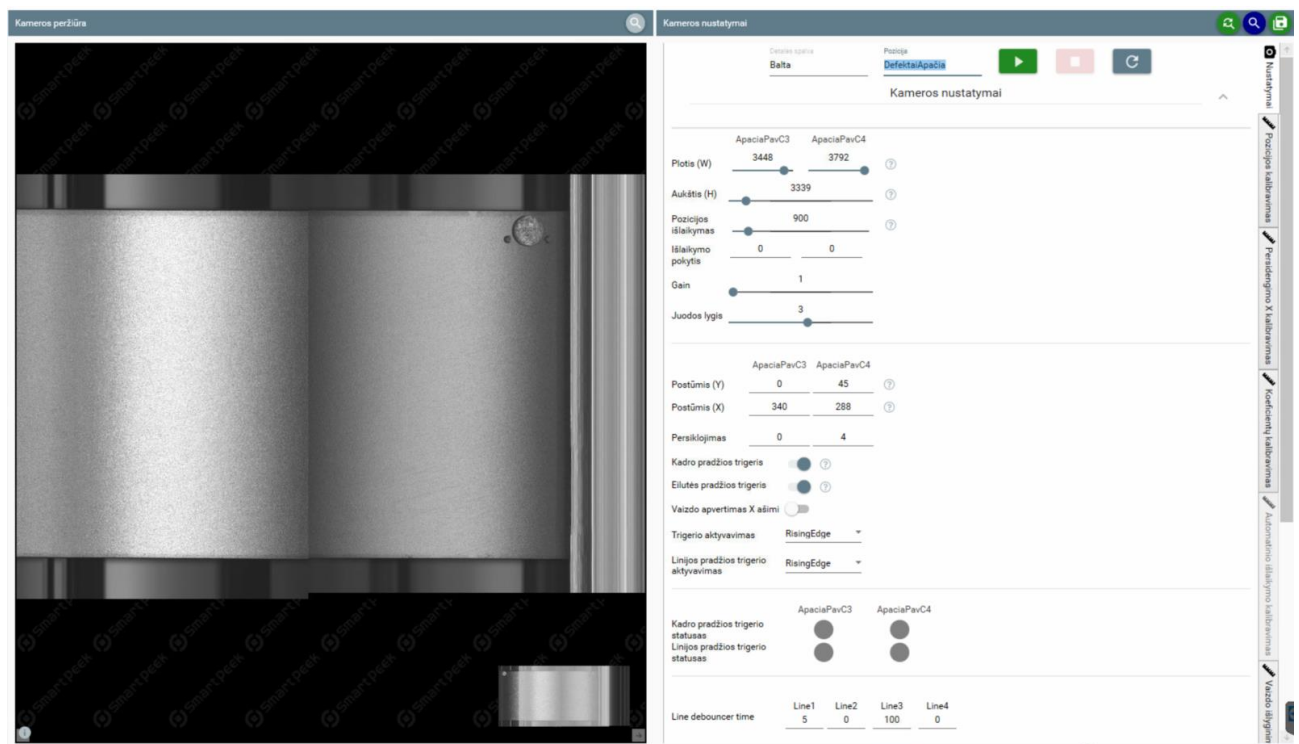
7.2 pav. Analizės paleidimo mygtukas.



7.3 pav. Informacija apie bandymą paleisti analizę, kai nepasirinkta detalė.

7.2.3. Kameros parametrų keitimas

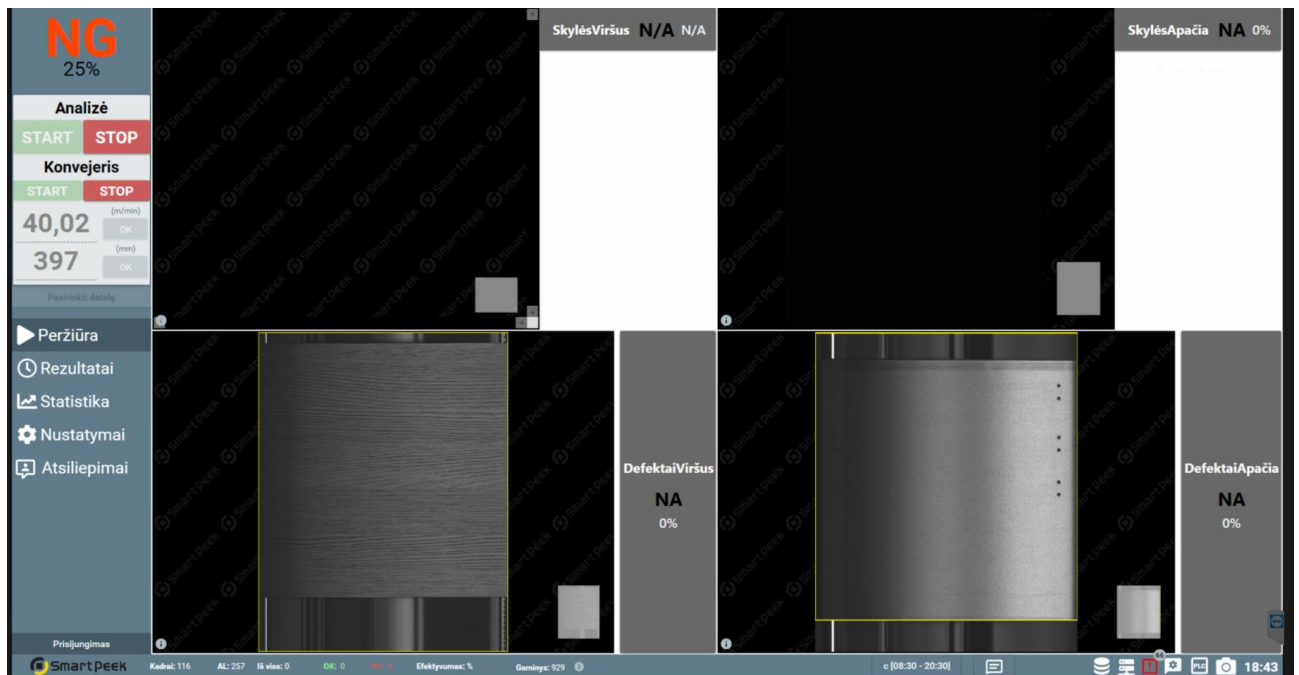
Norint aptikti defektus yra labai svarbu gauti kokybišką vaizdą, kadangi nuo priklauso ar defektai bus matomi, ar bus nematomi. Defektai dažniausiai sudaro tam tikrą kontrastą su visu paviršiumi, todėl keičiant kameros parametrus galima surasti reikšmes su kuriomis defektas yra geriausiai matomas. Šiame lange (**7.4 pav.**) matomi pagrindiniai parametrai, kurių pagalba galima keisti gaunamo vaizdo kontrastą. Taip pat šiame lange keičiami parametrai leidžia nurodyti vaizdo plotį ir aukštį (šie parametrai priklauso nuo gaminamos detalės matmenų). Šis langas yra skirtas optimalių sistemos parametrų radimui bei sistemos derinimui, analizės metu parametrai įrašomi automatiškai pagal tam tikrai detalės tekstūrai suderintas reikšmes.



7.4 pav. Kameros parametrų keitimas.

7.2.4. Sistemos funkcijos

Nemaža dalis funkcijų atliekamos automatiškai ir naudotojas tik mano šių veiksmų rezultatą. Vykdyt kiekvienos detalės analizę kiekvieno paviršiaus vaizdas yra atvaizduojamas pagrindiniame lange (**7.5 pav.**). Išanalizuotame vaizde yra pavaizduojami defektai, jų tipas bei kiekvieno paviršiaus verdiktas. Gavus visus detalės vaizdus pagrindinio lango kairiajame viršutiniame kampe yra nurodomas bendras detalės verdiktas.



7.5 pav. Analizės peržiūros langas

7.3. DETALIOJI SISTEMOS ATMINTINĖ

Sistemos dalis susideda iš šių funkcijų, kurių pagalba atliekami pagrindiniai veiksmai.

1. **Pradėti analizę** – pradėjus analizę yra analizuojama kiekviena konvejeriu važiuojanti detalė.
2. **Vykdyti defektų aptikimą etalono vaizde** – defektų aptikimas pavyzdiniame vaizde, kurio pagalba galima suderinti slenkstines defektų vertes bei numatyti analizės trukmę.
3. **Nustatyti defektų tolerancijos ribas** – defektų tolerancijos ribos leidžia padidinti arba sumažinti defektų aptikimo jautrumą (aptinkami defektai, kurie tikrai yra arba aptinkami tik defektai, kurių nėra labai aiškūs). Reikia surasti optimalias reikšmes, kad nebūtų išbrokuojama per daug detalių, bei nebūtų praleidžiamos detalės su defektais.
4. **Keisti kameros parametrus** – kamerų parametrų keitimas yra reikalingas norint gauti kokybišką ir tinkamą vaizdą.
5. **Pažymėti defektus** – Aptikti defektai yra pažymimi vaizde. Yra nurodomi defekto dydis, įvertis ir defekto tipas.
6. **Nustatyti detalės kokybės verdiktą** – pagal aptiktų defektų kiekį nustatoma ar detalė yra brokuota.
7. **Gauti kameros vaizdą** – paleidus kamerų vaizdo gavimą gaunami konvejeriu pravažiuojantys detalės vaizdą. Paleidžiant analizę paleidžiamas ir kadrų gavimas.
8. **Aptikti defektus** – aptinkamos defektų pradžios X ir Y koordinatės bei defekto plotis ir aukštis.
9. **Sujungti visus kadrų defektus** – ši funkcija yra naudojama tik tuo atveju, jei detalės vaizdas yra labai didelis ir nepakanka resursų visos detalės apdorojimui vienu metu.
10. **Klasifikuoti defektus** – aptikti defektai yra klasifikuojami pagal tipą.

7.4. SISTEMOS ĮDIEGIMAS

Ši sistemos dalis nėra diegiama atskirai nuo visos sistemos, tačiau yra keletas papildomų reikalavimų, kurie turi būti įgyvendinti norint naudotis šiuo moduliui.

Papildomi sistemos reikalavimai:

- Sistema turi turėti „NVIDIA“ grafinį vaizdo procesorių;
- Turi būti įdiegta „Cuda 11.1“.

7.5. SISTEMOS LICENCIJA

Sistemos dalis yra licencijuojama pagal GNU laisvąją GPL licenciją, žemiau pateikiamos šios licencijos tekstas.

GNU LAISVOJI BENDROJI VIEŠOJI LICENZIJĄ (GNU LAISVOJI GPL)

Copyright (C) 1991, 1999 Free Software Foundation, Inc. 51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA Kiekvienas gali kopijuoti ir platinti šio dokumento (angliškos originalios versijos) tiksliai kopijas, bet keisti jį (originalą) draudžiama. [Šis dokumentas yra pirmas GNU Laisvosios GPL licenzijos leidimas. Ši licenzija taip pat laikoma GNU Bibliotekų Viešosios licenzijos (GNU Library Public License) nauju variantu, todėl jos numeris yra 2.1]

0. Ši licenzija taikoma visoms programinėms bibliotekoms ar programoms, kuriose yra autoriaus ar kitos autorizuotos pusės pranešimas sakantis, kad produktas yra platinamas pagal šios GNU Laisvosios GPL licenzijos (taip pat vadinamos „šia licenzija“) sąlygas. Į kiekvieną licencijos turėtoją tekste kreipiamasi „Jūs“.

Terminas „biblioteka“ apibrėžia programinių funkcijų rinkinį ir/arba duomenis paruoštus patogiam programų (kurios naudoja kai kurias bibliotekos funkcijas ir duomenis) susiejimui su biblioteka, t.y. vykdomųjų failų suformavimui.

Žemiau minimas terminas „Biblioteka“ apibrėžia visas programines bibliotekas ar darbus platinamus pagal šią licenciją. „Darbas, paremtas Biblioteka“ reiškia Biblioteką ar bet kokią išvestinį iš Bibliotekos darbą ginamą autorinių teisių įstatymų, t.y. darbą, kurio dalis yra Biblioteka ar Bibliotekos dalis (originali ar modifikuota ir/ar išversta į kitą kalbą). Terminas „vertimas“ žemiau dokumente laikomas termino „modifikavimas“ dalimi be jokių išimčių.

„Išeities tekstas“ reiškia pageidaujamą darbo formą modifikacijoms atlikti. Kalbant apie biblioteką, pilni išeities tekstai reiškia: visus išeities tekstus visiems bibliotekos moduliams, bet kokius sąsajos apibrėžimo failus, taip pat skriptus reikalingus bibliotekos kompiliavimui ir įdiegimui.

Kitokia veikla nei kopijavimas, platinimas ir modifikavimas šia licenzija nėra numatoma ir išeina už jos ribų. Programų vykdymas naudojant Biblioteką nėra varžomas ir jų vykdymo rezultatai yra ginami šios licencijos tik tuo atveju, jeigu jų turinys sudarytas iš darbo pagrįsto Biblioteka (rezultatai ginami licencijos tada, jei jie - modifikuota Biblioteka ir nepriklausomai nuo to ar darbas atliktas naudojant Biblioteką). Ar tai galioja konkrečiu atveju, priklauso nuo to, ką daro Biblioteka ir ką daro programa naudojanti Biblioteką.

1. Jūs galite kopijuoti ir platinti originalius Bibliotekos išeities tekstus bet kokiose laikmenose, kuriose Jūs juos gavote ar patys patalpinote, aiškiai ir kaip priklauso kiekvienoje kopijoje

įtraukdami atitinkamus garantijos nebuvimo ir autorinių teisių įspėjimus. Nekeiskite jokių įspėjimų susijusių su šia licencija bei garantijos nebuvimu ir visiems Bibliotekos gavėjams pateikite šios licencijos (originalios angliškos versijos) kopiją kartu su Biblioteka.

Jūs galite imti mokesť už fizinę kopijos perdavimą ir taip pat galite savo nuožiūra siūlyti garantinį aptarnavimą mainais į pinigus.

2. Jūs galite modifikuoti savo Bibliotekos kopiją (ar kopijas) ar bet kurią jos dalį tuo būdu sukurdami Biblioteka paremtą produktą, kurį Jūs galite kopijuoti, platinti arba dirbti su juo pagal 1ame skyriuje paminėtas sąlygas, jei Jūs taip pat laikysitės šių, žemiau išvardintų, sąlygų:

a. Modifikuojamas darbas privalo būti programinė biblioteka. b. Jūs privalote pakeistuose failuose įterpti pastabas, kad Jūs pakeitėte failus ir nurodyti pakeitimų datas. c. Išvestinį darbą Jūs privalote licencijuoti pagal šios licenzijos sąlygas ir be jokių mokesčių trečiosioms šalims. d. Jeigu modifikuotoje Bibliotekoje kreipiamasi į funkciją ar duomenis, kurie turėtų būti pateikti Biblioteką naudojančios programos (čia nekalbama apie parametrus, kurie perduodami iškviečiant funkciją), Jūs privalote pasistengti užtikrinti, kad modifikuota Biblioteka ir ją naudojanti programa veiks (t.y. pateiks prasmingus rezultatus) ir tuo atveju, kai programa nepateiks trūkstamų funkcijų ir/ar duomenų.

(Pavyzdžiui, bibliotekoje yra funkcija kvadratinėms šaknims skaičiuoti ir ši funkcija visiškai nepriklauso nuo jokios kitos programos. 2 skyriaus d) poskyris reikalauja, kad bet kokia programos pateikta funkcija ir/ar duomenys (kurie gali būti panaudoti bibliotekoje esančios kvadratinės šaknis skaičiuojančioje funkcijoje) būtų neprivalomi, t.y. jei tų papildomų duomenų nebūtų, bibliotekos funkcija vis tiek skaičiuotų kvadratinės šaknis.)

Šie reikalavimai taikomi modifikuotam darbui kaip visumai. Jeigu aiškos, atskiriamos darbo dalys nėra sukurtos naudojantis Bibliotekos išeities tektais ir gali būti pagrįstai vadinamos nepriklausomais bei atskirais darbais, tai ši licenzija ir jos sąlygos netaikomos toms dalims, kai Jūs jas platinate kaip atskirus produktus. Tuo atveju, kai šias savo sukurtas nepriklausomas dalis Jūs platinate kaip pagrįsto Biblioteka produkto dalį, platinamas produktas privalo būti ginamas šios licenzijos sąlygų. Tokiu atveju ši licenzija gina visumą ir kiekvieną jos dalį nepriklausomai nuo to, kas ją parašė.

Taigi, šio skyriaus tikslas nėra reikšti pretenzijas į visiškai Jūsų parašytų darbų teises. Priešingai, siekiama įgyvendinti teises, kuriomis būtų kontroliuojamas Biblioteka paremtų išvestinių ar kolektyvinių darbų platinimas.

Be to, vien tik darbo, nepagrįsto Biblioteka, sudėjimas į vieną rinkinį su Biblioteka ar darbu pagrįstu Biblioteka saugojimui ar platinimui nepadaro šio darbo licenzijos objektu.

3. Tam tikrai Bibliotekos kopijai Jūs galite nuspręsti taikyti įprastą GNU GPL licenciją vietoj šios licenzijos. Norėdami įgyvendinti tokį sprendimą, Jūs privalote pakeisti visus pranešimus, kurie nurodo šią licenciją į pranešimus, nukreipiančius į GNU GPL licenciją, kurios versija yra 2. Jeigu pasirodė naujesnė nei antra GNU GPL licenzijos versija, Jūs galite nurodyti naująją licenzijos versiją. Jokių kitų pakeitimų pranešimuose apie licenciją nedarykite.

Pakeitus produkto licenciją į įprastą GNU GPL (2 versiją), pakeisti licenciją atgal į GNU Laisvąją GPL licenciją jau nebegalima. Dėl šios priežasties visos kitos produkto kopijos ir išvestiniai darbai bus ginami įprastinės GNU GPL licenzijos.

12

Šis perėjimas nuo GNU Laisvosios GPL licenzijos prie įprastinės GNU GPL licenzijos yra naudingas tuo atveju, kai Jūs norite nukopijuoti dalį Bibliotekos kodo į programą, kuri nėra biblioteka.

4. Jūs galite Bibliotekos kopiją (ar darbą pagrįsta ja, žr. 2 skyrių) kopijuoti ir platinti objektiniu kodu ar vykdoma forma laikydamiesi 1 ir 2 skyriuje minimų sąlygų, jei Jūs taip pat kartu pateiksite pilnus ir perskaitomus išeities tekstus, kurie privalo būti platinami pagal 1 ir 2 skyriaus sąlygas ir būti laikmenose paprastai naudojamose programinės įrangos keitimaisi.

Jei Bibliotekos objektinis kodas platinamas siūlant kopijuoti iš tam tikros vietos, tai siūlymas ekvivalenčios galimybės kopijuoti išeities tekstus iš tos pačios vietos patenkina reikalavimą platinti išeities tekstus net ir tuo atveju, kai trečiosios šalys neverčiamos kopijuoti išeitinio kodo kartu su objektiniu kodu.

5. Programa, kuri nėra išvestinis darbas iš jokios Bibliotekos dalies, bet kuri sukurta taip, kad reikalauja Bibliotekos kompiliavimui ar susiejimui bei sėkmingam darbui, vadinama „darbu, kuris naudoja biblioteką“. Toks darbas nelaikomas išvestiniu iš Bibliotekos ir todėl nėra ginamas šios licenzijos.

Iš kitos pusės, susiejimas (pvz., statinis kompiliavimas) „darbo, kuris naudoja Biblioteką“ su Biblioteka sukuria vykdomąjį failą, kuris yra išvestinis darbas iš Bibliotekos (kadangi tame faile yra bibliotekos dalis). Taigi, gauname „darbą, paremtą Biblioteka“, o ne „darbą, kuris naudoja Biblioteką“. Tokiu atveju vykdomasis failas yra ginamas GNU Laisvosios GPL licenzijos. Šio dokumento 6 skyrius nusako tokių vykdomųjų failų platinimo sąlygas.

Kai „darbas, kuris naudoja Biblioteką“ naudoja medžiagą iš Bibliotekos apibrėžimų failų (header files), tai darbo objektinis kodas gali būti laikomas išvestiniu darbu iš Bibliotekos, nors išeities tekstai – ne. Ar taip yra konkrečiu atveju, labai priklauso nuo to, ar darbas gali būti susietas be Bibliotekos ir ar pats darbas yra biblioteka. Riba, už kurios šis teiginys yra teisingas, nėra labai aiškiai nusakyta įstatymo.

Jeigu tokie objektiniai failai naudoja tik skaitmeninius parametrus, duomenų struktūrų išdėstymą, mažas makro komandas ir išplečiamas (angl. inline) funkcijas (10 eilučių ar mažiau), tai tokio objektinio failo naudojimas nėra ribojamas nekreipiant dėmesio į tai, kad teisiškai tai yra išvestinis darbas. Vykdomieji failai, kuriuose yra šis objektinis kodas ir dar kai kurios Bibliotekos dalys vis tiek turi nepažeisti 6 skyriuje išdėstytų reikalavimų.

Kitu atveju, jeigu produktas yra išvestinis darbas iš Bibliotekos, Jūs galite platinti darbo objektinį kodą laikydamiesi 6 skyriaus reikalavimų. Bet kokie vykdomieji failai, kuriuose panaudotas išvestinis iš Bibliotekos darbas, taip pat negali pažeisti 6 skyriaus reikalavimų (nepriklausomai nuo to, ar jie tiesiogiai susieti su Biblioteka).

6. Kaip išimtį iš sąlygų nurodytų ankstesniuose skyriuose, Jūs galite sujungti ar susieti „darbą, kuris naudoja Biblioteką“ su Biblioteka ir tokiu būdu gauti produktą, kuriame yra Bibliotekos dalys bei platinti tą darbą pagal Jūsų pasirinktas sąlygas, bet Jūsų pasirinktos sąlygos turi leisti vartotojams (savo reikmėms) modifikuoti darbą ir atkurti jo pradinį kodą (iš objektinio kodo) klaidų taisymo reikmėms.

Su kiekviena darbo kopija Jūs privalote pateikti pastebimą pranešimą, kad darbas naudoja Biblioteką ir kad Biblioteka yra ginama šios licenzijos. Jūs privalote prie darbo kopijos pridėti šios licenzijos kopiją. Jeigu produktas vykdymo metu rodo autorinių teisių pranešimus, Jūs privalote

13

prie tų pranešimų pridėti ir Bibliotekos autorinių teisių pranešimą bei nuorodą į pilną licenzijos tekstą. Jūs taip pat privalote patenkinti vieną iš sąlygų:

a. Kartu su darbu pateiksite pilnus ir perskaitomus Bibliotekos išeities tekstus elektroniniu pavidalu įskaitant ir bet kokius pakeitimus, panaudotus darbe (šie pakeitimai privalo būti platinami pagal 1 ir 2 skyriaus sąlygas). Taip pat, jei darbas yra susietas su Biblioteka, pateiksite pilną ir panaudojamą

„darbą, kuris naudoja Biblioteką“ objektiniu ir/ar išėties tekstų pavidalu, kad vartotojas galėtų modifikuoti Biblioteką ir po to iš naujo susieti tą darbą su modifikuota Biblioteka (laikoma, kad vartotojas keičiantis Bibliotekos apibrėžimų failų turinį nebūtinai galės perkompiliuoti programą, kad ji galėtų naudoti atliktus pakeitimus). b. Susiejimui su Biblioteka naudosite tinkamus susiejimo su dinaminėmis bibliotekomis mechanizmus. Tinkamas susiejimo mechanizmas yra kuris (1) vykdymo metu naudoja jau esančią vartotojo kompiuteryje bibliotekos kopiją, o ne kopijuoja bibliotekos funkcijas į vykdomąjį failą (2) tinkamai dirba su modifikuota bibliotekos versija, kai vartotojas ją įdiegia (jei modifikuota biblioteka turi su ankstesne versija suderinamą programavimo sąsają) c. Prie darbo pridėsite raštišką pasiūlymą (galiojantį mažiausiai tris metus), kad vartotojui suteiksite 6 skyriaus a) poskyryje nurodytą medžiagą už mokestį nedidesnį nei platinimo išlaidos. d. Jei darbo platinimas vykdomas siūlant kopijuoti iš tam tikros vietos, pasiūlysite ekvivalenčią galimybę kopijuoti aukščiau nurodytą medžiagą iš tos pačios vietos. e. Įsitikinsite, kad vartotojas jau gavo minėtos medžiagos kopiją (ar Jūs jam jau išsiuntėte ją).

Prie vykdomosios „darbo, kuris naudoja Biblioteką“ formos privalote pridėti visus duomenis ir programas, kurių reikia vykdomojo failo suformavimui. Kaip speciali išimtis, platinamoje medžiagoje neprivalo būti nieko, kas paprastai platinama (išėties tekstais ar vykdomąja forma) su pagrindiniais operacinės sistemos, kurioje minima programa veikia komponentais (kompiliatoriumi, branduoliu ir pan.), nebent tie komponentai įeina į platinamą failo vykdomąją formą.

Gali būti, kad šis reikalavimas prieštarauja kitų, nelaisvų bibliotekų (kurios paprastai nėra platinamos su operacine sistema) licencijų reikalavimams. Tokiu atveju, Jūs negalite naudoti abiejų bibliotekų Jūsų platiname vykdomajame faile.

7. Jūs galite pagrįstą Biblioteka darbą sudėti į vieną biblioteką su kita biblioteka (kuri nėra ginama šios licenzijos) ir platinti gautą jungtinį produktą, jeigu atskiras pagrįsto Biblioteka darbo ir atskiras kitos bibliotekos platinimas yra leidžiamas. Jūs taip pat:

a. Prie jungtinės bibliotekos kopijos pridėsite atskirtą nuo bibliotekos pagrįstą Biblioteka darbą. Ši atskirta jungtinės bibliotekos dalis privalo būti platinama pagal ankstesniuose skyriuose išdėstytas sąlygas. b. Įdėsite aiškų pranešimą, kad dalis jungtinės bibliotekos yra darbas pagrįstas Biblioteka ir nurodysite, kur galima rasti atskirtą nuo jungtinės bibliotekos Biblioteka pagrįstą darbą.

8. Jūs negalite kopijuoti, modifikuoti, licencijuoti, susieti kitų produktų su Biblioteka ar platinti Bibliotekos kitaip nei aiškiai numatyta šios licenzijos. Bet kokie bandymai kitaip kopijuoti, modifikuoti, licencijuoti, susieti su kitais produktais ar platinti Biblioteką yra negaliojantys ir automatiškai panaikina Jūsų teises suteiktas šios licenzijos. Tokiu atveju asmenų, gavusių iš Jūsų kopijas ar teises remiantis šia licenzija, teisės (licenzijos) nebus panaikintos, jei šie asmenys nepažeidė licenzijos.

9. Jūsų nereikalaujama šios licenzijos priimti, nes Jūs jos nepasirašėte. Vis dėlto, niekas kitas Jums negarantuoja teisės modifikuoti ir platinti Biblioteką ar ja paremtus darbus. Be to, minėti veiksmai

14

yra draudžiami įstatymo, jei Jūs nepriimate šios licenzijos sąlygų. Taigi, modifikuodami ar platindami Biblioteką (ar bet kokį darbą paremtą Biblioteka), Jūs parodote, kad priimate šią licenciją ir visas jos sąlygas susijusias su Bibliotekos (ar bet kokio Biblioteka paremto darbo) kopijavimu, platinimu ar modifikavimu.

10. Kiekvieną kartą, kai Jūs platiname Biblioteką (ar bet kokį Biblioteka paremtą darbą), Bibliotekos gavėjas automatiškai gauna licenciją iš pirmojo Bibliotekos autoriaus, suteikiančią teisę kopijuoti, platinti, susieti su Biblioteka programas ar modifikuoti Biblioteką remiantis šiomis sąlygomis. Jūs

negalite gavėjui primesti jokių papildomų apribojimų nesančių šioje licencijoje. Jūs nesate atsakingas už trečiųjų šalių vertimą laikytis šios licenzijos sąlygų.

11. Jeigu (kaip teismo nuosprendis ar įtarimas patentų pažeidimu ar bet kokiais kitais atvejais) Jums yra primetamos sąlygos (teismo potvarkiu, pagal susitarimą ar kitaip), kurios prieštarauja šios licenzijos sąlygoms, tai primetamos sąlygos neatleidžia Jūsų nuo šios licenzijos sąlygų. Jeigu Jūs negalite platinti Bibliotekos taip, kad įvykdytumėte savo įsipareigojimus šiai licencijai ir kitus susijusius įsipareigojimus tuo pat metu, tai negalite platinti Bibliotekos iš viso. Pavyzdžiui, jeigu patentas neleidžia Bibliotekos platinti be autorių honorarų tiems žmonėms, kurie gaus kopijas tiesiogiai ar netiesiogiai iš Jūsų, tai vienintelis kelias patenkinti abi (Bibliotekos ir GNU Laisvąją GPL) licencijas yra iš viso neplatinti Bibliotekos.

Jeigu bet kuri šio skyriaus dalis yra laikoma negaliojančia (neturinčia juridinės galios) ar neįvykdoma esant tam tikroms konkrečioms aplinkybėms, tai likusi skyriaus dalis lieka galioti. Visais kitais atvejais galioja visas skyrius.

Šio skyriaus tikslas nėra skatinti pažeisti kokius nors patentus, nuosavybės teises ar užginčyti tokių teisių pagrįstumą. Šis skyrius siekia tikrai užtikrinti nemokamos programinės įrangos platinimo sistemos vientisumą, įgyvendinamą viešąja licenzija. Daug žmonių įvairiai prisidėjo prie programinės įrangos platinimo per šią sistemą vildamiesi, kad ta sistema bus nuolat taikoma. Tik nuo autoriaus (autorės) priklauso, ar jis (ji) norės platinti savo programinę įrangą per kokią nors kitą sistemą ar ne ir šios licenzijos turėtojas negali primesti sprendimo.

Šis skyrius turėtų detaliai paaiškinti, kokios turėtų būti likusios licenzijos dalies pasekmės.

12. Jeigu Bibliotekos platinimas ir/arba naudojimas tam tikrose šalyse yra ribojamas patentais ar autorinėmis teisėmis, pirminis autorių teisių turėtojas, kurio Biblioteka yra išleista pagal šią licenciją, turėtų pridėti aiškius geografinius platinimo apribojimus pašalinančius tas šalis ir taip informuodamas, kad platinimas yra leidžiamas tik nepaminėtose šalyse. Tokiu atveju apribojimai tampa licenzijos dalimi.

13. Free Software Foundation (angl. - Laisvosios Programinės Įrangos fondas) gali periodiškai paskelbti ištaisytas ir/arba naujas Laisvosios GPL licenzijos versijas. Naujos versijos savo dvasia bus panašios į dabartinę versiją, bet siekiant išspręsti naujai iškilusias problemas gali skirtis kai kurios detalės.

Kiekvienai licenzijos versijai suteikiamas unikalus numeris. Jeigu Biblioteka nurodo numerį licenzijos versijos, kuri taikoma Bibliotekai ir „bet kuriai vėlesnei jos versijai“, tai Jūs galite sekti arba nurodyta versija, arba bet kuria vėlesne Free Software Foundation paskelbta licenzijos versija. Tuo atveju, kai Biblioteka nenurodo licenzijos versijos numerio, Jūs galite pasirinkti bet kurią Free Software Foundation išleistą šios licenzijos versiją. 14. Jeigu Jūs norite Bibliotekos dalis įtraukti į kitas laisvas programas, kurių platinimo sąlygos skiriasi, parašykite autoriui ir paprašykite leidimo. Free Software Foundation programinės įrangos atveju rašykite Free Software Foundation organizacijai; mes kartais tokiu atveju padarome išimtis. Mūsų sprendimas remsis dviem tikslais:

15

visų programų, sukurtų mūsų laisvų programų pagrindu, laisvos programinės įrangos statuso išsaugojimu ir bendru skatinimu dalintis ir naudoti programinę įrangą laisvai.

GARANTIJOS NEBUVIMAS

15. KADANGI BIBLIOTEKA LICENZIUOJAMA NEMOKAMAI, TAI JOKIOS GARANTIJOS BIBLIOTEKAI GALIOJANČIŲ ĮSTATYMŲ LEISTU MĄSTU NESUTEIKIAMA. AUTORINIŲ TEISIŲ SAVININKAI IR/ARBA KITOS ŠALYS PATEIKIA BIBLIOTEKĄ „TAIP KAIP YRA“ BE JOKIŲ GARANTIJŲ, IŠREIKŠTŲ AR NUMANOMŲ, ĮSKAITANT, BET

NEAPSIRIBOJANT, NUMANOMOM PERKAMUMO BEI TINKAMUMO KONKREČIAI UŽDUOČIAI GARANTIJOM, NEBENT KITAIP NURODYTA RAŠTU. JŪS PRISIIMATE VISĄ RIZIKĄ, SUSIJUSIĄ SU BIBLIOTEKOS KOKYBE IR VEIKIMU. JEIGU BIBLIOTEKA PASIRODYS TURINTI DEFEKTŲ, JŪS PRISIIMATE VISAS BŪTINAS TECHNINĖS PRIEŽIŪROS, SUTVARKYMO AR KOREGAVIMO IŠLAIDAS.

16. JOKIU KITU ATVEJU, NEBENT REIKALAUJAMA PAGAL GALIOJANČIUS ĮSTATYMUS ARBA SUSITARTA RAŠTU, AUTORINIŲ TEISIŲ SAVININKAI ARBA BET KURI KITA ŠALIS, KURI GALI KEISTI IR/ARBA PLATINTI BIBLIOTEKĄ KAIP AUKŠČIAU NURODYTA, NEBUS JUMS ATSAKINGA UŽ VISUS, ĮTRAUKIANT BET KOKIUS BENDRUS, IŠSKIRTINIUS, ATSITIKTINIUS AR IŠPLAUKIANČIUS IŠ BIBLIOTEKOS NAUDOJIMO ARBA NESUGEBĖJIMO NAUDOTI BIBLIOTEKĄ NUOSTOLIUS (APIMANT BET NEAPSIRIBOJANT DUOMENŲ PRARADIMU, DUOMENŲ SUGADINIMU, BIBLIOTEKOS NESUDERINAMUMĄ SU KITOMIS PROGRAMOMIS AR BET KOKIUS KITUS NUOSTOLIUS, PATIRTUS JŪSŲ AR TREČIŲJŲ PUSIŲ), NET IR TUO ATVEJU, KAI AUTORINIŲ TEISIŲ SAVINIKAS AR KITI ASMENYS ŽINOJO APIE TOKIŲ NUOSTOLIŲ GALIMYBĘ.

8. KOKYBĖS VERTINIMO ATASKAITA

8.1. Įvadas

Šiame skyriuje pateikiama projekto kokybės vertinimo ataskaita. Pateikiami vertinimo rezultatai, išvados. Nustatoma ar baldų patikros sistemos dalis paviršių defektų analizei atitinka kuriamos sistemos standartus bei specifikaciją, taip pat įvertinama ar įgyvendinti užsakovo lūkesčiai.

8.2. Realiai atlikto darbo kokybės analizės tikslai.

8.2.1. Aptikti klaidas funkcionavime, logikoje, realizacijoje.

Klaidos funkcionalume, logikoje realizacijoje buvo aptiktos testavimo metu, testavimas buvo vykdomas pagal testavimo planą. Visos testavimo metu aptiktos klaidos buvo pašalintos.

8.2.2. Patikrinti ar programų sistema atitinka reikalavimų specifikaciją.

Atlikti patikrinimą ar sistemos dalis atitinka reikalavimų specifikaciją buvo vykdomas priėmimo testavimas, kurio rezultatai pateikiami testavimo dalyje.

8.3. Kokybės vertinimo procesas.

8.3.1. Peržiūros

Projekto pabaigoje projekto vykdytojų komanda atlieka apžvalgą, kurios tikslas yra surinkti informaciją apie projektą, kas jame pavyko gerai ir kas nepasisekė, kad tai būtų galima panaudoti sekančiuose projektuose. Kadangi studentas atliekantis darbą ir yra užsakovas, projekto peržiūros buvo vykdomos po kiekvienos didesnės projekto dalies pabaigimo.

8.3.2. Interviu su užsakovu. Aptariami reikalingi patobulinimai. Sukuriamas pakeitimų sąrašas

Užsakovas įvertinęs dabartinę sistemą į galimų pakeitimų sąrašą pasiūlė šiuos dalykus:

1. Dinaminiai defektų tipai “Administravimo” puslapyje – šiuo metu yra nustatyti tik tam tikri defektų tipai, tačiau defektų sąrašas gali keistis, todėl būtų gerai, kad defektų tipai būtų dinaminiai ir būtų importuojami kartu su modelio parametrais (“obj.names” failu).
2. Automatinio defektų anotavimo funkcionalumo įtraukimas – siekiant palengvinti duomenų anotavimą, išplėsti duomenų rinkinį bei sumažinti duomenų rinkinio klasių netolygumą (pvz. vienos klasės defektų pavyzdžių yra 1000, o kitos 100, todėl norint gauti geresnius rezultatus reikia suvienodinti šį skaičių).

8.3.3. Projektavimo komandos narių peržiūrų aprašymas

Peržiūros metu buvo aptartos pagrindinės sistemos dalys. Įvertintas svarbiausių dalių baigtumas ir reikalavimų išpildymas. Buvo pasiūlyta tam tikri pakeitimai.

8.3.4. Rolės ir atsakomybė

Studentas atliekantis darbą yra projekto projektuotojas, programuotojas bei testuotojas. Taip pat jis yra sistemos peržiūrų moderatorius bei sistemos analitikas.

8.3.5. Apklausų anketos

Studentas yra ir darbo užsakovas, todėl nebuvo sukurta atskiros apklausų anketos.

8.3.6. Formalios techninės peržiūros (inspektavimas ar korektiškai buvo sukurtas programų kodas)

Atliekant sistemos formaliąją techninę peržiūrą buvo naudojamas “Visual studio” integruotos programavimo aplinkos įskiepis “Resharper”. Šis įrankis patikrina tokius parametrus:

1. Privačių ir viešų kintamųjų pavadinimus;
2. Metodų pavadinimus;
3. Klasių pavadinimus;
4. Nepasiekiamas kodo dalis;
5. Nenaudojamus kintamuosius;
6. Nenaudojamus metodus;
7. Nenaudojamas klases;
8. Informuoja apie “Null reference exception”;
9. Teisingą kodo išdėstymą.

Šis įrankis buvo naudojamas viso sistemos kūrimo metu, todėl leido užtikrinti nuolatinę techninę peržiūrą bei sumažino klaidų tikimybę. Kodo versijų kontrolei buvo naudojamas “Git” įrankis, todėl kiekvienas panaudojimo atvejis buvo atskirai peržiūrimas prieš kodo sujungimą į bendrą šaką (angl. branch).

8.4. Vertinimo rezultatai

Atlikus sistemos vertinimą jos rezultatai pateikiami žemiau esančioje lentelėje (**62 lentelė**). Visi vertinimo kriterijai pasiekė gerą arba labai gerą įvertį, todėl galima teikti, kad sistemos vertinimo rezultatai atitiko užsakovo lūkesčius. Šis vertinimas parodo, kad sistema gali sėkmingai būti įdiegta baldų gamybos įmonėse.

62 lentelė Sistemos vertinimo kriterijai ir rezultatai

Savybė	Aprašymas	Įvertis
Panaudojamumas	Naudojimosi sistema paprastumas neįgudusiems naudotojams	Labai geras
Palaikomumas	Ar nesudėtinga atlikti sistemos funkcionalumo pakeitimus bei pridėti papildomo funkcionalumo?	Labai geras
Efektyvumas	Ar sistema užtikrina efektyvų resursų naudojimą?	Geras
Funkcionalumas	Ar sistemos funkcionalumas atitinka reikalavimų specifikaciją?	Geras
Tikslumas	Ar sistema atitinka tikslumui keliamus reikalavimus?	Labai geras

8.5. Išvados

- Peržiūrų metu buvo nustatyti papildomi patobulinimai, kurie yra realizuojami.
- Bendras sistemos vertinimo rezultatas yra geras, sistema atitinka kokybės rezultatus ir gali būti sėkmingai diegiama.

9. LITERATŪRA

- [1] „Lithuanian companies among largest suppliers for Swedish IKEA,“ 7 vasario 2018. [Tinkle]. Available: <https://www.strategeast.org/lithuanian-companies-among-largest-suppliers-swedish-ikea/>. [Kreiptasi 27 lapkričio 2019].
- [2] „Kauno LEZ atidarytas „Fredos“ fabrikas gamins baldus IKEA,“ 20 kovo 2019. [Tinkle]. Available: https://www.15min.lt/verslas/naujiena/kvadratinis-metras/nekilnojamosis-turtas/kauno-lez-atidarytas-53-mln-euru-atsiejes-fredos-fabrikas-gamina-baldus-ikea-imonei-973-1118576#_. [Kreiptasi 27 lapkričio 2019].
- [3] „Strateginiai VMG tikslais rūpinasi įsteigta valdyba,“ 15 vasario 2019. [Tinkle]. Available: <https://www.vz.lt/pramone/2019/02/15/strateginiai-vmg-tikslais-rupinsis-isteigta-valdyba#ixzz5wZQArPZj>. [Kreiptasi 27 lapkričio 2019].
- [4] „SBA,“ 2019. [Tinkle]. Available: <http://www.sba.lt/>. [Kreiptasi 27 lapkričio 2019].
- [5] „Dell PowerEdge Servers,“ 2019. [Tinkle]. Available: <https://www.dell.com/en-us/work/shop/dell-poweredge-servers/sc/servers>. [Kreiptasi 28 lapkričio 2019].
- [6] „Elinta, UAB. Rekvizitai.lt,“ 2019. [Tinkle]. Available: <https://rekvizitai.vz.lt/imone/elinta/>. [Kreiptasi 28 lapkričio 2019].
- [7] „WOOD BASED PANEL INDUSTRY,“ 2018. [Tinkle]. Available: <https://www.forbo.com/movement/en-cn/industries-applications/raw-materials/wood/psu9x9>. [Kreiptasi 28 lapkričio 2019].
- [8] „Standard or individual solutions for your furniture production,“ Baumer Inspection GmbH, 2018. [Tinkle]. Available: <https://www.baumerinspection.com/en/products/surface-inspection/furniture/>. [Kreiptasi 19 lapkričio 2019].
- [9] A. Kartavičius, „Kompiuterinės regos ir mašininio mokymosi pritaikymo tyrimas pramoninės gamybos gaminių kokybės patikrai,“ Kaunas, 2019.
- [10] „Grading System,“ Argos Solution, 2017. [Tinkle]. Available: <https://www.argossolutions.no/grading-system/>. [Kreiptasi 19 lapkričio 2019].
- [11] „Average Software Developer Salary in the World 2019. Which Is the Highest-Paying Country?,“ 09 vasario 2019. [Tinkle]. Available: <https://www.daxx.com/blog/development-trends/it-salaries-software-developer-trends-2019>. [Kreiptasi 28 lapkričio 2019].
- [12] H. Chen, S. Stavinoha, M. Walker, B. Zhang ir T. Fuhlbrigge, „Opportunities and Challenges of Robotics and Automation in Offshore Oil & Gas Industry,“ SciRes, 2014.
- [13] J. Wang, P. Fu ir R. X. Gao, „Machine vision intelligence for product defect inspection based on deep learning and Hough transform,“ Journal of Manufacturing Systems, 2019.
- [14] H. Jia, Y. Murphey, J. Shi ir T.-S. Chang, „An intelligent real-time vision system for surface defect detection,“ IEEE, 2004.
- [15] R. Wakamatsu, T. Uno ir H. Katagiri, „Machine Learning-based Methods for Detecting,“ įtraukta *Proceedings of the World Congress on Engineering 2018 Vol I*, London, 2018.

- [16] C.-S. Cho, B.-M. Chung ir M.-J. Park, „Development of real-time vision-based fabric inspection system,“ IEEE, 2005.
- [17] „Line scan cameras - Quality right down the line,“ STEMMER IMAGING, 2018. [Tinkle]. Available: <https://www.stemmer-imaging.com/en/technical-tips/line-scan-cameras/>. [Kreiptasi 15 lapkričio 2019].
- [18] J. EBERHARDT ir R. Massen, „Method and arrangement for visual surface inspection“. Vokietija Patentas WO2010081509A1, 22 liepos 2010.
- [19] A. J. S. Santiago, A.J., Yuste, A.J ir M. Expósito, „Real-time image texture analysis in quality management using grid computing: an application to the MDF manufacturing industry,“ Springer-Verlag, 2011.
- [20] B. Bennedsen ir D. Peterson, „Performance of a System for Apple Surface Defect Identification in Near-infrared Images,“ Biosystems Engineering, 2005.
- [21] I. Pastor-Lopez, I. Santos, Jorge, M. Salazar, A. Santamaria-Ibirika ir P. Bringas, „Collective classification for the detection of surface defects in automotive castings,“ įtraukta *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2013 8th IEEE Conference on*, 2013.
- [22] J.-K. Park, B.-K. Kwon, J.-H. Park ir D.-J. Kang, „Machine learning-based imaging system for surface defect inspection,“ Korean Society for Precision Engineering, 2016.
- [23] B. Tang, J.-y. Kong, X.-d. Wang ir L. Chen, „Surface Inspection System of Steel Strip Based on Machine Vision,“ IEEE, 2009.
- [24] D. Thakur, „What is Grid Computing,“ Ecomputer Notes, 2018. [Tinkle]. Available: <http://ecomputernotes.com/fundamental/introduction-to-computer/grid-computing>. [Kreiptasi 10 lapkričio 2019].
- [25] A. Bernieri, L. Ferrigno , M. Laracca ir M. Molinara, „Crack Shape Reconstruction in Eddy Current Testing Using Machine Learning Systems for Regression,“ IEEE, 2008.
- [26] „Severstal: Steel Defect Detection,“ Kaggle, 2019. [Tinkle]. Available: <https://www.kaggle.com/c/severstal-steel-defect-detection>. [Kreiptasi 19 lapkričio 2019].
- [27] R. Gandhi, „Support Vector Machine — Introduction to Machine Learning Algorithms,“ Towards Data Science, 7 birželio 2018. [Tinkle]. Available: <https://towardsdatascience.com/support-vector-machine-introduction-to-machine-learning-algorithms-934a444fca47>. [Kreiptasi 18 lapkričio 2019].
- [28] I. Y.-H. Gu, H. Andersson ir R. Vicen, „Wood defect classification based on image analysis and support vector machines,“ Springer-Verlag, 2009.
- [29] G. Azevedo, „Feature selection techniques for classification and Python tips for their application,“ Towards Data Science, 2 rugpjūčio 2019. [Tinkle]. Available: <https://towardsdatascience.com/feature-selection-techniques-for-classification-and-python-tips-for-their-application-10c0ddd7918b>. [Kreiptasi 19 lapkričio 2019].
- [30] L. A. Martins, F. L. Pádua ir P. E. Almeida, „Automatic detection of surface defects on rolled steel using Computer Vision and Artificial Neural Networks,“ IEEE, 2010.

- [31] S. Weidman, „The 4 Deep Learning Breakthroughs You Should Know About,“ Towards Data Science, 5 gruodžio 2017. [Tinkle]. Available: <https://towardsdatascience.com/the-5-deep-learning-breakthroughs-you-should-know-about-df27674ccdf2>. [Kreiptasi 20 lapkričio 2019].
- [32] Z.-u.-h. Usmani, „What is Kaggle, Why I Participate, What is the Impact?,“ Kaggle, 2017. [Tinkle]. Available: <https://www.kaggle.com/getting-started/44916>. [Kreiptasi 15 lapkričio 2019].
- [33] W. C.-Y. M. L. H.-Y. Bochkovskiy Alexey, „YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection,“ arxiv, 2020.
- [34] Z. S. J. G. Y. Y. Jiangyun Li, „Real-time Detection of Steel Strip Surface Defects Based on Improved YOLO Detection Network,“ 2018.
- [35] „Optimization of Production in Short Cycle Press Lines,“ Baumer Inspection GmbH, 2016. [Tinkle]. Available: <http://pelice-expo.com/presentations/Franz-Optimization-of-Production.pdf>. [Kreiptasi 20 lapkričio 2019].

10. TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

Santrumpos:

KNN (angl. Convolutional neural network) – konvoliuciniai neuroniniai tinklai.

MM (angl. Machine learning) – mašininis mokymasis.

SVM (angl. Support vector machine) – atraminių vektorių klasifikatorius.

MDF (angl. Medium-density fibreboard) – vidutinio tankio medienos plaušų plokštė.

Terminai:

Kraštų aptikimas – (angl. Edge detection) vaizdo apdorojimo technika, kuri naudojama objektų kraštų aptikimui vaizde.

Morfologinės transformacijos – (angl. Morphological transformations) vaizdo apdorojimo operacijos, kurios skirtos pakeisti objektų formą vaizde.

Kompiuterinė rega – (angl. Computer vision) tarpdisciplininė mokslo sritis, kuri siekia gauti tam tikrą informaciją apdorojant skaitmeninį vaizdą. Dažniausiai naudojama užduočių automatizavimui.

Tinkliniai skaičiavimai – (angl. Grid computing) paskirstyta architektūra, kur didelis skaičius kompiuterių yra sujungti ir dalinasi savo resursais, norint išspręsti sudėtingą problemą.

Vidutinio tankio medienos plaušų plokštė – (angl. Medium-density fibreboard) medienos inžinerijos produktas, gaminamas sumaišant į plaušus susmulkintą medieną, vašką ir dervą. Plokštės yra formuojamos naudojant aukštą temperatūrą ir spaudimą.

Prižiūrimas mokymasis - (angl. Supervised learning) mašininio mokymosi tipas, kurio užduotis išmokti funkciją, pagal kurią įvestis ir išvestis yra susiejama remiantis įvesties ir išvesties porų pavyzdžiais.

Medienos mazgas – (angl. Wood knot) tai matomas trūkumas medienos pluošte, kuris yra tamsesnis nei mediena esanti aplink jį.

Neprižiūrimas mokymasis – (angl. Unsupervised learning) mašininio mokymosi tipas, kuris nustato nežinomus šablonus be išankstinės anotacijos.

Linijos nuskaitymo kamera – (angl. Line scan camera) kamera, kurios jutiklį sudaro tik viena eilutė pikselių. Šios kameros naudojamos aukštos skiriamosios gebos vaizdų gavimui, norint gauti vaizdą reikia linijiniu judesiu judinti kamerą arba objektą.