



**Kauno technologijos universitetas**

Informatikos fakultetas

# **Smulkaus gintaro gabalėlių klasifikavimo pagal formą ir spalvą problemų tyrimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

---

**Marius Pivoras**

Projekto autorius

**Doc. dr. Armantas Ostreika**

Vadovas

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Informatikos fakultetas

# **Smulkaus gintaro gabalėlių klasifikavimo pagal formą ir spalvą problemų tyrimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Informatika (6211BX007)

---

**Marius Pivoras**

Projekto autorius

**Doc. dr. Armantas Ostreika**

Vadovas

**Prof. Gintaras Palubeckis**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Informatikos fakultetas

Marius Pivoras

## **Smulkaus gintaro gabalėlių klasifikavimo pagal formą ir spalvą problemų tyrimas**

### Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Mariaus Pivoro, baigiamasis projektas tema „Smulkaus gintaro gabalėlių klasifikavimo pagal formą ir spalvą problemų tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

Pivoras, Marius. Smulkaus gintaro gabalėlių klasifikavimo pagal formą ir spalvą problemų tyrimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Armantas Ostreika; Kauno technologijos universitetas, informatikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Fiziniai mokslai, informatika.

Reikšminiai žodžiai: kompiuterinė rega, ekspertinės sistemos, vaizdų klasifikavimas.

Kaunas, 2019. 63 p.

## **Santrauka**

Gintarų klasifikavimo problema žinoma jau seniai tarp gintaro meno amatininkų. Iki šiol esami automatizuoto klasifikavimo sprendimai praktikoje gintarus rūšiuodavo pagal spalvą, tačiau iškilo poreikis praplėsti gintarų klasifikavimo galimybes. Pasiūlytas sprendimas geba gintarą klasifikuoti pagal dydį (į pasirenkamą klasių skaičių), pagal formą (kvadratą, stačiakampį, ovalą, apskritimą, trapeciją, rombą, trikampį bei asimetrinę formą) bei pagal spalvą.

Objekto dydžiui įvertinti apskaičiuojamas objektą sudarančių baltų taškų kiekis, kuris nesunkiai gali būti konvertuojamas į fizikinius ploto vienetus. Šis gautas parametras naudojamas kaip savybė objektui klasifikuoti pagal dydį, kuris priskiriamas iš anksto nustatytoms klasėms. Priskyrimo klasėms įverčiai apskaičiuojami automatiškai nurodant norimą klasių skaičių bei didžiausią objekto taškų skaičių priskirtą aukščiausiai klasei.

Pasiūlytas sprendimas klasifikavimui pagal spalvą sudalina gintaro nuotrauką į nustatytą segmentų skaičių ir vertina skirtumą tarp segmentų ir baltos spalvos. Algoritmas sugeba pats save apsimokyti t.y. gintaras klasifikuojamas atsižvelgiant į tolerancijos reikšmę, kuri atspindi maksimalų skirtumą tarp gintaro segmentų ir baltos spalvos.

Gintaro formai įvertinti buvo priimtas naujas algoritmas, kai panaudojami papildomi nuotraukos apdorojimo etapai, kur apskaičiuojama objekto ilgoji ašis ir ji pasukama lygiagrečiai x koordinačių ašies atžvilgiu. Objekto nuotraukai pritaikomos dar kelios pasukimo procedūros (jei reikalingos), kur objekto siauriausia dalis x ašies atžvilgiu atsiduria dešinėje, o y ašies atžvilgiu viršuje. Naudojamas algoritmas vertina objekto x ir y ašių ilgį, einantį per objekto centrą, įstrižainių, pasuktų 45 laipsnių kampu nuo minėtų ašių ir besiribojančių su objekto kraštinėmis ilgį, objekto realų plotą ir ekvivalentinį plotą. Objekto forma nėra nusakoma vienareikšmiškai, net eksperto (žmogaus) priskyrimai nėra vienareikšmiai. Ši problema sprendžiama įvedus tolerancijos reikšmės formos nustatymo parametrus.

Gautas klases galima apjungti - klasių skaičius yra ribojamas tik klasifikavimui naudojamo įrenginio „kišenių“ skaičiaus. Pasiūlytas sprendimas formos klasifikavimui yra iki 11 kartų greitesnis nei naudojant sprendimų medžių ansamblį sudarytą iš 3 medžių. Ankstesni sprendimai reikalavo eksperto įsikišimo, kuris rankiniu būdu turėjo atrinkti gintarus į klases – pasiūlytas sprendimas šio etapo padeda išvengti

Pivoras, Marius. Research and analysis of classification of small amber pieces by form and color. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Armantas Ostreika; Informatics Faculty, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Physical science, informatics.

Keywords: computer vision, expert system, objects classification

Kaunas, 2019. 63 p.

## **Summary**

The problem of classification of amber is known for a long time among artisans of amber art. Existing automated classification solutions in the past have sorted the amber according to color, but there is a need to expand the possibilities of classifying amber. The proposed solution is able to classify amber by size (optional number of classes), by shape (square, rectangular, oval, circular, trapezoidal, diamond, triangle and asymmetric) and by color.

To estimate the size of an object, the number of white pixels that make up the object can be calculated, which can easily be converted to physical unit. This obtained parameter is used as a property for classifying an object by size, which is assigned to predefined classes. Ratings for class assignments are calculated automatically by specifying the desired number of classes and the maximum number of pixels in the object assigned to the highest class.

The proposed color classification divides the amber picture into a specified number of segments and evaluates the difference between segments and white color. The algorithm is capable of self-learning. Amber is classified according to the value of tolerance, which reflects the maximum difference between amber segments and white color.

A new algorithm was adopted for evaluating the amber form, using additional steps of image processing where the long axis of the object is calculated and rotated parallel to the x coordinate axis. Few more rotation procedures are applied (if necessary), where the narrowest part of the object is aligned to the right with respect to the x axis, and at the top with respect to the y axis. The algorithm used evaluates the length of the object x and y axes passing through the center of the object, the real area of the object, and the actual area of the object, diagonals rotated at a 45-degree angle from those axes and adjacent to the edge of the object. The form of the object is not defined unambiguously, even the expert (human) assignments are not unambiguous. This problem is solved by introducing tolerance values.

The resulting classes can be combined - the number of classes is limited to the number of "pockets" of the device used for classification. The proposed form classification is up to 11 times faster than using a decision tree ensemble consisting of 3 decision trees. Previous decisions required expert intervention, which had to manually select amber for classes - suggested solution avoids this step

## Turinys

Lentelių sąrašas.....	7
Paveikslų sąrašas .....	8
Įvadas.....	9
1. Objektų atpažinimo ir klasifikavimo sprendimų analizė .....	11
1.1. Esamo gintarų atpažinimo ir klasifikavimo sprendimo pagal spalvą analizė .....	11
1.2. Esamo gintarų atpažinimo ir klasifikavimo sprendimo pagal formą analizė .....	13
1.3. Neuroninių tinklų pritaikymas.....	14
1.3.1. Konvoliuciniai neuroniniai tinklai .....	15
1.3.2. Kapsulės neuroninio tinklo modelis.....	16
2. Gintaro klasifikavimo algoritmo pagal dydį, forma ir spalva projektavimas .....	19
2.1. Panaudos atvejo modelis .....	19
2.2. Gintarų Klasifikavimo algoritmo scenarijų modeliai .....	19
2.2.1. Sistemos parametrų pasirinkimas.....	19
2.2.2. Klasifikavimo parametrų pasirinkimas .....	20
2.2.3. Gintarų klasifikavimo ciklas .....	22
2.3. Pirminis gintaro nuotraukos apdirbimas.....	25
2.4. Klasifikavimo pagal dydį algoritmas .....	25
2.5. Klasifikavimo pagal formą algoritmas .....	25
2.6. Klasifikavimo pagal spalvą algoritmas .....	30
3. Gintarų klasifikavimo sprendimo eksperimentinė dalis .....	32
3.1. Gintarų nuotraukų apdorojimas savybėms išskirti .....	32
3.2. Gintarų dydžio savybių išskyrimas .....	34
3.3. Gintarų formos savybių išskyrimas .....	35
3.3.1. Eksperimentai su gintarų nuotraukomis.....	36
3.3.2. Eksperimentai su keturių pagrindinių formų duomenų rinkiniu.....	38
3.4. Gintarų spalvos savybių išskyrimas .....	40
3.5. Gintaro klasių kombinavimas.....	43
3.5.1. Dydžio ir spalvos klasių kombinavimas .....	43
3.5.2. Dydžio ir formos klasių kombinavimas .....	44
3.5.3. Formos ir spalvos klasių kombinavimas.....	44
Išvados.....	46
Literatūros sąrašas .....	47
Priedai.....	49

## Lentelių sąrašas

2.1. lentelė. Sistemos parametrų pasirinkimo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas.....	20
2.2. lentelė. Klasifikavimo parametrų pasirinkimo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas .....	21
2.3. lentelė. Gintarų klasifikavimo ciklo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas .....	24
2.4. lentelė. Formos atpažinimo algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas .....	26
2.5. lentelė. Trikampio formos atpažinimo algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas.....	27
2.6. lentelė. Simetrinės neproporcingos formos algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas.....	28
2.7. lentelė. Simetrinės proporcingos formos algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas.....	29
2.8. lentelė. Segmentų atstumo iki baltos spalvos radimo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas.....	30
2.9. lentelė. Automatinio spalvos klasifikavimo algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas.....	31
3.1. lentelė. Gintaro klasifikavimo pagal dydį rezultatų statistiniai duomenys. ....	34
3.2. lentelė. Gintaro klasifikavimo pagal dydį rezultatai .....	34
3.3. lentelė. Klasifikavimo pagal formą su skirtingomis tolerancijos reikšmėmis rezultatai .....	36
3.4. lentelė. Skirtingų formos klasifikavimų metodų palyginimas .....	37
3.5. lentelė. Formų duomenų rinkinio pavyzdžiai .....	39
3.6. lentelė. pagrindinių formų duomenų rinkinio klasifikavimo rezultatai .....	39
3.7. lentelė. Gintaro klasifikavimo pagal spalvą rezultatų statistiniai duomenys. ....	41
3.8. lentelė. Gintaro klasifikavimo pagal spalvą automatiškai būdu rezultatai.....	41
3.9. lentelė. Dydžio ir spalvos klasių kombinavimo rezultatų statistiniai duomenys .....	43
3.10. lentelė. Gintaro dydžio ir formos klasių kombinavimo rezultatų statistiniai duomenys .....	44
3.11. lentelė. Gintaro spalvos ir formos klasių kombinavimo rezultatų statistiniai duomenys .....	45

## Paveikslų sąrašas

1.1. pav. HSV spalvų modelis.....	12
1.2. pav. Gintaro sudalinimas į koocentrinius žiedus [7].....	12
1.3. pav. Sprendimų medžio modelis [11] .....	13
1.4. pav. Gintaro formos klasifikavimui parenkami atskaitos taškai .....	14
1.5 pav. Konvoliucinio neuroninio tinklo modelio architektūra [19] .....	15
1.6. pav. ReLU funkcijos grafinis atvaizdavimas [20] .....	16
1.7. pav. Kapsulės neuroninio tinklo architektūra[23].....	17
1.8. pav. Pradinės kapsulės pavyzdys [24].....	17
1.9. pav. Maršrutizavimo pagal susitarimą principas [25].....	18
2.1. pav. Gintarų klasifikavimo sistemos komponentės.....	19
2.2. pav. Panaudos atvejų modelis .....	19
2.3. pav. Sistemos parametrų pasirinkimo veiklos diagrama.....	20
2.4 pav. Klasifikavimo parametrų pasirinkimo veiklos diagrama .....	21
2.5. pav. Gintaro klasifikavimo ciklo veiklos diagrama .....	23
2.6. pav. Formai nustatyti ir dydžiui įvertinti.....	26
2.7 pav. Formos atpažinimo algoritmo veiklos diagrama.....	26
2.8. pav. Trikampio formos atpažinimo algoritmo veiklos diagrama.....	27
2.9. pav. Simetrinės neproporcingos formos algoritmo veiklos diagrama.....	28
2.10. pav. Simetrinės proporcingos formos algoritmo veiklos diagrama .....	29
2.11. pav. Segmentų atstumo iki baltos spalvos radimo veiklos diagrama.....	30
2.12. pav. Automatinio spalvos klasifikavimo algoritmo veiklos diagrama.....	31
3.1. pav. Gintarų nuotraukų pavyzdžiai .....	32
3.2. pav. Gintarų nuotraukų „grayscale“ spalvų paletėje pavyzdžiai.....	33
3.3. pav. Gintarų nuotraukos su koreguotomis kontrasto reikšmėmis .....	33
3.4. pav. Gintarų nuotraukos konvertuotos į dvireikšmė spalvų erdvę. ....	33
3.5. pav. Gintarų nuotraukos, kur gintaras identifikuojamas vientisa balta spalva.....	34
3.6. pav. Gintaro gabalelis prieš ir po pasūkimo operacijų.....	35
3.7. pav. Radimas matmenų, reikalingų objekto formai nustatyti .....	35
3.8. pav. Pastebėtas CDF metodo trūkumas.....	38
3.9. pav. santykinių dydžių ir CDF metodo gintaro klasės vidutinis nustatymo laikas .....	38
3.10. pav. santykinių dydžių ir CDF metodo klasifikavimo tikslumas.....	39
3.11 .pav. Santykinių dydžių ir CDF metodo vidutinis klasifikavimo laikas, naudojant pagrindinių formų duomenų rinkinį .....	40
3.12. pav. Gintarų nuotraukos pritaikius kaukę .....	40



## Išvadas

### Problemos aktualumas

Žmogaus smegenys apdoroja, analizuoja ir suvokia vaizdus. Pačiam žmogui šis procesas yra toks natūralus ir nesudėtingas, kad nėra lengva suprasti šio proceso veikimo mechanizmą. Žmogaus vizualinių vaizdų suvokimo proceso analizė ir nagrinėjimas bei analogiško veikimo mechanizmo perkėlimo į kompiuterį poreikis pasireiškė jau seniai. Pastaruoju metu sustiprėjus kompiuterio galimybėms ir patobulinus skaitmeninių vaizdų apdorojimo metodus atsirado galimybė pradėti kurti intelektualias sistemas, galinčias pakeisti žmogaus veiklą. Keliamas tikslas pakeisti žmogaus veiklą tose srityse, kuriose reikalaujama daug vaizdinės informacijos analizės. Todėl vaizdų apdorojimo ir analizės metodai taikomi tose srityse, kuriose reikia priimti sprendimą vadovaujantis iš aplinkos gauta vizualine informacija. Tai ypač pravartu toje veikloje, kurioje reikia ilgo ir įtempto žmogaus darbo. Viena tokiu sričių gali būti ir vaizdo kamera užfiksuotų stebimo objekto dvimačių vaizdų analizė. Mokslininkai šioje srityje yra pasiekę gerų rezultatų išgaudami vaizdinius atributus (ypatybes / savybes) ir jas panaudojant klasifikuojant ir rūšiuojant objektus į nedidelį kategorijų skaičių. Pirmosios ir antrosios eilės statistinės savybės [1] buvo naudojamos vizualiniam paviršiaus įvertinimui. Rūšiavimas dažnai naudojamas maisto pramonėje [2] atskirti objektus, atliekų perdirbimo operacijose [3]. Šios sistemos yra pagrįstos objekto paviršių optinių savybių išgavimu panaudojant skirtingų tipų jutiklius, pavyzdžiui, CCD kameros, spektroskopija [4], stereo matymas, infraraudonųjų spindulių šviesa. Optinės savybės priklauso nuo apšvietimo sąlygų, dėl ko svarbu objektus izoliuoti nuo aplinkos ir įrengti dirbtinio apšvietimo šaltinį. Tokios sistemos turi griežtus jų darbo sąlygų reikalavimus.

Klasifikuojant spalvotus vaizdus svarbu didelio greičio automatizavimo kokybės užtikrinimas. Panaudojant histogramos apribojimo metodus, taškų skaičiavimą, skirtingų tipų apšvietimą ir kontūro spalvinių tonų pašalinimą įmanoma gauti gerą klasifikacijos tikslumą [5].

Akivaizdu, kad vieno tipo objektų klasifikacija yra dar sudėtingesnė užduotis nei panašių objektų identifikavimas. Praktinė tyrimo problema yra susijusi su objekto taškų ir jų kraštinių – kontūro išgavimu tolesnei analizei naudojant segmentavimo metodus. Nustatant objekto dydį ir formą labai svarbu tiksliai išskirti objektą nuo fono. Kai objektai yra atskirti nuo fono, galima pradėti objekto savybių išgavimą.

Magistrinio tiriamojo darbo tikslas yra susipažinti bei išanalizuoti gintarų kokybinių savybių (spalvos, formos, dydžio) identifikavimo galimybes, ieškoti skirtingų metodų ar algoritmų, kurie padėtų kuo tiksliau įvertinti stebimo objekto kokybines savybes ir grupuoti į klases. Sprendimo pasirinkimui didelės įtakos turi greitaveika, nes sistema turi veikti realiu laiku.

### Tyrimo sritis ir objektas

Potenciali tyrimo sritis šiuo atveju yra labai plati. Objektų atpažinimas ir klasterizavimas yra plačiai pritaikomas tiek moksliniuose tyrimuose, kaip pavyzdžiui nykstančių banginių identifikavimas iš nuotraukų, tiek kasdieniniuose veiklose, kaip pavyzdžiui pašto adresų nuskaitymas nuo vokų. Yra daugybė skirtingų algoritmų šiems uždaviniams spręsti. Svarbus ne tik teorinis algoritmo modelis, bet ir jo pritaikymas konkrečiam uždaviniui ar aparatūrinei įrangai.

Tyrimo objektas – gintaras, naudojamas kuriant suvenyrus, paveikslus ar papuošalus.

### Gintaro savybės:

- Gintaras gali būti matinės, cukraus, baltos spalvos, dėl ko objekto tyrimas vienoje spalvos paletėje gali būti sudėtingas.
- Gintaras gali būti įvairių formų ir dydžių;
- Nagrinėjamų gintarų dydis iki 4 cm., dažniausiai objekto dydis nesiekia 1 cm

## **Tikslas ir uždaviniai**

### **Darbo tikslas:**

- sukurti vaizdų analizės algoritmą, gebantį identifikuoti gintaro klases atsižvelgiant į kokybines savybes (dydį, formą, spalvą) ant konvejerio realiu laiku (turint ribotą skaičiavimo laiko resursą).

### **Reikalavimai algoritmui:**

- Algoritmas gintarus klasifikuoja į grupes atsižvelgiant į objekto kokybines savybes: gintaro dydį, formą, spalvą (algoritmas sugeba išskirti panašias spalvos gamas į grupes);
- Algoritmo tikslumas turėtų būti didesnis nei 80 %;
- Algoritmas turi veikti realiu laiku.

## **Dokumento struktūra**

Dokumentą sudaro trys skyriai. Pirmame skyriuje, objektų atpažinimo ir klasifikavimo sprendimų analizė, pateikiama informacija apie esamus gintarų klasifikavimo sprendimus bei aprašomi neuroninių tinklų modeliai, kurie galėtų būti tinkami gintarų klasifikavimui. Antrame skyriuje, gintaro klasifikavimo algoritmo pagal dydį, forma ir spalva projektavimas, aprašomi gintaro spalvos, formos ir dydžio klasifikavimo algoritmai, pateikiamos veiklos diagramos bei veiklos diagramų scenarijaus aprašymai. Trečiame skyriuje, gintarų klasifikavimo sprendimo eksperimentinė dalis, pateikiama informacija apie atliktus eksperimentus klasifikuojant pagal spalva, formą, dydį bei kombinuojant šias klases.

## **1. Objektų atpažinimo ir klasifikavimo sprendimų analizė**

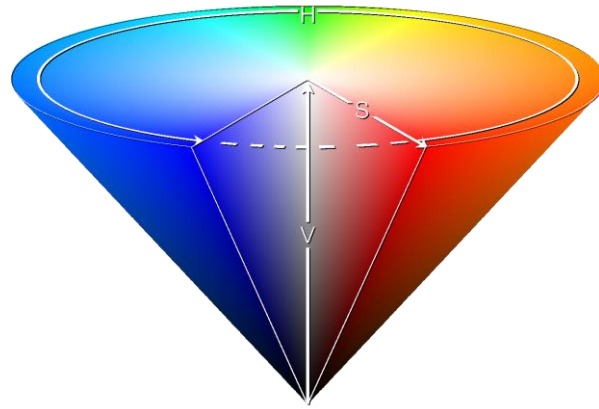
Objekto klasifikavimas pradedamas nuo savybių išgavimo. Šiame etape ypatybės gali būti skaitinės, diskretinės histogramos, empiriniai pasiskirstymai, tekstūros ypatybės, pavyzdžiui kontrastas, erdvinė struktūra, kryptis ir kt. Šios savybės naudojamos mokymui. Iki šiol buvo pasiūlyta daug būdų, kaip klasifikuoti objektus, kurio efektyvumas labai priklauso nuo išgautų savybių tipo. Statistinio apdorojimo metodai sudaro didžiąją dalį kompiuterinių vaizdų apdorojime. Šioje grupėje yra naudojami metodai, kuriais remiantis gaunami požymiai iš statistinių skaičiavimų. Pirmojo, antrojo ir aukštesnio lygio statistiniai rodikliai yra tarp šių metodų. Skirtumas tarp šių trijų savybių yra tas, kad pirmojo lygio vieno taško specifikacija apskaičiuojama neatsižvelgiant į vaizdo taškų sąveiką. Nors antro lygio ir aukštesnio lygio statistikos ypatybės, specifikacija apskaičiuojama atsižvelgiant į dviejų ar daugiau taškų priklausomybę [6].

Pirmosios eilės statistiniai rodikliai apskaičiuojami tiesiai iš pirminio vaizdo taškų pilkųjų lygių, nepriklausomai nuo jų erdvinio ryšio. Paprastai pirmojo lygio statistiniai indeksai gaunami apskaičiuojant vaizdo histogramos statistinius momentus. Vaizdo histograma - tai dvimatis vaizdas, kaip pilka spalva yra išsklaidyta vaizde. Paprastai histograma yra grafinis vaizdas. Jis parodo optinį vaizdo turinį. Optinio turinio reikšmė yra šviesos ir tamsos dydis.

Gintarai gali būti klasifikuojami atsižvelgiant į įvairias jų kokybines savybes: spalvą, formą, dydį. Vienas iš sudėtingesnių etapų klasifikuojant objektus yra juos išskirti į grupes, kai jie yra labai panašūs savo savybėmis. Pradžioje apžvelgsime egzistuojančius gintarų klasifikavimo metodus, o vėliau kelis neuroninių tinklų modelius, kurie galėtų tikti šiai užduočiai spręsti.

### **1.1. Esamo gintarų atpažinimo ir klasifikavimo sprendimo pagal spalvą analizė**

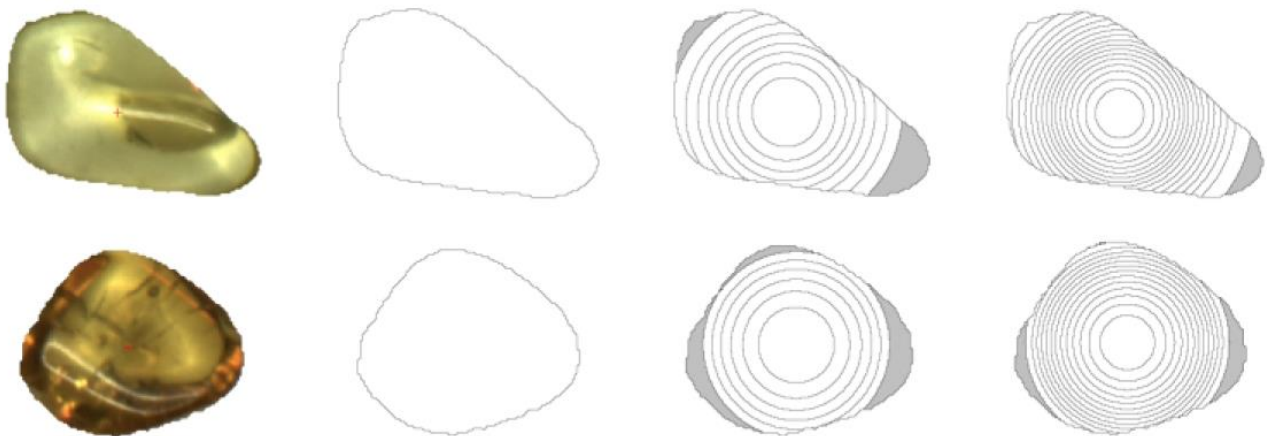
Vienas iš būdų skirstyti panašių savybių objektus į klases yra pasinaudoti spalvų histogramą. Publikacijose [7][8][9] aprašomi gintarų klasifikavimo pagal jų spalvines charakteristikas metodai. Aprašyti algoritmai klasifikuoja gintarus atsižvelgiant HSV (straipsnio autoriai pažymi, kad jų taikomam metodui ši spalvų paletė tinka geriausiai dėl gintaro spalvų gamos ir atspalvių) ir Grayscale spalvų paletės savybes. HSV spalvų paletė yra RGB spalvų paletės modelio transformacija ir yra kilusi iš pastarosios. RGB spalvų modelis žmogaus požiūriu nėra intuityvus, žmogus tikisi keisti tik vieną parametą, kad gautų tamsesnę spalvą. Žmogui būtų sunku nuspėti R, G ir B kitimus, reikalingus išgauti norimai spalvai. Panašiai ir kompiuteriui sunku suprasti, kad spalvos panašios pakeitus šiek tiek RGB parametrus. HSL ir HSV spalvų modeliai pateikia RGB reikšmes cilindrinėje formoje, kad gaunamos vizualios spalvos būtų kuo artimesnis žmogaus matomoms spalvoms. Pav. 1.1. pavaizduotas HSV spalvų modelis.



**1.1. pav.** HSV spalvų modelis

Panašus modelis yra HSI, kuris yra dažnai naudojamas kompiuteriniame vaizdavime HSL, HSV ir HSI skiriasi tik trečia komponente – L reiškia šviesuma (*angl. lightnes*), V reiškia vertę (*angl. value*) ir I reiškia intensyvumą (*angl. intensity*). Pirmą ir antrą komponentes yra atspalvis ir prisotinimas [10].

Gintarų klasifikavimui reikalingų savybių išgavimas pradedamas gintaro objekto atskyrimu nuo fono. Savybių išgavimui gautas objektas sudalinamas į koocentrinus žiedus – regionus. Pav. 1.2 pavaizduotas gintaro sudalinimas į koocentrinus žiedus.

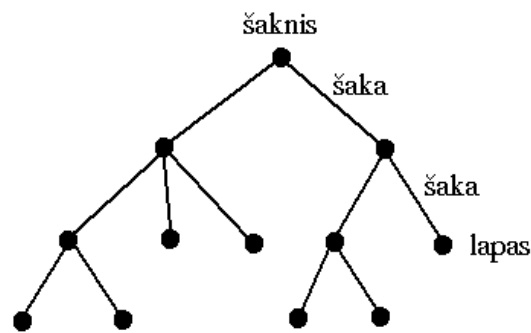


**1.2. pav.** Gintaro sudalinimas į koocentrinus žiedus [7]

Kiekvienam regionui apskaičiuojamas spalvos vidurkis, standartinis nuokrypis, ekscesas ir asimetrijos koeficientas. Šie įverčiai apskaičiuojami kiekvienai spalvos paletės dedamajai H, S ir V. Visos reikšmės surašomos į matricos eilutę. Vienas analizuojamas objektas turi tiek matricos eilučių kiek yra skirtingų regionų.

Gintaro savybių įvertinimui naudojamas sprendimų medžių ansamblis. Sprendimų medis sukuria klasifikavimo arba regresijos modelius medžio struktūros pavidalu. Jis suskaido duomenų rinkinį į mažesnius pogrupius, tuo pačiu metu palaipsniui plėtojant susijusį sprendimų medį. Galutinis rezultatas yra medis, kuriame yra sprendimų mazgai ir lapų mazgai. Sprendimo mazgas turi du ar daugiau šakų. Lapų mazgas yra klasifikacija arba sprendimas. Aukščiausias sprendimas mazgas medyje, kuris atitinka geriausią prognozuotoją, vadinamą šakniniu mazgu. Sprendimų medžiai gali

tvarkyti ir kategorinius, ir skaitinius duomenis. Pav. 1.3 pavaizduotas gintaro sprendimų medžio modelis.



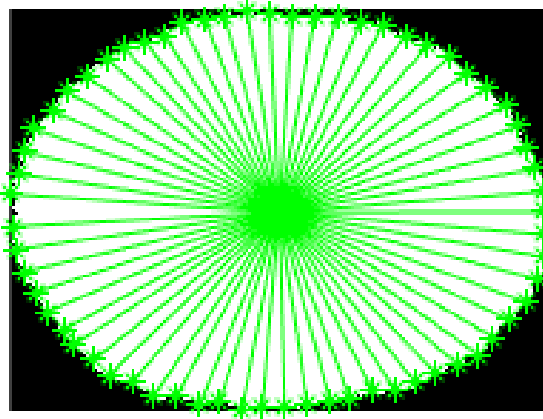
1.3. pav. Sprendimų medžio modelis [11]

Algoritmas naudoja medžių ansamblį sudarytą iš kelių sprendimų medžių, kurie buvo apmokyti su skirtingomis apmokymo ir testavimo dalimis. Galutinis sprendimas yra sprendimų medžių ansamblio nustatyta klasė.

Šis sprendimas naudoja sprendimų medį, kuris yra priskiriamas prie prižiūravimo kompiuterio mokymosi metodų. Prižiūrėjimas kompiuterio mokymas remiasi įvesties kintamaisiais ( $x$ ) ir išvesties kintamaisiais ( $Y$ ). Algoritmas, atsižvelgiant į pasirinktą modelį, mokosi susieti įvesties ir išvesties reikšmes. Tikslas yra taip gerai parinkti modelį ir jo reikšmes, kad turint naujus įvesties duomenis ( $x$ ) būtų galima numatyti tų duomenų išvesties kintamuosius ( $Y$ ). Tai vadinama prižiūrėjimu mokymusi, nes mokymosi iš duomenų rinkinio algoritmo procesą galima laikyti mokytoju prižiūrinčiu mokymosi procesą. Yra žinomi teisingi atsakymai, algoritmas kartoją mokymąsi ir pateikia duomenų prognozes, kurias pataiso mokytojas. Žmogus – ekspertas pradžioje turi atrinkti gintarus pagal spalvas į klases rankiniu būdu, apmokyti sprendimų medžius ir tik tada klasifikuoti. Sudarytas sprendimų medis gali būti išsaugomas ir panaudojamas tolesniam klasifikavimui, tačiau suformuoti sprendimui medžiai pateiks tuos pačius rezultatus, nors klasifikavimo pagal spalvas poreikis ir bus pasikeitęs.

## 1.2. Esamo gintarų atpažinimo ir klasifikavimo sprendimo pagal formą analizė

Literatūroje yra įvairių objektų formų savybių išskyrimo būdų, tačiau juos galima suskirstyti į dvi grupes: kontūro formos ir regiono formų savybių išskyrimas[12]. Publikacijoje [13][14] aprašomas gintarų klasifikavimas atsižvelgiant į formą pasinaudojant kontūro savybių išgavimu. Algoritmo darbas prasideda apdorojant kiekvieną nuotrauką. Pradžioje nuotrauką konvertuojama iš RGB spalvų paletės į binarinę. Vėliau yra užpildomos tuščios erdvės objekte bei pašalinami šešėliai. Paveikslėlis yra normalizuojamas taip, kad objekto ilgoji dalis būtų lygiagrečiai su  $x$  ašimi. Galiausiai objekto paveikslėlis yra padaromas 256x256 taškų dydžio. Objekto formos identifikavimui panaudota centroidų atstumų funkcija (*angl. Centroid distance function - CDF*). Tai vienmatė funkcija išreikšta atstumu nuo atskaitos taškų iki objekto centro. Kiekvienai nuotraukai pasirenkami 64 atskaitos taškai. Pav. 1.4 pavaizduotas gintaro formos klasifikavimui parenkami atskaitos taškai.



**1.4. pav.** Gintaro formos klasifikavimui parenkami atskaitos taškai

Atskaitos taškų koordinatės randamos pasinaudojus Moore–Neighbor sekimo algoritmu modifikuotu Jacob's sustojimo kriterijumi [15], ko pasekoje gaunamas masyvas su objekto kontūro koordinatėmis. Posūkio kampo įtakai pašalinti pritaikoma žiedinio postūmio operacija (*angl. circular shift*), ko pasekoje gaunama 64x64 matrica. Gauta matrica normalizuojama (gintaro dydžio poveikiui pašalinti) ir apverčiama (gintaro veidrodiniam atspindžiui pašalinti), ko pasekoje gaunama 128x64 matrica, kuri naudojama klasifikavimui.

Algoritmas naudoja medžių ansamblį sudarytą iš kelių sprendimų medžių, kurie buvo apmokyti su skirtingomis apmokymo ir testavimo dalimis. Galutinis sprendimas yra sprendimų medžių ansamblio nustatyta klasė. Kiekvienai gintaro nuotraukai sudaroma 128x64 matrica, kuri pateikiama sprendimų medžių ansamblui. Dėl gana didelio duomenų kiekio, reikalingo apibūdinti gintaro formą, algoritmas gali būti netinkamas realaus laiko veikimo sistemoms, nes reikalauja didelių resursų. Kaip ir anksčiau minėtam algoritmui spalvų identifikavimui – šiam taip pat reikalingas žmogus – ekspertas, kuris pradžioje turi atrinkti gintarus pagal formas į klases rankiniu būdu, apmokyti sprendimų medžius ir tik tada klasifikuoti.

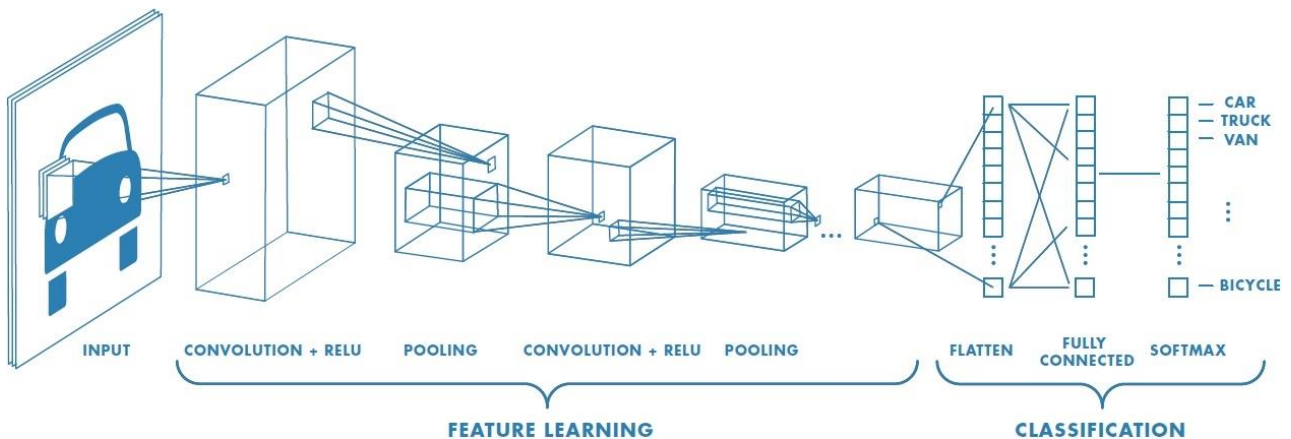
Autoriai [16], [17] formoms identifikuoti siūlo naudoti panašius metodus, kur yra įvertinamas objekto perimetro ir ploto santykis. Šio santykio reikšmės priskiriamos iš anksto nustatytoms klasėms. Autoriai [16], [17] pasiekia aukštus (virš 90%) rezultatus klasifikuojant standartines formas (kvadratas, trikampis, stačiakampis, ovalas, apskritimas).

### **1.3. Neuroninių tinklų pritaikymas**

Neuroniniai tinklai yra dirbtinio intelekto dalis. Pagrindinis neuroninių tinklų tikslas yra duomenų struktūrų supratimas ir modelių sudarymas, kad šie duomenys galėtų būti suprantami žmonėms. Nors neuroniniai tinklai yra kompiuterių mokslo srities dalis, ji skiriasi nuo tradicinių skaičiavimo metodų. Tradiciniame skaičiavime yra programuojami algoritmai su aiškėmis instrukcijomis, kurias įvykdžius kompiuteris vykdo skaičiavimus ar kitas nurodytas funkcijas. Neuroninių tinklų algoritmai gali mokytis pagal įvedamus duomenis ir atlikus statistinę analizę, išgauti vertes, kurios patenka į tam tikrą intervalą. Neuroniniai tinklai leidžia kompiuteriams kurti modelius iš pavyzdinių duomenų, kad būtų galima automatizuoti sprendimų priėmimo procesus, pagrįstus duomenų įvedimu. Toliau aptarsime kelis neuroninių tinklų modelius, kurie skirti vaizdų klasifikavimui.

### 1.3.1. Konvoliuciniai neuroniniai tinklai

Konvoliuciniai neuroniniai tinklai yra naudojami vaizdų atpažinimui, paverčiant pradinį vaizdą per sluoksnius į prognozuojamos klasės tikimybę. Konvoliucinis neuroninis tinklas gali turėti dešimtis ar šimtus sluoksnių, iš kurių kiekvienas mokosi aptikti skirtingas vaizdo savybes [18]. Konvoliucinio neuroninio tinklo architektūra pavaizduota pav. 1.5.



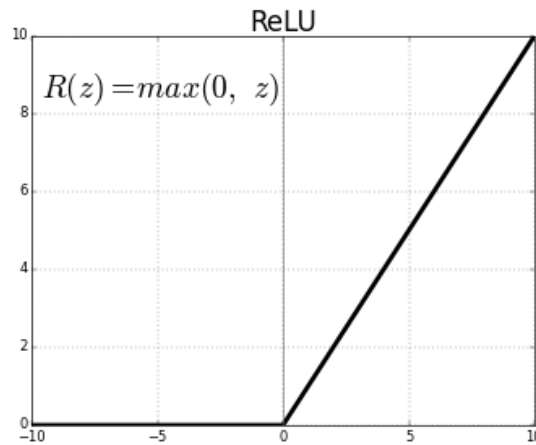
1.5 pav. Konvoliucinio neuroninio tinklo modelio architektūra [19]

Konvoliucinis neuroninis tinklas skaidomas į dvi pagrindines dalis: savybių išgavimo ir klasifikavimo.

Savybių išgavimo dalį sudaro eilė sluoksnių susidedančių iš konvoliucinės dalies jai pritaikant ReLU netiesiškumo funkciją ir telkinio (*angl. pool*) dalies.

Konvoliucinė sluoksnio dalis skirta išgauti įvesties duomenų savybėms. Jos išgaunamos įvesties duomenims pritaikant filtrą. Filtras kiekviename sluoksnyje yra fiksuoto dydžio su svoriais ir iteratyviai pritaikomas įvesties duomenims atsižvelgiant į žingsnio dydį. Filtrai taikomi kiekvienam vaizdai iš treniruojamos imties su skirtingos raiškos formomis, o kiekvieno sluoksnio išvestis naudojama kaip įėjimas į kitą sluoksnį. Filtrų svoriai gaunami naudojant galinio mokymosi metodą (*angl. back propogation*). Tam gali būti panaudotas gradientų nusileidimo (*angl. gradient decent*) metodas. Filtrai gali prasidėti labai paprastomis funkcijomis, tokiomis kaip ryškumas ar kraštai ir toliau darytis sudėtingesni, kurie unikaliam apibrėžia objektą.

Gautoms naujoms reikšmėms yra pritaikoma ReLU netiesiškumo funkcija  $\max(0, x)$ , kuri paverčia neigiamas vertes nuliais. Šis funkcija nesikeičia tūrio dydžio ir neturi hiperparametrų. ReLU funkcija pavaizduota 1.6. pav.



1.6. pav. ReLU funkcijos grafinis atvaizdavimas [20]

Telkionio dalis atlieka įvesties duomenų sumažinimo funkciją, kad modelio skaičiavimo sudėtingumas būtų lengvesnis. Ji taip pat kontroliuoja pertvarkymą ir veikia atskirai kiekvienam įvesties sluoksniui. Yra skirtingos funkcijos, tokios kaip didžiausias telkinys (*angl. max pooling*) ar vidutinis telkinys (*angl. average pooling*). Praktikoje dažniausia naudojama didžiausio telkinio funkcija, kuri apima tik svarbiausią dalį įvesties duomenų apimtyje [20].

Klasifikavimo dalis susideda iš visiškai sujungtų sluoksnių ir „*Softmax*“ aktyvinimo funkcijos.

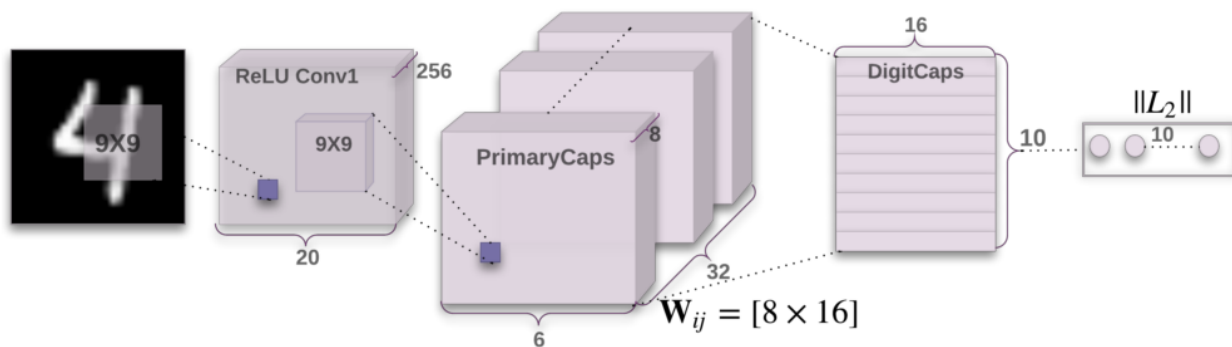
Visiškai sujungti sluoksniai sujungia kiekvieną neuroną viename sluoksnyje prie kiekvieno kito sluoksnio neurono. Paskutinis visiškai prijungtas sluoksnis naudoja „*Softmax*“ aktyvinimo funkciją.

„*Softmax*“ funkcija apskaičiuoja įvykio tikimybių pasiskirstymą. Ši funkcija apskaičiuoja kiekvienos tikslinės klasės tikimybes visoms įmanomoms tikslinėms klasėms. Pagrindinis „*Softmax*“ naudojimo privalumas yra išėjimo tikimybių diapazonas, kuris yra nuo 0 iki 1, o visų tikimybių suma yra lygi vienetui [21]. „*Softmax*“ funkcija grąžina kiekvienos klasės tikimybes, kur tikslinė klasė turės didžiausią reikšmę.

### 1.3.2. Kapsulės neuroninio tinklo modelis

Geoffrey Hinton publikacijoje [22] pristatė naują giliųjų neuroninių tinklų modelį – kapsulės neuroninį tinklą, kurio architektūra pavaizduota 1.7. pav. Kapsulė yra neuronų grupė, kurios vektorius reprezentuoja pradinius konkretaus objekto parametrus, tokius kaip pats objektas ar objekto dalis. Vektoriaus ilgis atspindi tikimybę, kad objektas egzistuoja, o vektoriaus orientacija reprezentuoja pradinius parametrus. Aktyvios kapsulės viename lygyje per transformacijos matricas prognozuoja aukštesnės klasės kapsulės pradinius parametrus. Kai keletas prognozių sutampa aukštesnio lygio kapsulė tampa aktyvia.

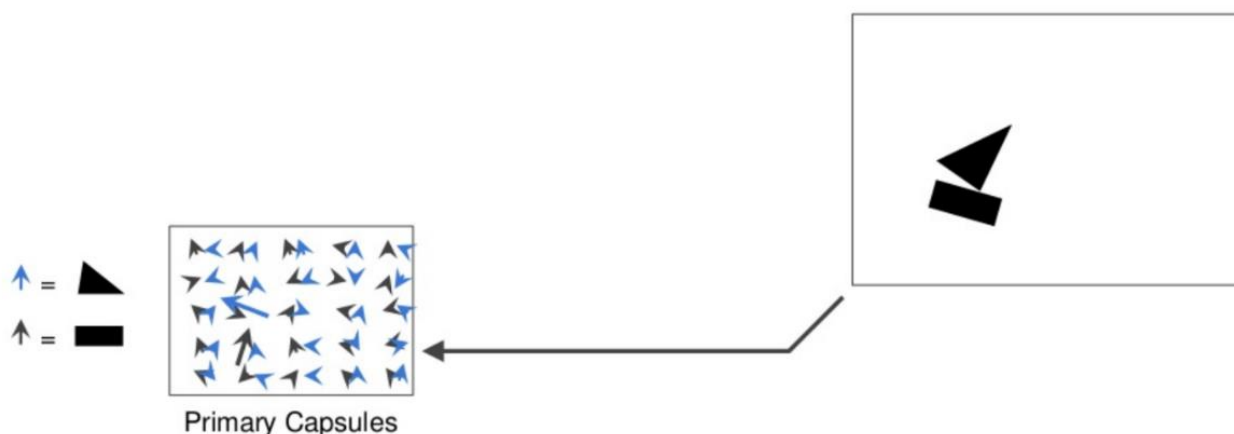




1.7. pav. Kapsulės neuroninio tinklo architektūra [23]

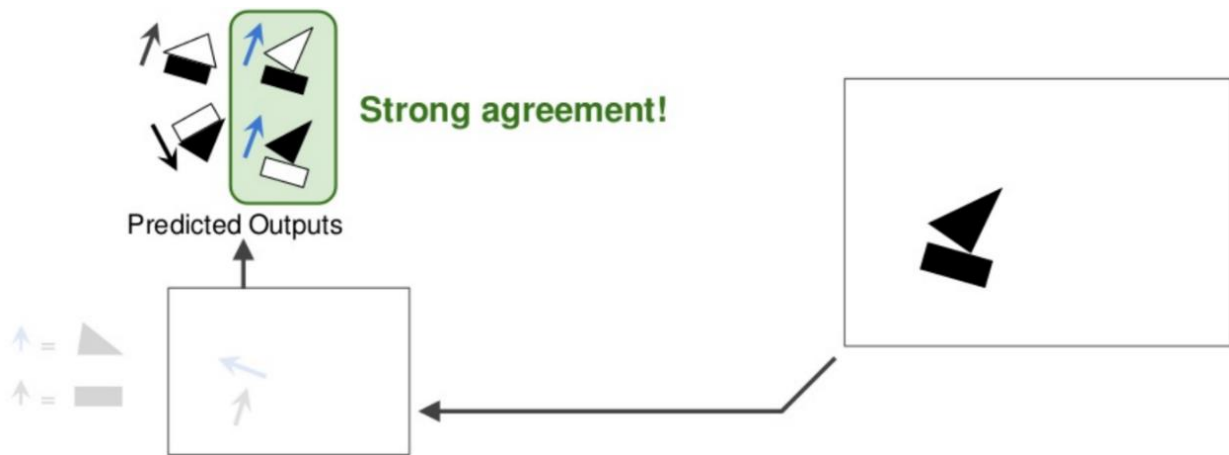
Pateiktoje kapsulės neuroninio tinklo architektūroje pradžioje naudojamas konvoliucinis sluoksnis. Šis sluoksnis išskiria pradines objekto savybes, kurios vėliau naudojamos kaip įvesties duomenys į pirmines kapsules. Anksčiau aptarta telkinio dalis, kuri atlieka įvesties duomenų sumažinimo funkciją, pakeičiama į kapsulę. Kapsulės apibūdina visą svarbią informaciją apie aptiktą savybę per vektorinę formą.

Kapsulės koduoja objekto savybės aptikimo tikimybę kaip išvesties vektoriaus ilgį. Pradinės kapsulės pavyzdys parodytas 1.8. pav.



1.8. pav. Pradinės kapsulės pavyzdys [24]

Vektoriaus kryptis nurodo aptiktos savybės būsenos pradinis parametras. Jei aptikta slavybė keičia poziciją tikimybė išlieka ta pati (vektoriaus ilgis nesikeičia), bet pasikeičia jo kryptis [24]. Vektorius siunčiamas į visus galimus aukštesnio lygio neuronus tinkle. Kiekvienam neuronui aukštesnio lygio kapsulėje galima rasti prognozavimo vektorių. Prognozavimo vektorius apskaičiuojamas dauginant jo svorį ir svorio matricą. Aukštesnio lygio kapsulės neuronas turintis didžiausią prognozavimo vektorinį ilgį padidina kapsulės ryšius. Šis metodas vadinama maršrutizavimas pagal susitarimą (*angl. routing by agreement*) ir yra geresnis už didžiausio telkinio metodą, kuris yra naudojamas konvoliuciniuose neuroniniuose tinkluose. Maršrutizavimo pagal susitarimą principas pavaizduotas 1.9. pav.



1.9. pav. Maršrutizavimo pagal susitarimą principas [25]

Žemesnio lygio kapsulė išsiunčia savo įvestį į aukštesnio lygio kapsulę, kuri „sutinka“ su jo įvestimi.

Kapsulės neuroniniuose tinkluose vietoj ReLU netiesiškumo funkcijos, kuri yra taikoma visiems neuronams, yra naudojama suspaudimo (*angl. squashing*) funkcija. Jos formulė ir sudedamosios dalys pateiktos žemiau:

$$V_j = \frac{\|S_j\|^2}{1 + \|S_j\|^2} \frac{S_j}{\|S_j\|} \quad (1.1)$$

$$S_j = \sum_i c_{ij} \hat{u}_{j|i} \quad (1.2)$$

$$\hat{u}_{j|i} = W_{ij} u_i \quad (1.3)$$

$$c_{ij} = \frac{\exp(b_{ij})}{\sum_k \exp(b_{ik})} \quad (1.4)$$

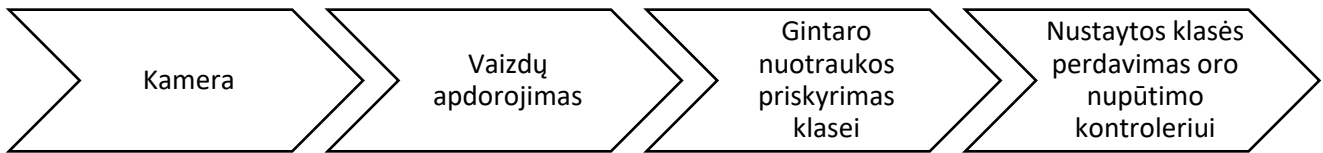
Bendra kapsulių įvesties  $S_j$  reikšmė yra suma visų „Prognozuojamų vektorių“  $u_{j|i}$  iš žemiau esančio kapsulių sluoksnio, išskyrus pirmąjį kapsulių sluoksnį. Ji gaunama dauginant žemiau esančio sluoksnio kapsulės išvestis  $u_i$  su svorio matrica  $W_{ij}$ , kur  $C_{ij}$  yra jungimo koeficientai, kurie yra nustatomi pagal kartotinį dinaminio maršrutizavimo pagal susitarimą procesą. [22]

Suspaudimo netiesiškumas pritaikomas visai kapsulei, o ne kiekvienam individualiam neuronui. Ši funkcija suspaudžia kapsulės išėjimo vektoriaus ilgį. Jei vektorius yra mažas, jis sumažės iki 0, o jei vektorius yra ilgas jis bus apribotas iki 1.

Neuroniniai tinklai veikia „juodos dėžės“ principu – jų klasifikavimo rezultatus sunku interpretuoti, todėl gintaro dydžio, formos ir spalvos klasifikavimui nutarta naudoti statistinius duomenis, gaunamus iš gintaro nuotraukų.

## 2. Gintaro klasifikavimo algoritmo pagal dydį, forma ir spalva projektavimas

Gintarų klasifikavimo sistemos veikimas sudaryta iš keturių pagrindinių komponentų pavaizduotų pav. 2.1.

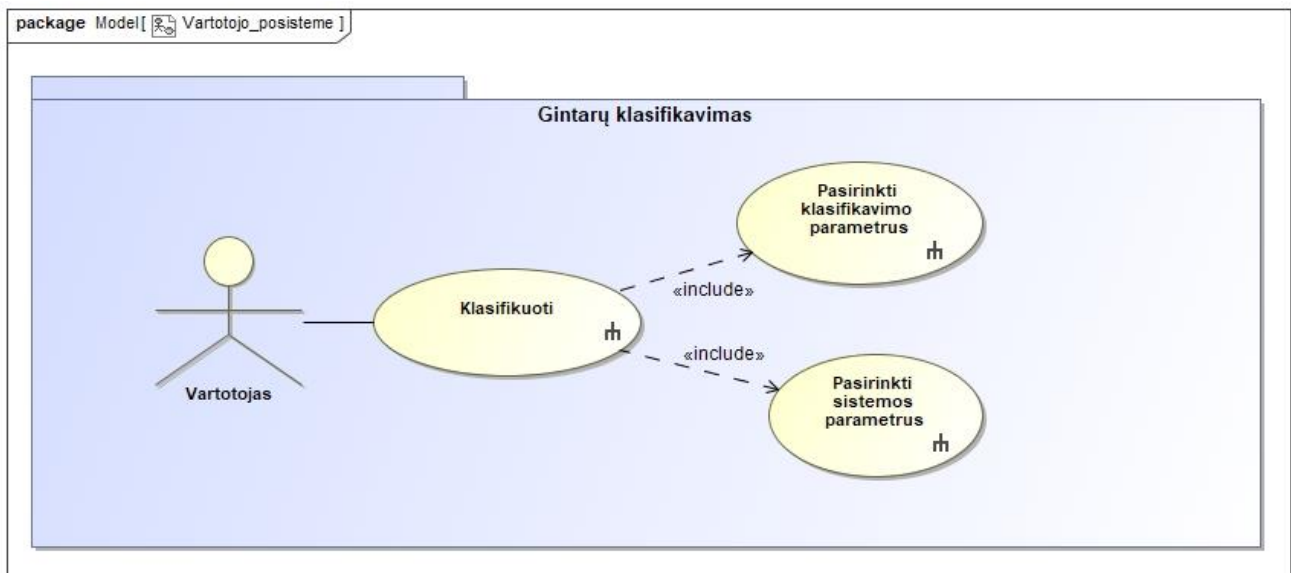


2.1. pav. Gintarų klasifikavimo sistemos komponentės

Vaizdas gaunamas iš kameros ir pateikiamas vaizdų apdorojimo algoritmui, kuris įvertinęs parametrus priskiria nuotrauką vienai iš klasių. Algoritmas pateikia nustatytą klasę kontrolieriui, kuris reguliuoja oro nupūtimo daviklius. Kontroleris nustatyto metu nupučia gintaro gabalėlį į tam tikrą „kišenę“, kuri reprezentuoja klasę. Projektuojant algoritmus ypatingas dėmesis skirtas algoritmų greitaveikai. Toliau aprašomas vaizdų apdorojimo ir klasės nustatymo algoritmai.

### 2.1. Panaudos atvejo modelis

Šiame skyriuje aprašomas gintaro klasifikavimo pagal dydį, forma ir spalva algoritmo funkcionalumas iš sistemos naudotojo perspektyvos. Aprašymui naudojamas panaudojimo atvejų modelis pavaizduotas pav. 2.2.



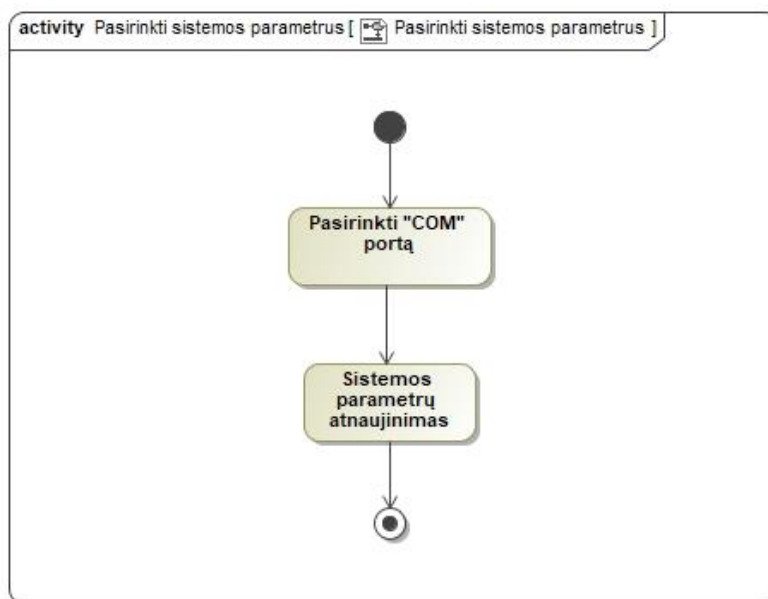
2.2. pav. Panaudos atvejų modelis

### 2.2. Gintarų Klasifikavimo algoritmo scenarijų modeliai

#### 2.2.1. Sistemos parametrų pasirinkimas

Algoritmui nustačius klasę rezultatai perduodami į oro nupūtimo kontrolierį, kuris prijungiamas prie kompiuterio per „COM“ jungtį. Kadangi „COM“ jungtis gali skirtis kiekviename naudojame

kompiuteryje, naudotojas gali pasirinkti „COM“ prievadą. Sistemos parametrų pasirinkimo veiklos diagrama pavaizduota 2.3. pav.



2.3. pav. Sistemos parametrų pasirinkimo veiklos diagrama

Sistemos parametrų pasirinkimo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas pateiktas lentelėje 2.1.

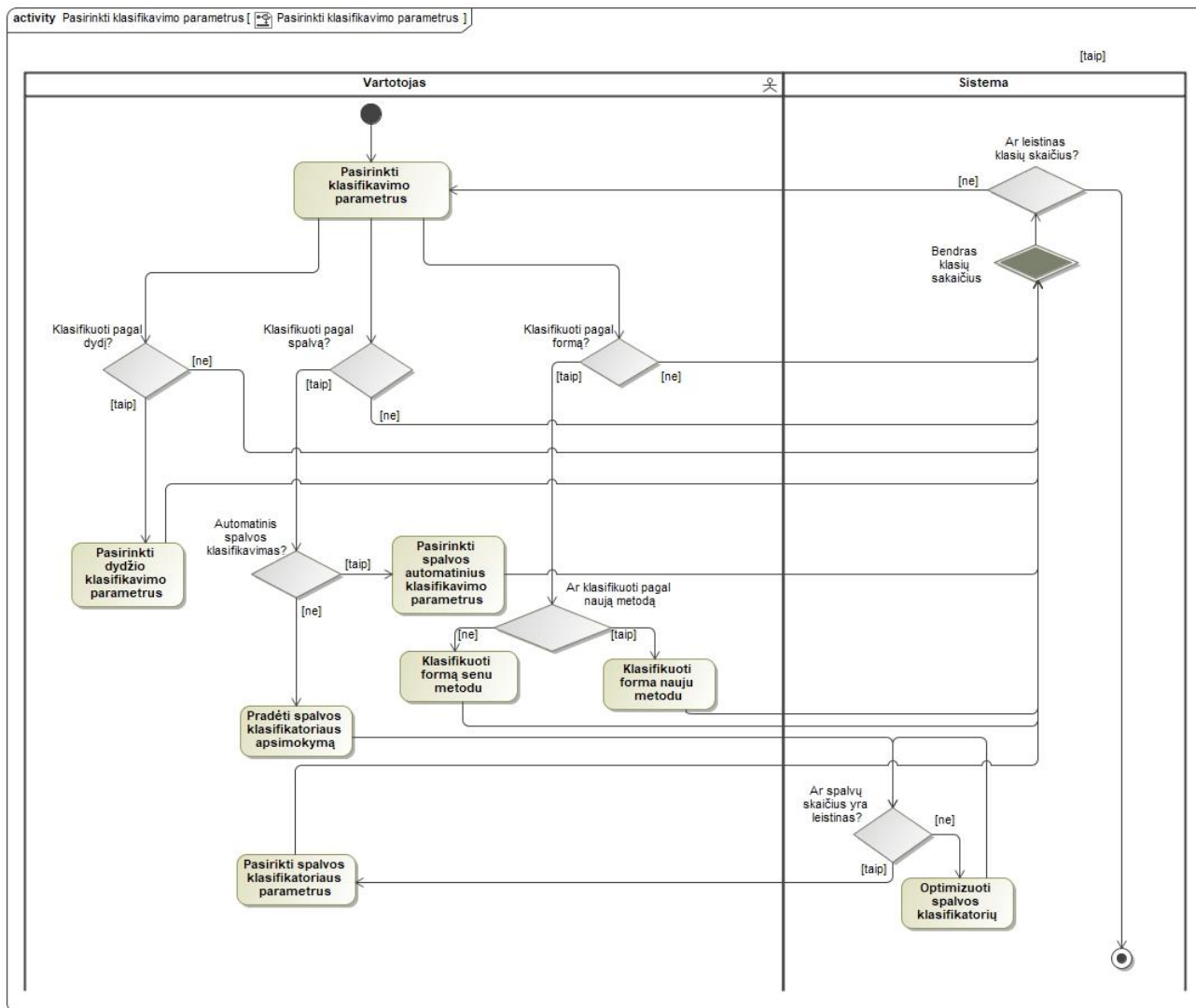
2.1. lentelė. Sistemos parametrų pasirinkimo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas

Pavadinimas	Aprašymas
Pasirinkti „COM“ prievadą	Vartotojas iš sąrašo gali pasirinkti jam tinkamą „COM“ prievadą (COM1 – COM6)
Sistemos parametrų atnaujinimas	Pasirinktas prievadas išsaugomas sistemoje kaip kintamasis

Pagal nutylėjimą yra parinktas „COM3“ prievadas, kuris yra dažniausiai naudojamas.

### 2.2.2. Klasifikavimo parametrų pasirinkimas

Vartotojas gali pasirinkti norimus gintaro klasifikavimo parametrus bei klasifikavimo tipus. Sistemos klasifikavimo algoritmas klasifikuoja gintarus į 24 klases (norint šį skaičių galima didinti arba mažinti). Šis skaičius pasirinktas siekiant prisitaikyti prie esamų gintarų rūšiavimo aparatų galimybių, kurie turi nuo 16 iki 24 „kišenių“. Vienu metu galima klasifikuoti gintarus pagal spalvą, dydį ir formą. Kombinuojant klases programa nurodo susidariusį bendrą klasių skaičių ir informuoja vartotoją jei susidaręs klasių skaičius yra neleistinas. Neleistinu klasių skaičiumi laikomas didesnis nei 24 ir 0. Bendras klasių skaičius yra 0 kai yra nepasirenkamas nei vienas klasifikavimo metodas. 2.4. pav. pavaizduota klasifikavimo parametrų pasirinkimo veiklos diagrama.



2.4 pav. Klasifikavimo parametrų pasirinkimo veiklos diagrama

Klasifikavimo parametrų pasirinkimo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas pateiktas 3.2. lentelėje.

2.2. lentelė. Klasifikavimo parametrų pasirinkimo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas

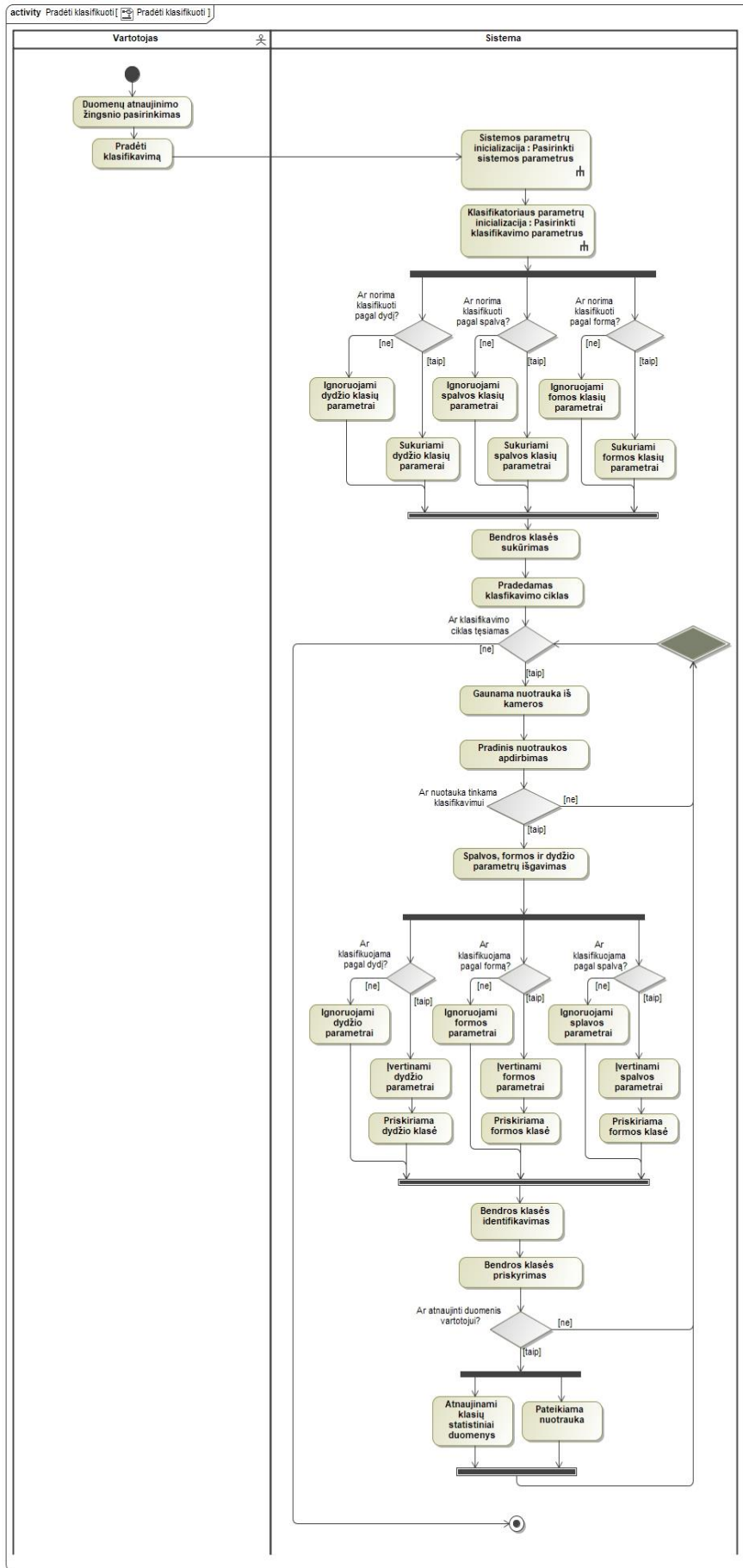
Pavadinimas	Aprašymas
Pasirinkti klasifikavimo parametrus	Vartotojas gali pasirinkti gintaro spalvos, formos ir dydžio klasifikavimo parametrus.
Pasirinkti dydžio klasifikavimo parametrus	Vartotojas, pasirinkęs klasifikavimą pagal dydį, gali nurodyti norimą klasių skaičių, prieš tai nurodęs didžiausią objekto taškų skaičių priskirtą aukščiausiai klasei.
Pasirinkti spalvos automatinius klasifikavimo parametrus	Vartotojas, pasirinkęs klasifikavimą pagal spalvą ir automatinį spalvos klasifikavimo būdą, gali nurodyti tolerancijos reikšmę, kuri nurodo spalvos skirtumą tarp skirtingų klasių.
Pradėti spalvos klasifikatoriaus apsimokymą	Vartotojas, pasirinkęs klasifikavimą pagal spalvą ir neautomatinį spalvos klasifikavimo būdą, gali pradėti spalvos klasifikatoriaus apsimokymą ir gali nurodyti

	tolerancijos reikšmę, kuri nurodo spalvos skirtumą tarp skirtingų klasių.
Pasirinkti spalvos klasifikatoriaus parametrus	Vartotojas, pasirinkęs klasifikavimą pagal spalvą ir neautomatinį spalvos klasifikavimo būdą, po spalvos klasifikatoriaus apsimokymo gali pasirinkti norimas klases.
Optimizuoti spalvos klasifikatorių	Sistema optimizuoja spalvos klasifikatorių, kai klasifikuojama neautomatiniu būdu, didindamas tolerancijos reikšmę, tol kol klasių skaičius pasiekia leistiną skaičių (šiuo atveju 12).
Klasifikuoti formą senu metodu	Vartotojas, pasirinkęs klasifikavimą pagal formą, gali pasirinkti klasifikavimo metodą, kuris naudoja CDF.
Klasifikuoti formą nauju metodu	Vartotojas, pasirinkęs klasifikavimą pagal formą, gali pasirinkti klasifikavimo metodą santykinų dydžių būdu, kuris naudoja šiame darbe pateiktą formos klasifikavimo algoritmą.

Vartotojas gali pradėti klasifikavimą tik pasirinkęs norimus klasifikavimo parametrus.

### 2.2.3. Gintarų klasifikavimo ciklas

Gintarų klasifikavimo ciklo veiklos diagrama pateikta 2.5. pav.



2.5. pav. Gintaro klasifikavimo ciklo veiklos diagrama

Gintarų klasifikavimo ciklo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas pateiktas 2.3. lentelėje.

**2.3. lentelė.** Gintarų klasifikavimo ciklo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas

<b>Pavadinimas</b>	<b>Aprašymas</b>
Duomenų atnaujinimo žingsnio pasirinkimas	Vartotojas gali pasirinkti duomenų atnaujinimo žingsnį – kuris nurodo duomenų atnaujinimo intervalą programoje. Duomenų atnaujinimo intervalas priklauso nuo sėkmingai nuskaitytos gintaro nuotraukos numerio.
Pradėti klasifikavimą	Vartotojas, paspaudęs mygtuką „Pradėti klasifikavimą“, pradeda gintarų klasifikavimo procesą.
Sistemos parametrų inicializavimas	Inicializuojami sistemos parametrai – pritaikomas pasirinktas „COM“ prievadas (2.1. lentelė.)
Klasifikatoriaus parametrų inicializavimas	Inicializuojami klasifikatoriaus parametrai (2.2. lentelė).
Sukuriami dydžių klasės parametrai	Jei pasirinktas klasifikavimas pagal dydį, sukuriama masyvas, kur eilutės numeris atitinka dydžio klasės numerį o pirmas ir antras stulpelis konkrečios klasės maksimalų ir minimalų taškų kiekį, priskirta konkrečiai klasei.
Ignoruojami dydžių klasės parametrai	Nepasirinkus klasifikavimo pagal dydį – dydžio klasės parametrų sudarymas praleidžiamas.
Sukuriami formos klasės parametrai	Sudaromas gintaro formos klasifikavimo masyvas statistinių duomenų analizei.
Ignoruojami formos klasės parametrai	Nepasirinkus klasifikavimo pagal formą – formos klasės parametrų sudarymas praleidžiamas.
Sukuriami spalvos klasių parametrai	Pasirinkus klasifikavimą pagal spalvą neautomatiniu būdu algoritmas klasifikuoja gintarus pagal vartotojo pasirinktus parametrus..
Ignoruojami spalvos klasės parametrai	Nepasirinkus klasifikavimo pagal spalvą – spalvos klasės parametrų sudarymas praleidžiamas.
Bendros klasės sukūrimas	Atsižvelgiant į pasirinktus klasifikavimo būdus sukuriama masyvas, kuris atspindi bendrą klasę. Masyvo elemento numeris atitinka bendros klasės numerį, o jo dydis – šioje klasėje esančių gintarų skaičių.
Pradedamas klasifikavimo ciklas	Klasifikavimo ciklo pradžia.
Gaunama nuotrauka iš kameros	Kamera perduoda vaizdą į kompiuterį tolimesniam apdorojimui.
Pradinis nuotraukos apdirbimas	Gautas iš kameros vaizdas apdirbamas – atskiriamas gintaras nuo fono. Jei gintaro nuotrauka yra nepilna ar nuotraukoje yra daugiau nei vienas gintaras – nuotrauka toliau neanalizuojama.
Spalvos, dydžio ir formos parametrų išgavimas	Išgaunami parametrai, kurie reikalingi formai, spalvai ar dydžiui identifikuoti.
Įvertinami dydžio parametrai	Apskaičiuojamas analizuojamo gintaro baltų taškų skaičius.
Priskiriama dydžio klasė	Algoritmas priskiria gintarui dydžio klasę



Ignoruojami dydžio parametrai	Jei nepasirinktas klasifikavimas pagal dydį, algoritmas ignoruoja gintaro dydžiui reikalingų parametru apskaičiavimą.
Įvertinami spalvos parametrai	Algoritmas suskaido analizuojamą gintarą į segmentus ir įvertina skirtumą tarp segmentų ir baltos spalvos.
Priskiriama spalvos klasė	Algoritmas priskiria gintarui spalvos klasę
Ignoruojami spalvos parametrai	Jei nepasirinktas klasifikavimas pagal spalvą, algoritmas ignoruoja spalvai formai reikalingų parametru apskaičiavimą.
Įvertinami formos parametrai	Algoritmas įvertina gintaro formos parametrus (priklausomai nuo pasirinkto metodo)
Priskiriama formos klasė	Algoritmas priskiria gintarui formos klasę
Ignoruojami formos parametrai	Jei nepasirinktas klasifikavimas pagal formą, algoritmas ignoruoja gintaro formai reikalingų parametru apskaičiavimą.
Bendros klasės identifikavimas	Atsižvelgiant į pasirinktus klasifikavimo būdus gintarui priskiriama bendra klasė.
Bendros klasės priskyrimas	Suformuotos bendros klasės perdavimas oro nupūtimo kontrolieriui.
Atnaujinami klasių statistiniai duomenys	Programoje pateikiama statistinė informaciją apie klasifikavimo procesą .
Pateikiama nuotrauka	Programoje pateikiama gintaro nuotrauka iš kameros.

Programos veikimo ciklą gali nutraukti vartotojos. Paleidus programą iš naujo – programos statistiniai duomenys skaičiuojami iš naujo. Programos veikimo metu klasifikatoriaus ar sistemos parametru keitimas neturi įtakos veikimui. Pakeitimai tampa aktyvūs tik paleidus programą iš naujo.

### 2.3. Pirminis gintaro nuotraukos apdirbimas

Pirmojo etapo metu būtina kokybiškai (su minimaliu trikdžių skaičiumi) atskirti analizuojamą objektą nuo fono. Konkrečiu atveju foną sukuria transportavimo juosta, kuri dažniausiai turi tam tikrą savo tekstūrą atsitiktinius įbrėžimus ir kitus nelygumus. Išskyrus objektą aplinkoje, gaunamas binarinis vaizdas, kuriame gintaro gabalėlį atitinka balti, o foną juodi taškai. Nuotraukoje, kurioje gintaras yra nevisas ar yra keli gintarai – nenagrinėjama.

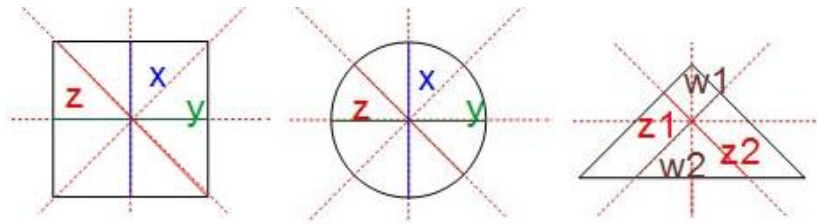
### 2.4. Klasifikavimo pagal dydį algoritmas

Objekto dydžiui įvertinti apskaičiuojamas objektą sudarančių baltų taškų kiekis, kuris nesunkiai gali būti konvertuojamas į fizikinius ploto vienetus. Šis gautas parametras naudojamas kaip savybė objektui klasifikuoti pagal dydį. Šis dydis priskiriamas iš anksto nustatytoms klasėms. Priskyrimo klasėms įverčiai apskaičiuojami automatiškai nurodant norimą klasių skaičių bei didžiausią objekto taškų skaičių priskirtą aukščiausiai klasei.

### 2.5. Klasifikavimo pagal formą algoritmas

Gintaro formai korektiškai įvertinti reikalingi papildomi nuotraukos apdorojimo etapai, kuriuose apskaičiuojama objekto ilgoji ašis ir ji pasukama lygiagrečiai x koordinačių ašies atžvilgiu. Gintaro

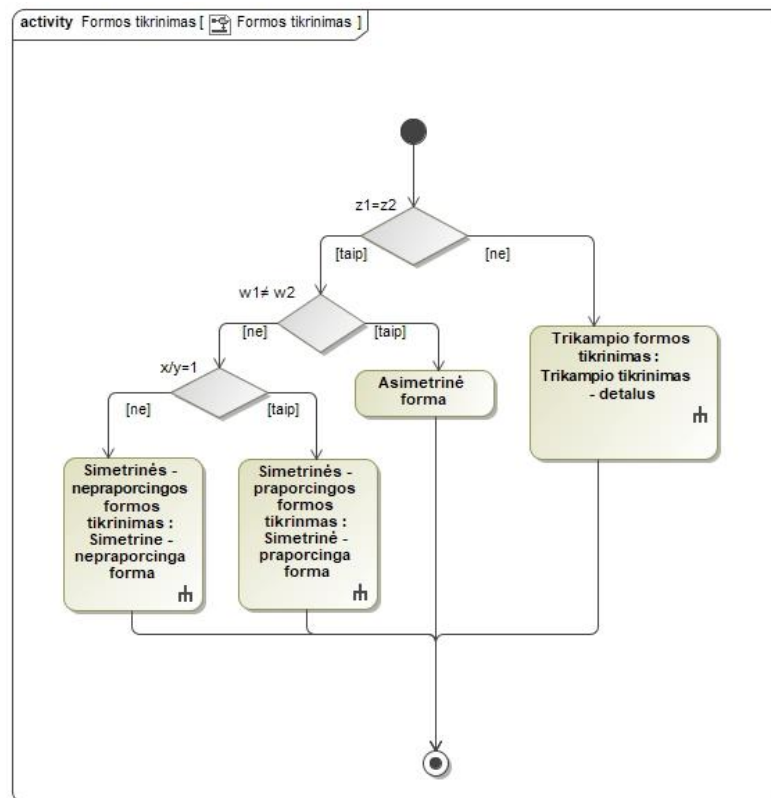
nuotraukai pritaikomos dar kelios pasukimo procedūros (jei reikalingos), kur objekto siauriausia dalis  $x$  ašies atžvilgiu atsiduria dešinėje, o  $y$  ašies atžvilgiu viršuje. Naudojamas algoritmas vertina objekto  $x$  ir  $y$  ašių ilgi, einantį per objekto centrą, įstrižainių, pasuktų 45 laipsnių kampu nuo minėtų ašių ir besiribojančių su objekto kraštinėmis ilgi, objekto realų plotą ir teorinį plotą. 2.6. pav. pavaizduoti objekto formos identifikavimui vertinami dydžiai.



2.6. pav. Formai nustatyti ir dydžiui įvertinti

Čia  $w1$  ir  $w2$  (analogiškai  $z1$  ir  $z2$ ) yra formos atitinkamų įstrižainių, pasuktų 45 laipsniu kampu, atstumas nuo objekto centro iki objekto kontūro.

Formos atpažinimo algoritmo veiklos diagrama pateikta 2.7 pav.



2.7 pav. Formos atpažinimo algoritmo veiklos diagrama

Formos atpažinimo algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas pateiktas 2.4. lentelėje.

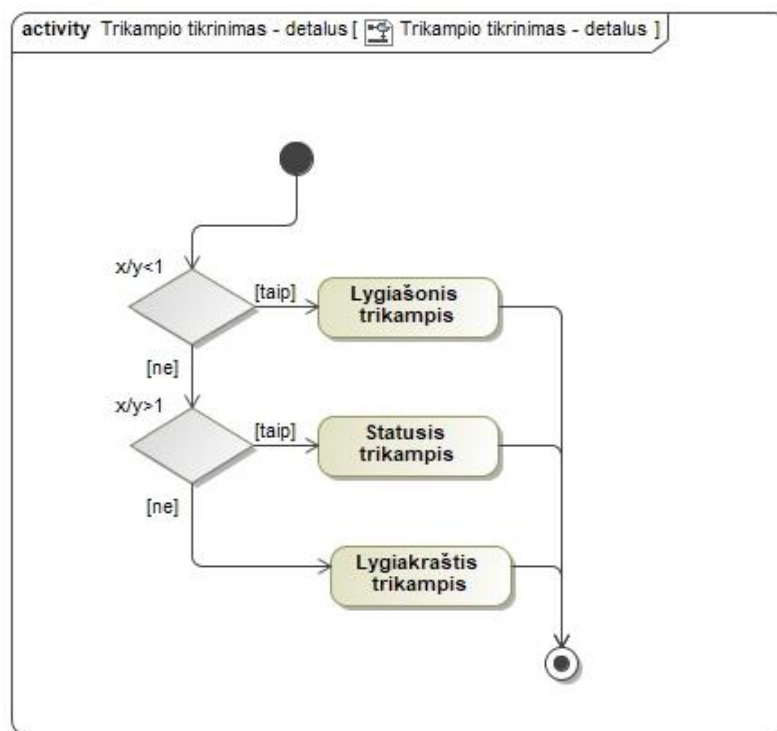
2.4. lentelė. Formos atpažinimo algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas

Pavadinimas	Aprašymas
Asimetrinė forma	Algoritmas gražina asimetrinės formos klasę

Simetrinės – neproporcingos formos tikrinimas	Algoritmas tikrina simetrinės – neproporcingos formos pogrupio sąlygas ir priskiria klasę
Simetrinės – proporcingos formos tikrinimas	Algoritmas tikrina simetrinės – proporcingos formos pogrupio sąlygas ir priskiria klasę
Trikampio formos tikrinimas	Algoritmas tikrina trikampio formos pogrupio sąlygas ir priskiria klasę

Pagrindinėje algoritmo dalyje gaunamos keturių pagrindinių kategorijų (klasių) objektų formos. Esant išsamesnės klasifikacijos poreikiui, kiekviena ši klasė toliau analizuojama ir skirstoma į poklasius.

Trikampio formos atpažinimo algoritmo veiklos diagrama pateikta 2.8. pav.



2.8. pav. Trikampio formos atpažinimo algoritmo veiklos diagrama

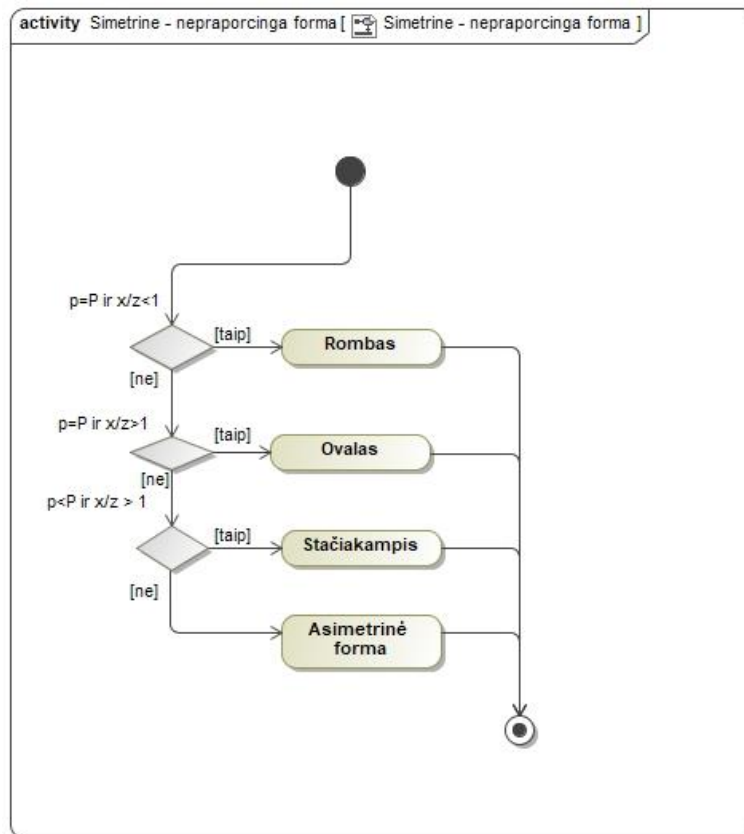
Trikampio formos atpažinimo algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas pateiktas 2.5. lentelėje.

2.5. lentelė. Trikampio formos atpažinimo algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas

Pavadinimas	Aprašymas
Lygiašonis trikampis	Algoritmas tikrina lygiašonis trikampio sąlygas
Statusis trikampis	Algoritmas tikrina stačiojo trikampio sąlygas
Lygiakraštis trikampis	Algoritmas tikrina lygiakraščio trikampio sąlygas

Algoritmas papildomai tikrina  $x$  ir  $y$  ašių ilgio proporcijas ir pagal jas gali nustatyti trikampio tipą. Šis etapas yra papildomas ir eksperimentuose šios trys klasės yra apjungiamos į vieną.

Simetrinės neproporcingos formos algoritmo veiklos diagrama pateikta 2.9. pav.



2.9. pav. Simetrinės neproporcingos formos algoritmo veiklos diagrama

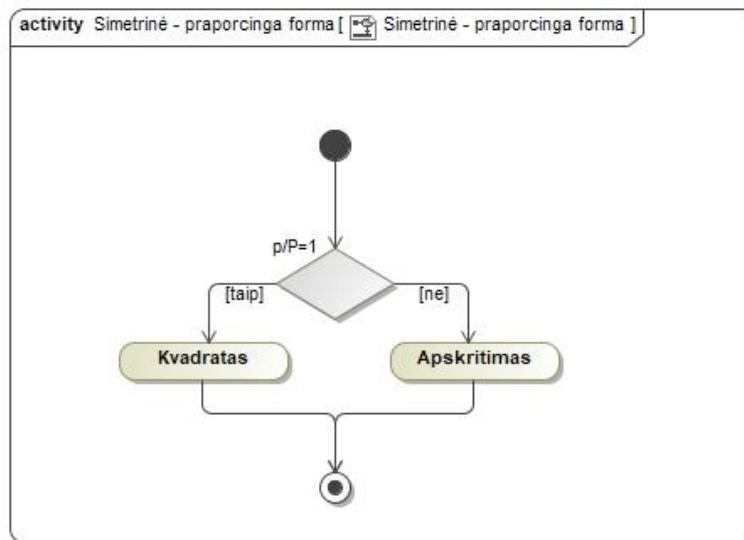
Simetrinės neproporcingos formos algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas pateiktas 2.6. lentelėje.

2.6. lentelė. Simetrinės neproporcingos formos algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas

Pavadinimas	Aprašymas
Rombas	Algoritmas tikrina rombo formos sąlygas – jei tenkinamos priskiriama rombo formos klasė
Ovalas	Algoritmas tikrina ovalo formos sąlygas -jei tenkinamos priskiriama ovalo formos klasė
Stačiakampis	Algoritmas tikrina stačiakampio formos sąlygas- jei tenkinamos priskiriama stačiakampio formos klasė
Asimetrinė forma	Jei aukščiau minėtos sąlygos netenkinamos priskiriama asimetrinė forma.

Algoritmas papildomai tikrina realaus ir ekvivalentinio ploto bei  $x$  ir  $z$  (čia  $z = z_1+z_2$ ) ašių ilgio santykius ir pagal jas nustato formos klasę.

Simetrinės proporcingos formos algoritmo veiklos diagrama pateikta 2.10. pav.



2.10. pav. Simetrinės proporcingos formos algoritmo veiklos diagrama

Simetrinės proporcingos formos algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas pateiktas 2.7. lentelėje.

2.7. lentelė. Simetrinės proporcingos formos algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas

Pavadinimas	Aprašymas
Kvadratas	Algoritmas tikrina kvadrato formos sąlygas – jei tenkinamos priskiriama kvadrato formos klasė
Apskritimas	Algoritmas tikrina apskritimo formos sąlygas – jei tenkinamos priskiriama apskritimo formos klasė

Algoritmas papildomai tikrina realaus ir ekvivalentinio ploto santykį ir pagal jas nustato formos klasę.

Visas tikrinamų sąlygų kiekvieno „pagrindinės“ formos apibūdinimo sąrašas:

- apskritimas:  $x/z = 1$  IR  $x/y = 1$  IR  $Z1 = Z2$  IR  $p < P$
- ovalas:  $x/z > 1$  IR  $x/y > 1$  IR  $Z1 = Z2$  IR  $p < P$
- stačiakampis:  $x/z > 1$  IR  $x/y > 1$  IR  $Z1 = Z2$  IR  $p = P$
- kvadratas:  $x/z < 1$  IR  $x/y = 1$  IR  $Z1 = Z2$  IR  $p = P$
- lygiakraštis trikampis:  $x/z < 1$  IR  $x/y = 1$  IR  $Z1 \neq Z2$  IR  $p < P$
- lygiašonis trikampis:  $x/z < 1$  IR  $x/y < 1$  IR  $Z1 \neq Z2$  IR  $p < P$
- statusis trikampis:  $x/z > 1$  IR  $x/y > 1$  IR  $Z1 \neq Z2$  IR  $p < P$
- nelygiakraštis rombas:  $x/z < 1$  IR  $x/y < 1$  IR  $Z1 = Z2$  IR  $p = P$

Gintarų forma dažnai gali būti apibūdinama nevienareikšmiškai, pavyzdžiui, viena pusė gintaro gali būti panaši į ovalą kita į trikampį, todėl į tiriamų formų sąrašą buvo įtraukta ir „asimetrinė forma“.

Čia  $p$  yra realus tiriamos formos plotas, o  $P$  ekvivalentinis idealios stačiakampės formos plotas ( $P = x \cdot y$ ).

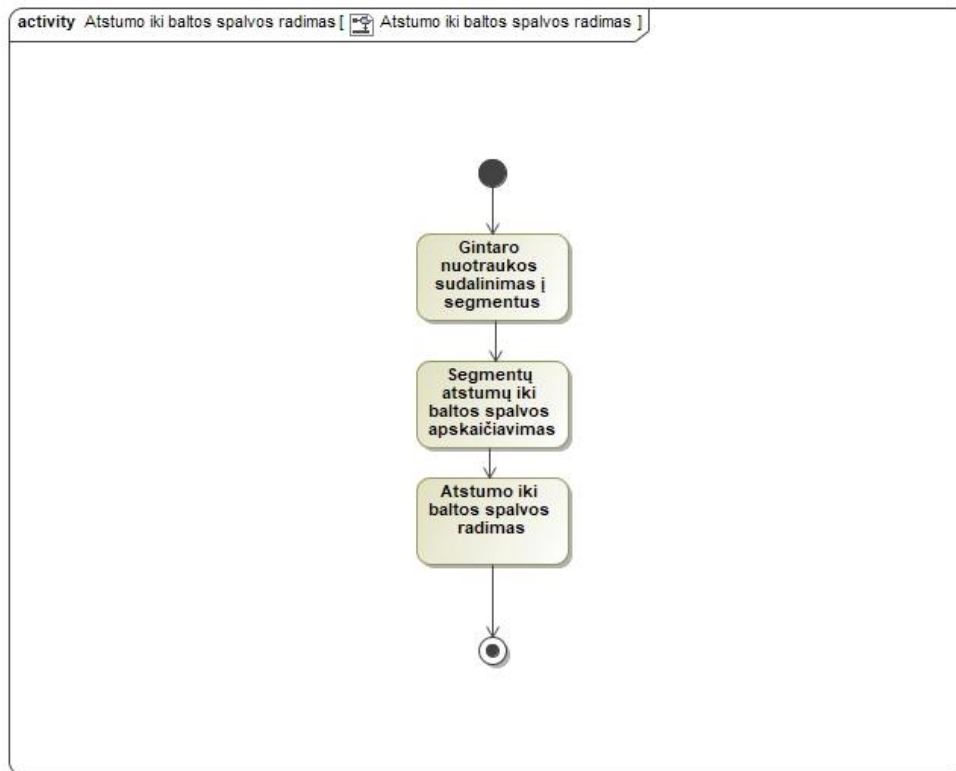
Atstumui tarp viršūnių skaičiuoti naudojama euklido formulė:

$$distance = \sqrt{(x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2} \quad (2.1)$$

Algoritme kiekvienos sąlygos tikrinimui yra leidžiama paklaida, kurios reikšmė bus nustatoma eksperimento metu.

## 2.6. Klasifikavimo pagal spalvą algoritmas

Klasifikavimo pagal spalvą algoritmas turi du režimus – automatinį klasifikavimą bei save apsimokantį klasifikatorių, kur vartotojas gali pasirinkti norimus klasifikuoti gintaro atspalvius. Kiekvienas spalvos klasifikavimo režimas prasideda nuo gintaro nuotraukos sudalinimo į segmentus ir šių segmentų atstumo iki baltos spalvos apskaičiavimo. Segmentų atstumo iki baltos spalvos radimo veiklos diagrama pateikta 2.11 pav.



2.11. pav. Segmentų atstumo iki baltos spalvos radimo veiklos diagrama

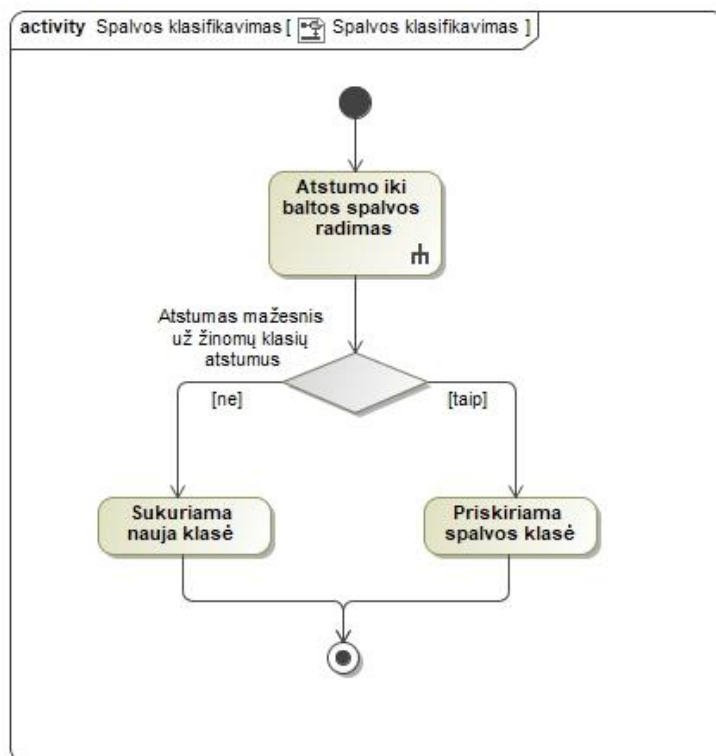
Segmentų atstumo iki baltos spalvos radimo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas pateiktas 2.8. lentelėje.

### 2.8. lentelė. Segmentų atstumo iki baltos spalvos radimo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas

Pavadinimas	Aprašymas
Gintaro nuotraukos padalinimas į segmentus	Gintaro nuotrauka padalinama į nurodytą segmentų skaičių.
Segmentų atstumų iki baltos spalvos apskaičiavimas	Apskaičiuojamas kiekvieno segmento atstumas iki baltos spalvos
Atstumo iki baltos spalvos radimas	Pasirenkamas vidurinis gintaro segmento atstumas iki baltos spalvos

Gintaro atstumui iki baltos spalvos apskaičiuoti naudojama euklido formulė susidedanti iš kiekvienos RGB spalvų paletės dedamosios.

Automatinio spalvos klasifikavimo algoritmo veiklos diagrama pateikta 2.12. pav.



2.12. pav. Automatinio spalvos klasifikavimo algoritmo veiklos diagrama

Automatinio spalvos klasifikavimo algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas pateiktas 2.9. lentelėje.

2.9. lentelė. Automatinio spalvos klasifikavimo algoritmo veiklos diagramos scenarijaus žingsnių aprašymas

Pavadinimas	Aprašymas
Atstumo iki baltos spalvos radimas	Pagal 2.8 lentelėje pateiktus segmentų atstumo iki baltos spalvos radimo veiklos diagramos scenarijaus žingsnius randamas atstumas tarp segmentų ir baltos spalvos.
Priskiriama spalvos klasė	Jei atstumo koeficientas mažesnis už žinomų klasių atstumus – priskiriama viena iš žinomų klasių, kurios atstumas ir mažesnis
Sukuriamą naują klasę	Jei atstumo koeficientas didesnis už žinomų klasių atstumus – sukuriamą naują klasę ir užregistruojami naujos klasės duomenys.

Šis apsimokantis spalvos klasifikavimo algoritmas pradžioje naudojami automatinio spalvos klasifikavimo algoritmu, kur sukuriamos naujos klasės. Kai klasės yra sukurtos algoritmas optimizuoja turimus duomenis didindamas atstumo tolerancijos reikšmę tarp gintaro segmento ir baltos spalvos, kol gaunama ne daugiau nei 12 klasių. Šis skaičius pasirinktas, nes tikėtina, kad šis metodas bus naudojamas kombinuojant su kitomis klasėmis. Kai klasių skaičius yra optimizuotas, vartotojas gali pasirinkti norimus klasifikuoti gintaro spalvos atspalvius.

### 3. Gintarų klasifikavimo sprendimo eksperimentinė dalis

Eksperimentiniame įtaise/prototipe gintaro gabalėliai nukrenta nuo vibracinio dubenėlio ant konvejerio juostos. Lazerio šakutė - barjeras aptinka gintarą, kuris pertraukia lazerio spindulį ir siunčia signalą į skaitmeninį fotoaparata (tipas FFMV-03MTC, mpg Point Grey, Kanada), kuris užfiksuoja vaizdą ir perduoda jį apdoroti. Kiekvienos nuotraukos skyra parinkta 640x480 taškų. Paties objekto analizei pakaktų ir mažesnio taškų skaičiaus, tačiau gintaro gabalėliai nukrenta skirtingai ir dažniausiai nėra nuotraukos centre, todėl nuotrauką tenka apkirpti. Algoritmui įgyvendinti ir vaizdams apdoroti panaudotas kompiuteris Intel i5-7260U, 2,2GHz, 8 GB Ram, Win10 x64. Programos kūrimui pasirinktas MatLab 2018a programinis paketas.

Pasikartojantys eksperimentai atlikti su 2800 gintaro gabalėlių komplektu, kiekvieną kartą analizuojant gaunamus rezultatus ir koreguojant algoritmą ir su 4 pagrindinių formų duomenų rinkiniu. Minėtas duomenų rinkinys susideda iš apskritimo kvadrato, trikampio ir žvaigždės formos. Žvaigždės forma nenagrinėjama, nes pasiūlytame algoritme nenumatyta žvaigždės formos klasės nustatymo galimybė.

Gintaro programos grafinės vartotojo sąsajos pavyzdžiai pateikti 1 priede. Gintaro klasifikatorių parametrų pasirinkimo vartotojo grafinės sąsajos pavyzdžiai pateikti 2 priede. Gintaro sistemos parametrų pasirinkimo vartotojo grafinės sąsajos pavyzdžiai pateikti 3 priede.

#### 3.1. Gintarų nuotraukų apdorojimas savybėms išskirti

Gintarų nuotraukos pateikiamos JPG arba PNG vaizdo formatais, RGB spalvų paletės erdvėje. 3.1. pav. pavaizduotos gintarų nuotraukos prieš apdorojimą. Matome, kad spalvinę gamą veikia tiek apšvietimas, tiek ir pačios transportavimo juostos atspalvis.

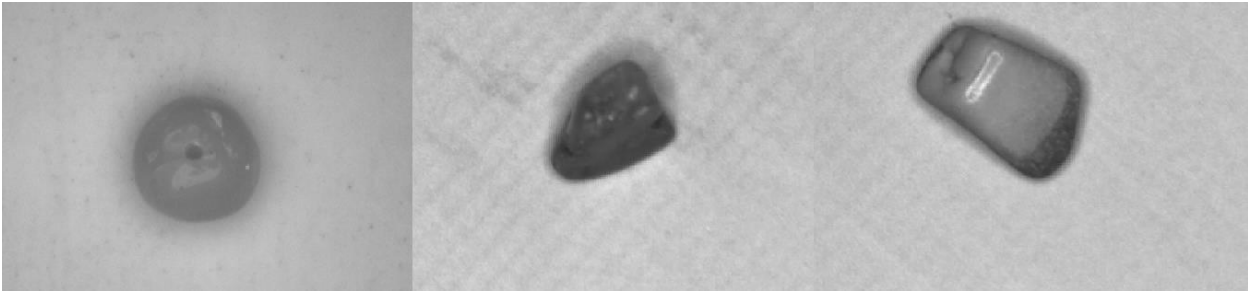


3.1. pav. Gintarų nuotraukų pavyzdžiai

Pateiktose nuotraukose matomi gintarai su skirtingu apšvietimu. Pirmame iš kairės paveikslėlyje naudojamas DOME šviesos šaltinis, leidžiantis tolygiau apšviesti objektą, taip sumažindamas atspindžius (aktualu kai objektas yra skaidrus) bei šešėlių intensyvumą. Kitose dviejose nuotraukose naudojamas tiesioginis apšvietimas. Šešėlių intensyvumas labai priklauso nuo dirbtinio apšvietimo tipo bei gintaro spalvos (gintarai gali būti skaidrūs, pusiau skaidrūs, balti, turėti daug geltonos ar rudos spalvos atspalvių).

Prieš pradėdant gintaro savybių išskyrimą nuotraukos yra konvertuojamos į „grayscale“ spalvų paletę. 3.2. pav. pateikti gintarų nuotraukų „grayscale“ spalvų paletėje pavyzdžiai.





**3.2. pav.** Gintarų nuotraukų „grayscale“ spalvų paletėje pavyzdžiai

Pradiniame etape, prieš pradėdant gintarų savybių apskaičiavimą, atskiriant gintaro gabalėlį nuo fono, yra įvertinama histograma ir atitinkamai pakoreguojamas kontrastas – tai leidžia tinkamai pašalinti šešėlius. Tinkamai nepašalinus šešėlių formos suvienodėja, darosi panašios į ovalą. 3.3. pav. pateiktos gintarų nuotraukos su koreguotomis kontrasto reikšmėmis.



**3.3. pav.** Gintarų nuotraukos su koreguotomis kontrasto reikšmėmis

Nors gintarų atspalviai skirtingi, įvertinus histogramą ir pritaikius skirtingas kontrasto reikšmes šešėliai sėkmingai pašalinami. Toliau nuotrauka yra konvertuojama į dvireikšmę (binarinę) spalvų erdvę, kur taškas gali įgyti tik dvi reikšmes (0 – juodą arba 1 - baltą). 3.4. pav. pateiktos gintarų nuotraukos konvertuotos į dvireikšmę spalvų erdvę.



**3.4. pav.** Gintarų nuotraukos konvertuotos į dvireikšmę spalvų erdvę.

Kaip matome gintarų nuotraukos yra dvireikšmėje spalvų erdvėje, tačiau nei balta, nei juoda spalva pilnai neišskiria vientiso objekto. Tam, kad būtų išskirtas vientisas objektas, nuotrauka invertuojama ir atliekamas juodų skylių užpildymas. Panaudojus morfologinius erozijos bei užpildymo (*angl. erosion, dilation*) dvejetainius metodus, gaunama tiksli objekto reprezentacija baltais taškais, kuri pavaizduota spalva. 3.5. pav. pateiktos gintarų nuotraukos, kur gintaras identifikuojamas vientisa balta spalva.



**3.5. pav.** Gintarų nuotraukos, kur gintaras identifikuojamas vientisa balta spalva

Gautos gintarų nuotraukos naudojamos kaip pagrindas tolimesnių savybių išgavimui tokių kaip dydis, forma ar spalva. Splavos analizei šios nuotraukos naudojamos objekto atskyrimui nuo fono.

### 3.2. Gintarų dydžio savybių išskyrimas

Ekperimento metu objekto klasifikavimui pagal dydį buvo naudojama 50000 taškų maksimali ploto reikšmė ir suskirstymas į penkias klases. 3.1. lentelėje pateikti gintaro klasifikavimo pagal dydį rezultatų statistiniai duomenys.


**3.1. lentelė.** Gintaro klasifikavimo pagal dydį rezultatų statistiniai duomenys.

Klasė	Ploto intervalas priklausantis klasei		Objektų skaičius klasėje
1	0-14999 px	iki 18 mm <sup>2</sup>	1722
2	15000-24999 px	iki ~30 mm <sup>2</sup>	1789
3	25000-34999 px	iki ~40 mm <sup>2</sup>	246
4	35000-44999 px	iki ~50 mm <sup>2</sup>	41
5	>45000 px	virš 50 mm <sup>2</sup>	2

3.2. lentelėje pateikti gintaro klasifikavimo pagal dydį rezultatai.

**3.2. lentelė.** Gintaro klasifikavimo pagal dydį rezultatai

Klasė	Gintaro nuotraukų pavyzdžiai			
1.				
2.				
3.				

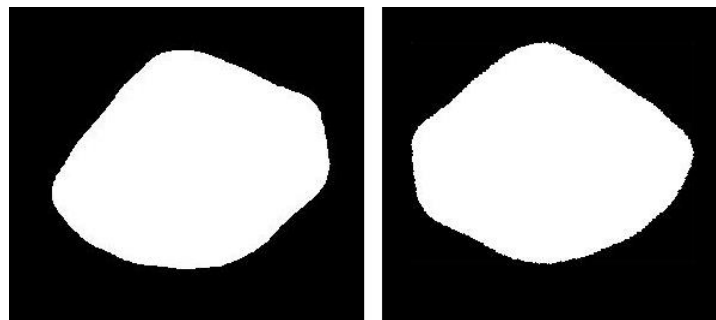
4.				
5.				

Gintaro klasė vidutiniškai identifikuojama per 0,03 sekundę. Klasifikavimas pagal dydį priklauso nuo aprašytos maksimalios reikšmės, kuri žymi didžiausią klasę, ir nuo kameros aukščio. Kuo kamera aukščiau, tuo objekto plotas taškais mažesnis, tačiau kiekvienas taškas įgyja didesnę reikšmę.

### 3.3. Gintarų formos savybių išskyrimas

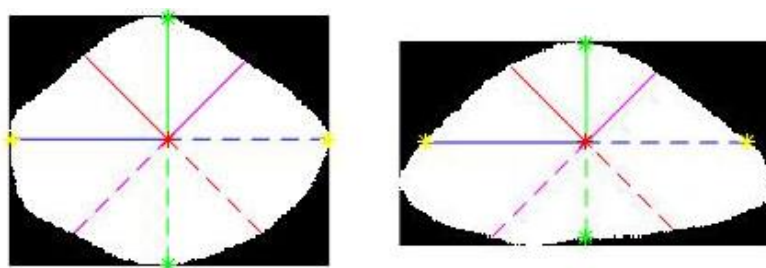
Siekiant identifikuoti objekto formą, kiekvienai gintaro nuotraukai apskaičiuojami papildomi parametrai: objekto  $x$  ir  $y$  ašių ilgiai, einantys per objekto centrą, įstrižainių pasuktų 45 laipsnių kampu nuo minėtų ašių besiribojančių su objekto kontūru ilgiai, objekto tikrasis ir jį ribojančio stačiakampio plotas.

Prieš pradėdant gintaro formos skaičiavimus, gintaro ilgoji ašis pasukama lygiagrečiai  $x$  koordinatinių ašies atžvilgiu. Ilgoji objekto ašis laikoma elipsės ilgoji ašis, turinti tą patį normalizuotą antrąjį centrinį momentą kaip ir tiriamas plotas. Tada (jei to reikia) gintaro nuotrauka pasukama taip, kad objekto siauriausia dalis  $x$  ašies atžvilgiu atsiduria dešinėje, o  $y$  ašies atžvilgiu viršuje. Gintaro gabalėlis prieš ir po pasukimo operacijų pavaizduotas 3.6. pav.



3.6. pav. Gintaro gabalėlis prieš ir po pasukimo operacijų

Sekančiame etape apskaičiuojami matmenys reikalingi objekto formai nustatyti pavaizduoti 3.7. pav.



3.7. pav. Radimas matmenų, reikalingų objekto formai nustatyti

Objekto formai nustatyti imami santykiniai dydžiai, tai leidžia vertinti formą nepriklausomai nuo kameros aukščio.

### 3.3.1. Eksperimentai su gintarų nuotraukomis

Ekperimento metu objekto klasifikavimui pagal formą buvo naudojama 5-15% tolerancijos riba tikrinant atitinkamų matmenų santykius. Lentelėje 3.3. pateikti klasifikavimo pagal formą su skirtingomis tolerancijos reikšmėmis rezultatai.

**3.3. lentelė.** Klasifikavimo pagal formą su skirtingomis tolerancijos reikšmėmis rezultatai


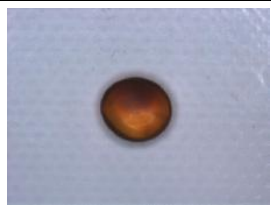
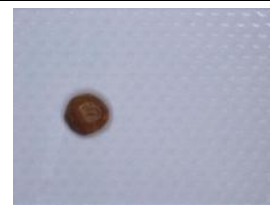





Klasė	Objektų skaičius klasėje (T = 10%)	Objektų skaičius klasėje (T = 15%)	Objektų skaičius klasėje (T = 5%)
Apskritimas	13	1	3
Ovalas	557	725	211
Kvadratas	11	95	0
Stačiakampis	261	423	106
Rombas	100	312	7
Trapecija	1309	1043	1139
Trikampis	549	201	1334

Klasifikavimo rezultatai priklauso nuo pasirinktos tolerancijos reikšmės. Naudojant mažesnę tolerancijos reikšmę daugiau objektų buvo priskirti trikampi formai, naudojant didesnę – trapecijos. Toliau eksperimentuose naudota 10% tolerancijos reikšmė, kuri geriausia atskiria sudėtingesnes formas bei pateikia priimtinausius rezultatus žmogaus – eksperto vertinimui. Eksperimento metu nustatyta, kad reikalinga atskira tolerancijos reikšmė realaus ir ekvivalentinio plotų santykiui įvertinti.

Klasifikavimo pagal formą algortimo tikslumas pasiekė 83,5%, lyginant su eksperto (žmogaus) priskiriama forma. Pasitaikė atvejų kai gintaro formą sunku vienareikšmiškai identifikuoti net žmogaus akiai, dėl formos neapibrėžtumo, kai viena pusė gintaro yra panaši į apskritimą, o kita pusė į kvadratą ar pan.

Klasifikavimo pagal formą rezultatų pavyzdžiai pateikti 3.3. lentelėje.

**3.3. lentelė.** Klasifikavimo pagal formą rezultatų pavyzdžiai

Klasė	Gintaro nuotraukų pavyzdžiai			
Apskritimas				
Ovalas				

Kvadratas				
Stačiakampis				
Rombas				
Trapecija				
Trikampis				

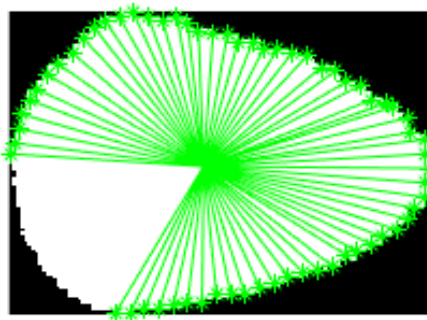
Eksperimento metu buvo palygintas publikacijoje [13][14] aprašomas gintarų klasifikavimas naudojant centroidų atstumų funkciją (*CDF*). Metodų palyginimo rezultatai pateikti 3.4 lentelėje.

**3.4. lentelė.** Skirtingų formos klasifikavimų metodų palyginimas

Klasė	Formos numeris	klasės	Santykinių dydžių metodas	<i>CDF</i> metodas
Apskritimas	1		13	451
Ovalas	2		557	314
Kvadratas	3		11	390
Stačiakampis	4		261	250
Rombas	5		100	338
Trapecija	6		1309	654
Trikampis	7		549	403

Iš atliktų eksperimentų matome, kad siūlomas santykinių dydžių metodas geriau atskiria „gryniasias“ formas, o *CDF* metodas labiau prisitaikęs prie esamos duomenų imties – tai pasiekama su eksperto įsikišimu, kai yra rankiniu būdu atrenkami kiekvienos klasės pavyzdžiai. Ekperimento metu nustatytas

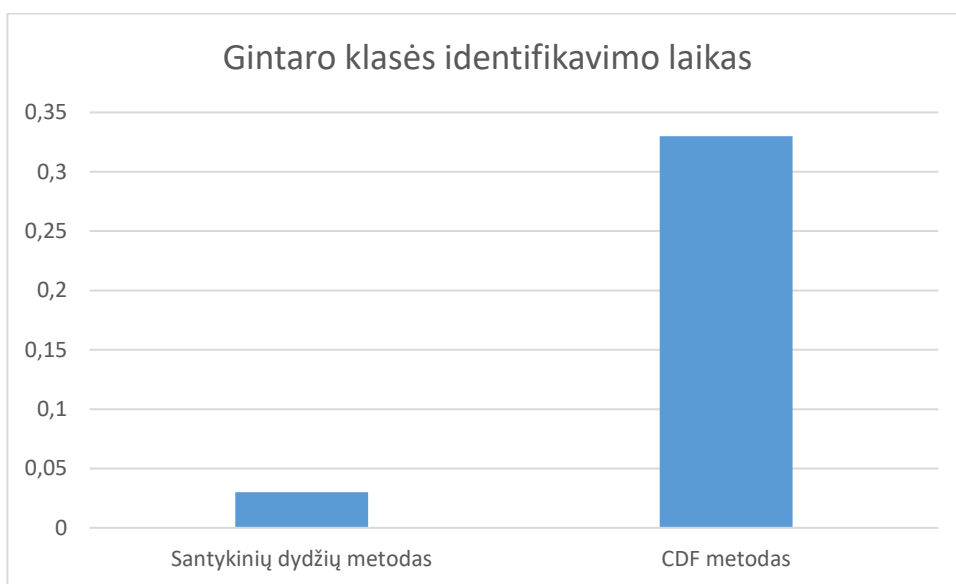
ir vienas CDF metodo trūkumas, kuris pasireiškia dalinant gintaro nuotrauką į segmentus. Šio trūkumo pavyzdys pateiktas 3.8 pav.



**3.8. pav.** Pastebėtas CDF metodo trūkumas

Gintaro kontūrą dalinant į nurodyta segmentų skaičių dėl apvalinimo galimas nepilnas kontūro sudalinimas. Šis trūkumas yra pastebimas didesnis su mažesnio dydžio gintaro gabalėliais. Dėl šio trūkumo galima klasifikavimo paklaida, nes neįvertinama visa gintaro forma.

Vienas iš pagrindinių skirtumų tarp metodų yra objekto klasės identifikavimo greitis. 3.9 pav. pavaizduota santykinų dydžių ir CDF metodo gintaro klasės vidutinis nustatymo laikas.



**3.9. pav.** santykinų dydžių ir CDF metodo gintaro klasės vidutinis nustatymo laikas





CDF metodu taikant trijų sprendimų medžių ansamblį gintaro klasė vidutiniškai identifikuojama per 0,33 sekundę, kai santykinų dydžių metodas gintaro klasę vidutiniškai identifikuoja per 0,03 sekundę – t.y. santykinų dydžių metodas yra iki 11 kartų greitesnis nei CDF metodas.

### 3.3.2. Eksperimentai su keturių pagrindinių formų duomenų rinkiniu

Keturių pagrindinių formų duomenų rinkinys sudarytas iš apskritimo (3720 pavyzdžių rinkinys), kvadrato (3765 formų rinkinys), trikampio (3720 formų rinkinys) ir žvaigždės formų (3765 formų rinkinys). Analizuojamų nuotraukų dydžiai yra 200x200 taškų. Lentelėje 3.5 pavaizduoti formų duomenų rinkinio pavyzdžiai.



**3.5 lentelė.** Formų duomenų rinkinio pavyzdžiai

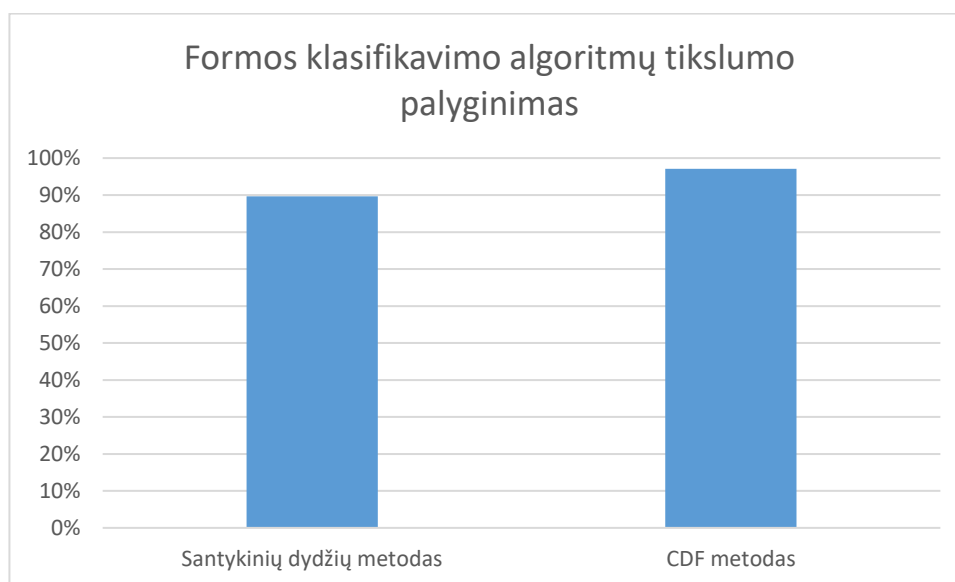
Apskritimas	Kvadratas	Žvaigždė	Trikampis
			

Žvaigždės forma nėra analizuojama, nes pasiūlytame algoritme nenumatyta galimybė klasifikuoti žvaigždės formos gintarus. Klasifikuojant kiekviena forma tikrinta atskirai. 3.6 lentelėje pavaizduoti pagrindinių formų duomenų rinkinio klasifikavimo rezultatai.

**3.6. lentelė.** pagrindinių formų duomenų rinkinio klasifikavimo rezultatai

	Santykinių dydžių metodas		CDF metodas	
	Gerai klasė	priskirta	Gerai klasė	priskirta
Apskritimas	3484	236	3619	101
Kvadratas	3277	488	3651	114
Trikampis	3286	434	3610	110

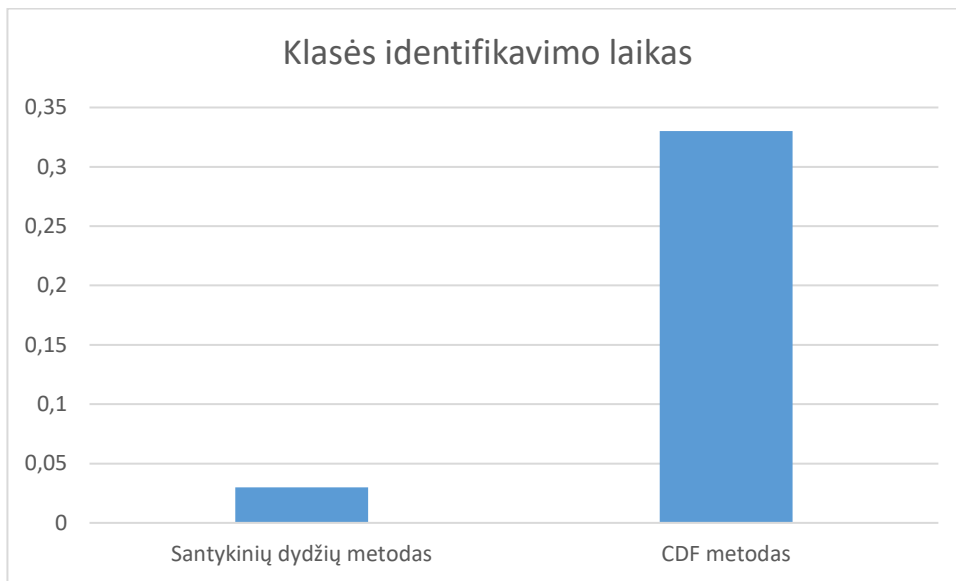
3.10 pav. pavaizduota santykinių dydžių ir CDF metodo klasifikavimo tikslumas.



**3.10. pav.** santykinių dydžių ir CDF metodo klasifikavimo tikslumas

Santykinių dydžių metodas parodė šiek tiek prastesnius rezultatus nei CDF metodas. Tam įtakos turėjo tai, kad šiame duomenų rinkinyje yra nuotraukų, kuriose yra triukšmo, dėl ko kai kurie santykiniai dydžiai buvo įvertinti netinkamai. Gintarų formos atsitiktinės, todėl tikslumo įvertinimas turi tam tikrą „laisvo interpretavimo“ dedamąją, todėl 100 proc. tikslumas iš tiesų būtų tik deklaratyvus, tačiau

realiai vargu ar pamatuojama. 3.11 pav. pavaizduota santykinų dydžių ir CDF metodo vidutinis klasifikavimo laikas, naudojant pagrindinių formų duomenų rinkinį.



**3.11 .pav.** Santykinų dydžių ir CDF metodo vidutinis klasifikavimo laikas, naudojant pagrindinių formų duomenų rinkinį

CDF metodu taikant trijų sprendimų medžių ansamblį gintaro klasė vidutiniškai identifikuojama per 0,12 sekundę, kai santykinų dydžių metodas gintaro klasę vidutiniškai identifikuoja per 0,01 sekundę. Analizuojamų nuotraukų dydis įtakoja vidutinį gintaro klasės nustatymo laiką.

#### 3.4. Gintarų spalvos savybių išskyrimas

Spalvos nustatymui panaudojama ankstesnių operacijų metu gauta objekto “kaukė” (juodame fone baltais taškais išreikštas objekto regionas). Ši kaukė padeda eliminuoti transportavimo juostos sukurtą foną ir vertinti tik gintaro gabalėlio spalvą. 3.12. pav. pavaizduotos gintarų nuotraukos pritaikius kaukę.



**3.12. pav.** Gintarų nuotraukos pritaikius kaukę

Pasiūlytas sprendimas sudalina gintaro nuotrauką į nustatytą segmentų skaičių (šiuo atveju į 7 segmentus) ir vertina skirtumą tarp segmentų ir baltos spalvos. Eksperimentu metu nustatyta, kad gintaro spalvos klasifikavimui pakanka įvertinti tik vidurinį segmentą, kuris gerai reprezentuoja bendrą gintaro spalvą. Gintaras klasifikuojamas atsižvelgiant į tolerancijos reikšmę, kuri atspindi maksimalų skirtumą tarp gintaro segmentų ir baltos spalvos.











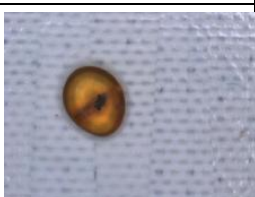



3.7. lentelėje pateikti gintaro klasifikavimo pagal spalvą rezultatų statistiniai duomenys.


















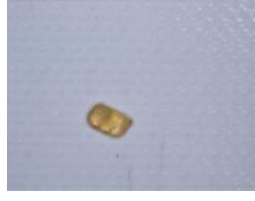
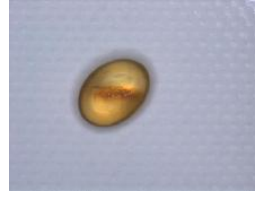





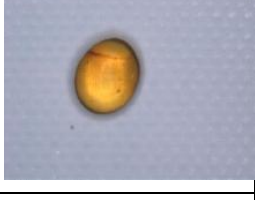


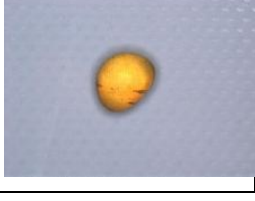
**3.7. lentelė.** Gintaro klasifikavimo pagal spalvą rezultatų statistiniai duomenys.






Klasė	Spalvos RGB dedamosios			Objektų skaičius klasėje
	R	G	B	
1.	132	83	43	448
2.	96	51	33	1756
3.	173	110	42	176
4.	198	135	52	34
5.	160	142	128	3
6.	154	128	90	16
7.	65	33	31	212
8.	187	151	82	10
9.	194	174	123	4
10.	205	193	163	1
11.	230	158	55	3
12.	253	185	62	1
13.	94	78	57	135
14.	99	113	129	1

3.8. lentelėje pateikti gintaro klasifikavimo pagal spalvą automatinio būdu rezultatai.

**3.8. lentelė.** Gintaro klasifikavimo pagal spalvą automatinio būdu rezultatai

Klasė	Gintaro nuotraukų pavyzdžiai			
1.				
2.				
3.				

4.				
5.				-
6.				
7.				
8.				
9.				
10.		-	-	-
11.				-
12.		-	-	-

13.				
14.		-	-	-

Aukščiau pateikti rezultatai su tolerancijos reikšme - 0.08. Vidutiniškai gintaro klasės identifikuojama per 0,03 sekundę. Iš pateiktų rezultatų galima daryti išvadą, kad gintaras sėkmingai klasifikuojamas pagal atspalvius. Klasifikuojant automatinio būdu klasių skaičius priklauso nuo tolerancijos reikšmės. Kuo tolerancijos reikšmė mažesnė, tuo klasių skaičius didesnis.

### 3.5. Gintaro klasių kombinavimas

Sukurtas sprendimas leidžia kombinuoti gintaro klases. Gintaro klasių kombinavimo parametru pasirinkimo vartotojo grafines sąsajos pavyzdys pateiktas 5 priede.

#### 3.5.1. Dydžio ir spalvos klasių kombinavimas

Kombinuojant spalvos klasę su kitomis pradžioje reikia apmokėti spalvos klasifikatorių ir pasirinkti norimus klasifikuoti atspalvius. Gintaro spalvos klasifikatoriaus parametru pasirinkimo vartotojo grafines sąsajos pavyzdžiai pateikti 4 priede. Žemiau pateikti eksperimento kai pasirinkta 4 spalvų ir 3 dydžių klasių kombinacija. Klasifikavimui pagal dydį buvo naudojama 50000 taškų maksimali ploto reikšmė.

3.9.lentelėje pateikti dydžio ir spalvos klasių kombinavimo rezultatų statistiniai duomenys

**3.9.lentelė.** Dydžio ir spalvos klasių kombinavimo rezultatų statistiniai duomenys

Klasė	Dydžio klasė	Spalvos klasė	Gintarų skaičius klasėje
1.	1	1	266
2.	1	2	23
3.	1	3	2098
4.	1	4	2
5.	2	1	259
6.	2	2	10
7.	2	3	115
8.	2	4	2
9.	3	1	15
10.	3	2	0
11.	3	3	10

12.	3	4	0
-----	---	---	---

6 priede pateikti dydžio ir spalvos klasių kombinavimo rezultatai

Vidutiniškai gintaro klasės identifikuojama per 0,03 sekundę. Viso gauta 12 klasių.

### 3.5.2. Dydžio ir formos klasių kombinavimas

Žemiau pateikti rezultatai kai buvo kombinuojama formos ir dydžio klasės. Klasifikavimui pagal dydį buvo naudojama 50000 taškų maksimali ploto reikšmė ir 2 klasės, klasifikavimui pagal formą buvo naudojamas tolerancijos koeficientas  $1 = 0.1$  ir tolerancijos koeficientas  $2 = 0.15$ . 3.10.lentelėje pateikti gintaro dydžio ir formos klasių kombinavimo rezultatų statistiniai duomenys.

#### 3.10. lentelė. Gintaro dydžio ir formos klasių kombinavimo rezultatų statistiniai duomenys

Bendra klasė	Formos klasė	Dydžio klasė	Gintarų skaičius klasėje
1.	1	1	12
2.	1	2	1
3.	2	1	488
4.	2	2	69
5.	3	1	10
6.	3	2	1
7.	4	1	260
8.	4	2	1
9.	5	1	97
10.	5	2	3
11.	6	1	1273
12.	6	2	36
13.	7	1	541
14.	7	2	8

7 priede Gintaro dydžio ir formos klasių kombinavimo rezultatai.

Vidutiniškai gintaro klasės identifikuojama per 0,03 sekundę. Viso gauta 14 klasių.

### 3.5.3. Formos ir spalvos klasių kombinavimas

Žemiau pateikti rezultatai kai buvo kombinuojama formos ir spalvos klasės. Klasifikavimui pagal formą buvo naudojamas tolerancijos koeficientas  $1 = 0.1$  ir tolerancijos koeficientas  $2 = 0.15$ . Klasifikavimui pagal spalvą buvo pasirinktos 3 klasės. 3.11 lentelėje pateikti gintaro spalvos ir formos klasių kombinavimo rezultatų statistiniai duomenys.

**3.11. lentelė.** Gintaro spalvos ir formos klasių kombinavimo rezultatų statistiniai duomenys

<b>Bendra klasė</b>	<b>Formos klasė</b>	<b>Spalvos klasė</b>	<b>Gintarų skaičius klasėje</b>
1.	1	1	4
2.	1	2	8
3.	1	3	4
4.	2	1	160
5.	2	2	393
6.	2	3	2
7.	3	1	3
8.	3	2	8
9.	3	3	0
10.	4	1	20
11.	4	2	240
12.	4	3	1
13.	5	1	34
14.	5	2	64
15.	5	3	1
16.	6	1	120
17.	6	2	1188
18.	6	3	2
19.	7	1	35
20.	7	2	513
21.	7	3	1

8 priede Gintaro spalvos ir formos klasių kombinavimo rezultatai.

Vidutiniškai gintaro klasės identifikuojama per 0,03 sekundę. Pastebėta, kad formų klasės kombinavimas neturi įtakos gintaro klasės identifikavimo greičiui. Viso gauta 21 klasė.

## Išvados

1. Pasiūlytas klasifikavimo sprendimas leidžia papildomai klasifikuoti gintarus pagal dydį ir formą (ne tik pagal spalvą). Gintarų dydis klasifikuojamas į nurodomą klasių skaičių (eksperimento metu pasirinktos 5-2 klasės), gintaro forma klasifikuojama į septynias skirtingas klases, gintaro spalva klasifikuojama dviem režimais – automatinio (iki 24 klasių) ir save pasimokančiu būdu (iki 12 klasių). Gintaro klases galima kombinuoti. Sėkmingam objekto dydžio ir formos klasifikavimui svarbu kuo tiksliau atskirti objektą nuo fono. Tam reikia tinkamai parinkti ir organizuoti lokalų apšvietimą bei tinkamai realizuoti vaizdo šviesumo ir kontrasto normalizavimo skaičiavimus.
2. Objekto forma ir spalva ne visada nusakoma vienareikšmiškai, net eksperto (žmogaus) priskyrimai nėra vienareikšmiai. Ši problema sprendžiama įvedus tolerancijos reikšmes formos nustatymo parametrus. Klasifikavimo pagal formą tikslumas yra 83,5 % lyginant su žmogaus – eksperto vertinimu. Pastebėtas CDF metodo, klasifikuojant pagal formą, trūkumas. Gintaro kontūrą dalinant į nurodyta segmentų skaičių dėl apvalinimo galimas nepilnas kontūro sudalinimas. Šis trūkumas yra pastebimas didesnis su mažesnio dydžio gintaro gabalėliais. Dėl šio trūkumo galima klasifikavimo paklaida, nes neįvertinama visa gintaro forma
3. Vidutinis gintaro klasės identifikavimo greitis, nepriklauso nuo klasių kombinavimo. Gintaro klasė vidutiniškai identifikuojama per 0,03 sekundę. Šis rodiklis parodo, kad teoriškai pasiūlytas sprendimas galėtų klasifikuoti iki 18 gintarų per sekundę. Gintaro klasės identifikavimo sprendimas yra tinkamas darbui realiu laiku. Darant eksperimentus su galingesniu kompiuteriu pastebėta, kad gintaro klasės identifikavimo laikas išlieka panašus, dėl ko galima daryti išvadas, kad klasės identifikavimui turi įtakos ir pasirinktas programavimo įrankis. Tikėtina, kad perrašius algoritmą su žemesnio lygio programavimo kalba greಿತaveika padidėtų.
4. Skaitytas pranešimas konferencijoje „Lietuvos magistrantų informatikos ir IT tyrimai“ tema „Smulkaus gintaro gabalėlių klasifikavimo pagal formą ir spalvą problemų tyrimas“. Skaityto pranešimo santrauka pateikiama 8 priede. Nuoroda į konferencijos santraukų rinkinį (<http://www.journals.vu.lt/proceedings/issue/view/1129>). 9 priede pateikiamas dalyvavimo konferencijoje „Lietuvos magistrantų informatikos ir IT tyrimai“ pažymėjimas.

## Literatūros sarakšas

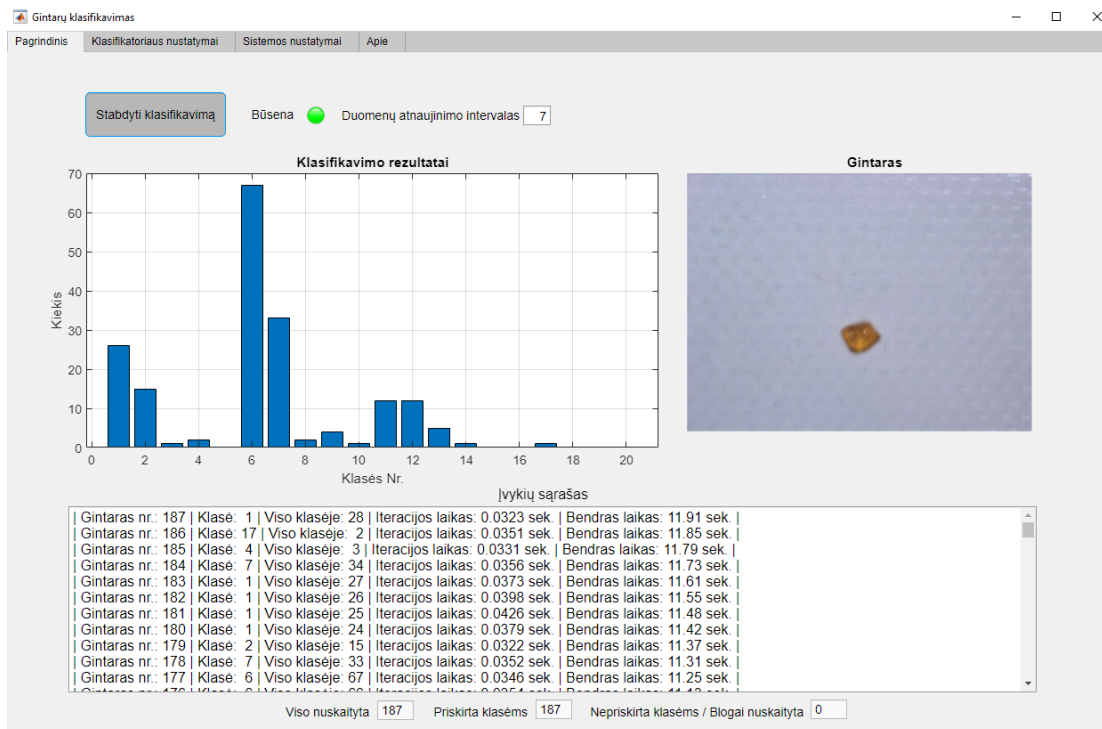
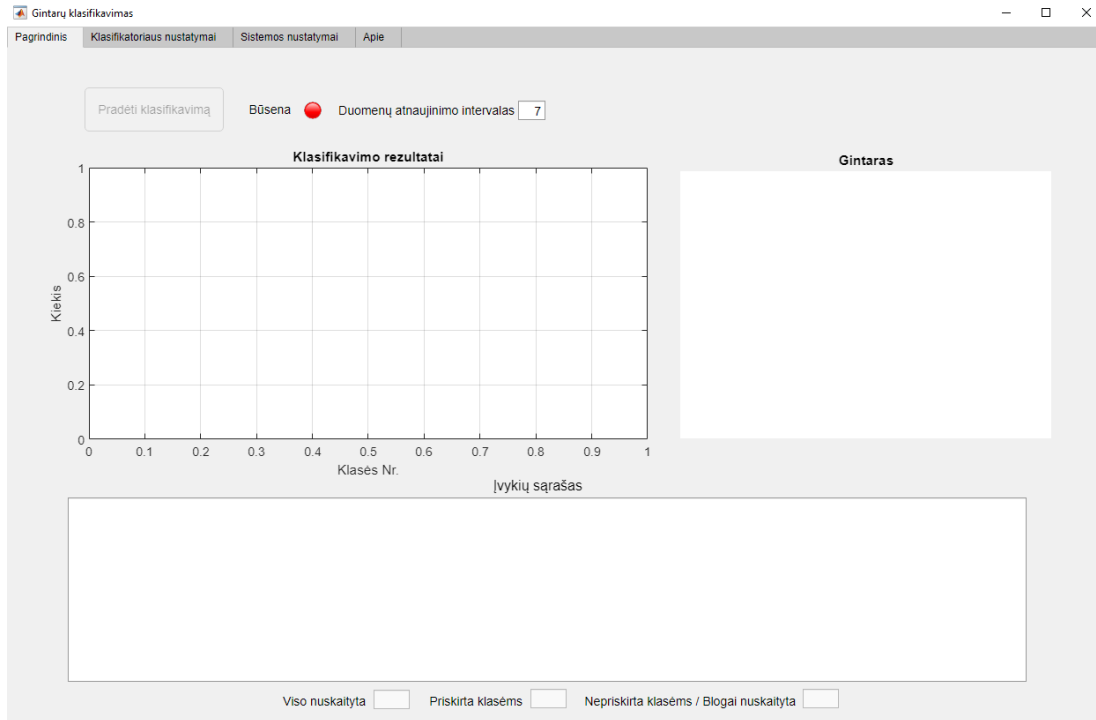
1. LORENCS, A., MEDNIEKS, I., and SINICA-SINAVSKIS, J. Simplified classification of multispectral image fragments. *Elektronika ir Elektrotechnika*. 2014, vol. 20, no. 6, pp. 136–139. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.20.6.7286>
2. PEARSON, T. C., MOORE, D. AND PEARSON. J. A machine vision system for high speed sorting of small spots on grains. *Journal of Food Measurement & haracterization*. 2012, vol. 6, pp. 27–34.
3. SHAHRANI, S., AINI, H., DZURAJDAH, A. W., MOHD, M. M., SUZAIMAH R. Support vector machines for automated classification of plastic bottles. 6th Int. Colloquium. Signal Processing and Its Applications (CSPA), pp. 1–5, 2010. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1109/CSPA.2010.5545265>
4. O'FARREL, M., LEWIS, E., FLANAGAN, C., LYONS, W. B. AND JACKMAN N. Design of a system that uses optical-fiber sensors and neural networks to control a large scale industrial oven by monitoring the food quality online. *IEEE, Sensors Journal*, vol. 5 Dec. 5, pp. 1407-1420
5. PEARSON, T. C., BRABECAND, D. L., HALEY, S. Color image based sorter for separating red and white wheat. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, pp. 280–288, 2008. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11694-008-9062>
6. LALE, A., SHERVAN, F. E. Texture image analysis and texture classification methods. *International Online Journal of Image Processing and Pattern Recognition* Vol. 2, No.1, pp. 1-29, 2019.
7. RAUDONIS, V., LIPNINCKAS, A., PAULAUSKAITĖ – TARASEVIČIENĖ, A., PAULAUSKAS, L., BALČIUS, A., PAUALAUSKAS, S. Expert Knowledge based approach for automatic sorting and packing. Department of Control Technologies, Kaunas University of Technology.
8. SINKEVICIUS, S., LIPNICKAS, A., RIMKUS, K. Multiclass amber gemstones classification with various segmentation and committee strategies. 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)
9. SINKEVICIUS, S., LIPNICKAS, A., RIMKUS, K. Amber Gemstones Sorting By Colour. *Elektronika ir elektrotechnika*, ISSN 1392-1215, VOL. 23, NO. 2, 2017
10. ALLEN, R. Designing with Hue Saturation and Lightness for more Intuitive Colors. [interaktyvus] 2017. [žiūrėta 2019-04-20]. Prieiga per: <https://medium.com/ryan-allen/designing-with-hue-saturation-and-lightness-ed389eef227c>
11. *Hierarchinės struktūros atvaizdis*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-04-20]. Prieiga per: <http://ims.mii.lt/ims/%C5%BEodynai/term/m/medis.html>
12. DENGSHENG Z., GUOJUN L. Shape-based image retrieval using generic Fourier descriptor. *Gippsland School of Computing and Information Technology, Monash University. Australia Signal Processing: Image Communication* 17 (2002) 825–848
13. SINKEVIČIUS S., LIPNICKAS A., RIMKUS K. Organic shapes classifications by similarity to basic geometric shapes. *International Journal of computer and information Technology*, ISSN: 2279 – 0764, Volume 03, 2014.
14. SINKEVICIUS S., LIPNICKAS A., RIMKUS K. Automatic amber gemstones identification by color and shape visual properties. *Elsevier, Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 37, January 2015, Pages 258-267

15. GONZALEZ, R. C., WOODS, R.E., EDDINS,S.L. *DigitalImageProcessingUsing MATLAB*. 2004.
16. JORGE J. A., FONSECA M. J. A. Simple Approach to Recognise Geometric Shapes Interactively. Prieiga per: [web.tecnico.ulisboa.pt/~jorgej/papers/grec99.pdf](http://web.tecnico.ulisboa.pt/~jorgej/papers/grec99.pdf)
17. BOCHKAREV, S O., LITUS I. B., KRAVCHENKO N. S. Irregular Objects. Shape Detection and Characteristic Sizes. Prieiga per: [ceur-ws.org/Vol-1814/paper-04.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-1814/paper-04.pdf)
18. DOUKKALI, F. Convolutional Neural Networks (CNN, or ConvNets) [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018-01-20]. Prieiga per: <https://medium.com/@phidaouss/convolutional-neural-networks-cnn-or-convnets-d7c688b0a207>
19. *Convolutional Neural Network*. [interaktyvus] [žiūrėta 2018-01-20].Prieiga per: <https://www.mathworks.com/discovery/convolutional-neural-network.html>
20. BUPE. C. Why do neural networks need an activation function.[interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018-01-20]. Prieiga per: <https://www.quora.com/Why-do-neural-networks-need-an-activation-function>
21. POLAMURI, S. Difference Between Softmax Function and Sigmoid Function [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018-01-20]. Prieiga per: <http://dataaspirant.com/2017/03/07/difference-between-softmax-function-and-sigmoid-function/>
22. HINTON G. E., SABOUR. S., FROSST N. Dynamic routing between capsules. 2017. Prieiga per: <https://arxiv.org/abs/1710.09829>
23. HINTON G. E., SUTSKEVER I., KRIZHEVSKY A. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. 2012, NIPS'12 Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems - Volume 1.
24. PECHYONKIN, M. *Understanding Hinton's Capsule Networks. Part II: How Capsules Work*. [interaktyvus] 2017. [žiūrėta 2018-01-20]. Prieiga per: <https://medium.com/ai%C2%B3-theory-practice-business/understanding-hintons-capsule-networks-part-ii-how-capsules-work-153b6ade9f66>
25. GÉRON, A. *Introduction to Capsule Networks (CapsNets)* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018-01-20]. Prieiga per: <https://www.slideshare.net/aureliengeron/introduction-to-capsule-networks-capsnets>



# Priedai

## 1 priedas. Vartotojo grafinės sąsajos pavyzdžiai.



## 2 priedas. Gintaro klasifikatorių parametrų pasirinkimo vartotojo grafinės sąsajos pavyzdžiai.

Gintarų klasifikavimas

Pagrindinis | **Klasifikatoriaus nustatymai** | Sistemos nustatymai | Apie

Formos klasifikavimas

Rušiuoti pagal formą

CDF metodas

Santykinių dydžių metodas Tolerancija 1  Tolerancija 2

Dydžio klasifikavimas

Rušiuoti pagal dydį

Min. plotas  Max. plotas  Klasių skaičius

Spalvos klasifikavimas

Rušiuoti pagal spalvą  Auto Klasių skaičius  Skirtumo koef.  Pradėti apsimokymą Tolerancija

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informacija

Pasirinktas formų klasių sk.

Pasirinktas spalvų klasių sk.

Pasirinktas dydžių klasių sk.

Bedras klasių sk.

Pasirinkite klasifikavimo parametrus

Gintarų klasifikavimas

Pagrindinis | **Klasifikatoriaus nustatymai** | Sistemos nustatymai | Apie

Formos klasifikavimas

Rušiuoti pagal formą

CDF metodas

Santykinių dydžių metodas Tolerancija 1  Tolerancija 2

Dydžio klasifikavimas

Rušiuoti pagal dydį

Min. plotas  Max. plotas  Klasių skaičius

Spalvos klasifikavimas

Rušiuoti pagal spalvą  Auto Klasių skaičius  Skirtumo koef.  Pradėti apsimokymą Tolerancija

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informacija

Pasirinktas formų klasių sk.

Pasirinktas spalvų klasių sk.

Pasirinktas dydžių klasių sk.

Bedras klasių sk.

Galite pradėti klasifikavimą

Gintarų klasifikavimas

Pagrindinis | Klasifikatoriaus nustatymai | Sistemos nustatymai | Aple

Formos klasifikavimas

Rušiuoti pagal formą

CDF metodas

Santykinų dydžių metodas Tolerancija 1  Tolerancija 2

Dydžio klasifikavimas

Rušiuoti pagal dydį

Min. plotas  Max. plotas  Klasių skaičius

Spalvos klasifikavimas

Rušiuoti pagal spalvą  Auto Klasių skaičius  Skirtumo koef.  Pradėti apsimokymą Tolerancija

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informacija

Pasirinktas formų klasių sk.

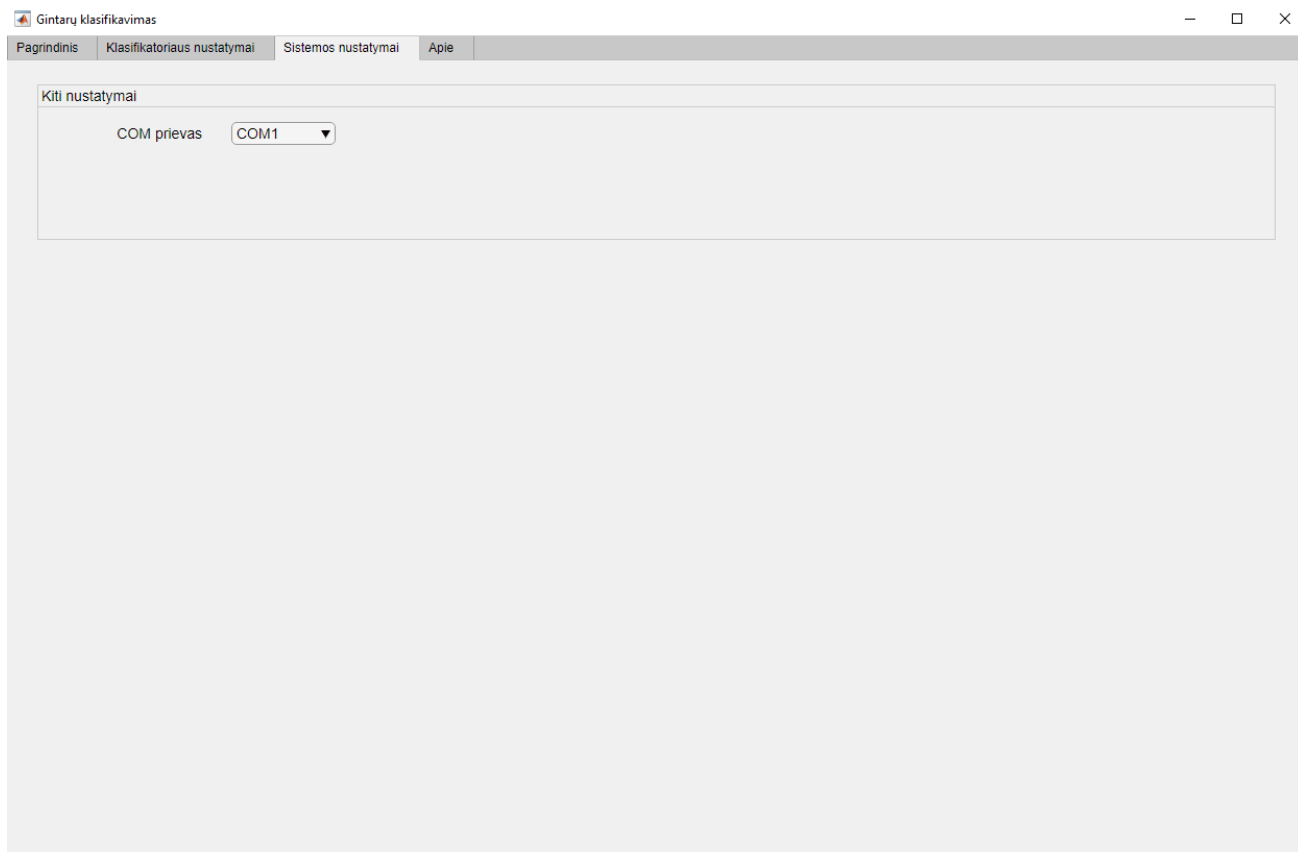
Pasirinktas spalvų klasių sk.

Pasirinktas dydžių klasių sk.

Bedras klasių sk.

**Pasirinkta per daug klasių**

### 3 priedas. Gintaro sistemos parametrų pasirinkimo vartotojo grafinės sąsajos pavyzdžiai.



## 4 priedas. Gintaro spalvos klasifikatoriaus parametrų pasirinkimo vartotojo grafinės sąsajos pavyzdžiai.

Gintarų klasifikavimas

Pagrindinis | Klasifikatoriaus nustatymai | Sistemos nustatymai | Apie

Formos klasifikavimas

Rušiuoti pagal formą

CDF metodas

Santykinių dydžių metodas Tolerancija 1  Tolerancija 2

Dydžio klasifikavimas

Rušiuoti pagal dydį

Min. plotas  Max. plotas  Klasių skaičius

Spalvos klasifikavimas

Rušiuoti pagal spalvą  Auto Klasių skaičius  Skirtumo koef.  **Stabdyti apsimokymą** Tolerancija

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informacija

Nuskaityta gintarų: 301 | Rasta Spalvų: 11 | Laikas: 15.08 sek. |

Pasirinktas formų klasių sk.

Pasirinktas spalvų klasių sk.

Pasirinktas dydžių klasių sk.

Bedras klasių sk.

Pasirinkite klasifikavimo parametrus

Gintarų klasifikavimas

Pagrindinis | Klasifikatoriaus nustatymai | Sistemos nustatymai | Apie

Formos klasifikavimas

Rušiuoti pagal formą

CDF metodas

Santykinių dydžių metodas Tolerancija 1  Tolerancija 2

Dydžio klasifikavimas

Rušiuoti pagal dydį

Min. plotas  Max. plotas  Klasių skaičius

Spalvos klasifikavimas

Rušiuoti pagal spalvą  Auto Klasių skaičius  Skirtumo koef.  **Pradėti apsimokymą** Tolerancija

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informacija

Nuskaityta gintarų: 389 | Rasta Spalvų: 11 | Laikas: 19.65 sek. |

Pasirinktas formų klasių sk.

Pasirinktas spalvų klasių sk.

Pasirinktas dydžių klasių sk.

Bedras klasių sk.

Galite pradėti klasifikavimą

## 5 priedas. Gintaro klasių kombinavimo parametru pasirinkimo vartotojo grafinės sąsajos pavyzdys.

Gintarų klasifikavimas

Pagrindinis | **Klasifikatoriaus nustatymai** | Sistemos nustatymai | Apie

Formos klasifikavimas

Rušiuoti pagal formą

CDF metodas

Santykinių dydžių metodas Tolerancija 1  Tolerancija 2













Dydžio klasifikavimas

Rušiuoti pagal dydį

Min. plotas  Max. plotas  Klasių skaičius

Spalvos klasifikavimas

Rušiuoti pagal spalvą  Auto Klasių skaičius  Skirtumo koef.   Tolerancija

<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

Informacija

| Nuskaityta gintarų: 389 | Rasta Spalvų: 11 | Laikas: 19.65 sek |

Pasirinktas formų klasių sk.


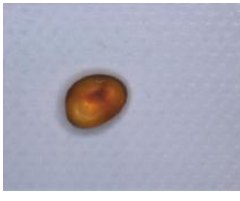









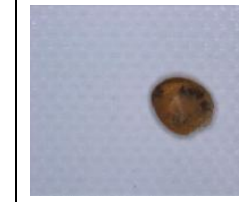



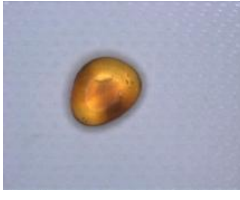

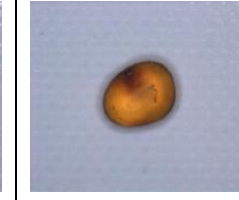



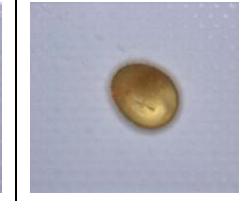

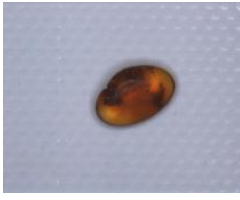
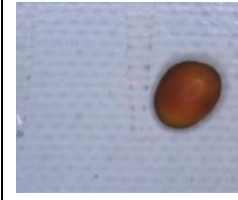



Pasirinktas spalvų klasių sk.

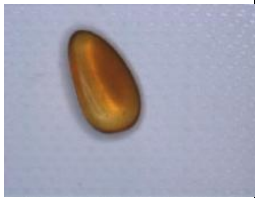







Pasirinktas dydžių klasių sk.

Bedras klasių sk.

**Galite pradėti klasifikavimą**



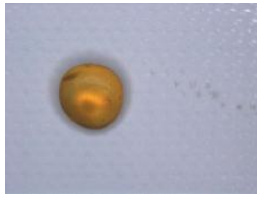
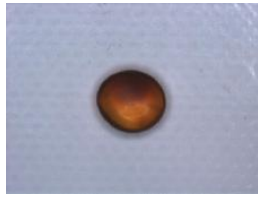
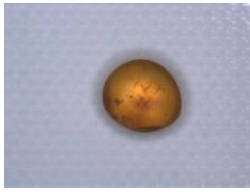


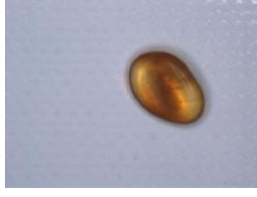















6 priedas. Dydžio ir spalvos klasių kombinavimo pavyzdžiai.


















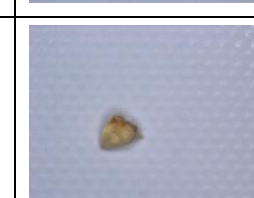

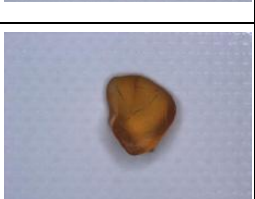
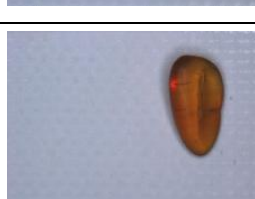


Bendra klasė	Gintaro nuotraukų pavyzdžiai			
1.				
2.				
3.				
4.			-	-
5.				
6.				
7.				
8.			-	-

9.				
10.	-	-	-	-
11.				
12.	-	-	-	-

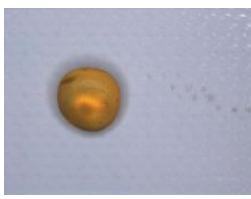
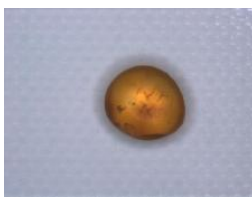



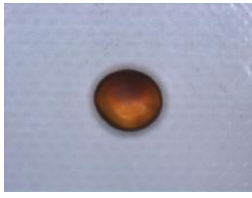










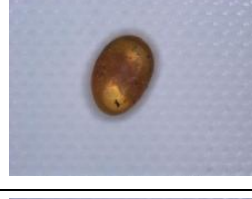





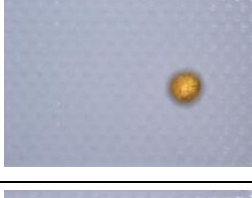















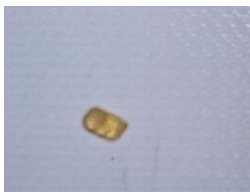



















7 priedas. Dydžio ir formos klasių kombinavimo pavyzdžiai.



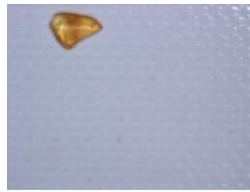





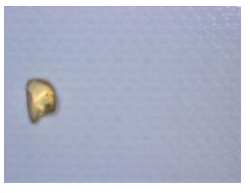
Bendra klasė	Gintaro nuotraukų pavyzdžiai			
1.				
2.		-	-	-
3.				
4.				
5.				
6.		-	-	-
7.				
8.		-	-	-

9.				
10.				-
11.				
12.				
13.				
14.				

8 priedas. Spalvos ir formos klasių kombinavimo pavyzdžiai.

Bendra klasė	Gintaro nuotraukų pavyzdžiai			
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.	-	-	-	-

10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				

19.				
20.				
21.				



## 8 priedas. Skaityto pranešimo konferencijoje „Lietuvos magistrantų informatikos ir IT tyrimai“ santrauka.

Marius Pivoras, Armantas Ostreika

Kauno technologijos universitetas, Informatikos fakultetas, Studentų g. 50-401

[mpivoras@gmail.com](mailto:mpivoras@gmail.com), [armantas.ostreika@ktu.lt](mailto:armantas.ostreika@ktu.lt)

**Santrauka.** Gintarų klasifikavimo problema žinoma jau seniai tarp gintaro meno amatininkų. Iki šiol esami automatizuoto klasifikavimo sprendimai praktikoje gintarus rūšiuodavo pagal spalvą, tačiau iškilo poreikis praplėsti gintarų klasifikavimo galimybes. Pasiūlytas sprendimas geba gintarą klasifikuoją pagal dydį (į pasirenkamą klasių skaičių), pagal formą (kvadratą, stačiakampį, ovalą, apskritimą, trapeciją, rombą, trikampį bei asimetrinę formą) bei pagal spalvą.

Pirmojo etapo metu siekiama atskirti analizuojamą objektą nuo fono. Konkrečiu atveju foną sukuria transportavimo juosta, kuri dažniausiai turi tam tikrą savo tekstūrą, atsitiktinius įbrėžimus ir kitus nelygumus. Išskyrus objektą aplinkoje, gaunamas binarinis vaizdas, kuriame gintaro gabalėlį atitinka balti, o foną juodi pikseliai.

Objekto dydžio įvertinimui apskaičiuojamas objektą sudarančių baltų pikselių kiekis, kuris nesunkiai gali būti konvertuojamas į fizikinius ploto vienetus. Šis gautas parametras naudojamas kaip savybė objekto klasifikavimui pagal dydį, kuris priskiriamas iš anksto nustatytoms klasėms. Priskyrimo klasėms įverčiai apskaičiuojami automatiškai nurodant norimą klasių skaičių bei didžiausią objekto pikselių skaičių priskirtą aukščiausiai klasei.

Egzistuojantis gitarų klasifikavimo pagal spalvą algoritmas klasifikuoja gintarus atsižvelgiant į gintaro nuotraukos histogramos savybes, kur įvertinama mediana, standartinis nuokrypis ir ekscesas. Iš šių parametrų sudaroma savybių matrica, kuri vėliau klasifikuojama naudojant sprendimų medžių ansamblį sudarytą iš 3 medžių. Pasiūlytas sprendimas sudalina gintaro nuotrauką į nustatytą segmentų skaičių ir vertina skirtumą tarp segmentų ir baltos spalvos. Algoritmas sugeba pats save apsimokyti t.y. gintaras klasifikuojamas atsižvelgiant į tolerancijos reikšmę, kuri atspindi maksimalų skirtumą tarp gintaro segmentų ir baltos spalvos.

Esamas sprendimas objekto formos identifikavimui naudoja centroidų atstumų funkciją (*Centroid distance function - CDF*). Tai vienmatė funkcija išreikšta atstumu nuo atskaitos taškų iki objekto centro. Kiekvienai nuotraukai pasirenkami 64 atskaitos taškai. Posūkio kampo įtakai pašalinti pritaikoma žiedinio postūmio operacija (*circular shift*), ko pasekoje gaunama 64x64 matrica. Gauta matrica apverčiama (gintaro veidrodiniam atspindžiui išvengti), ko pasekoje gaunama 128x64 matrica, kuri naudojama klasifikavimui. Klasifikavimui naudojamas sprendimų medžių ansamblis. Šis sprendimas reikalauja daug resursų, todėl praktikoje nėra naudojamas, nes klasifikavimas vyksta realiu laiku (apie 4 gintarai per sekundę). Gintaro formai įvertinti buvo priimtas naujas algoritmas, kai panaudojami papildomi nuotraukos apdorojimo etapai, kur apskaičiuojama objekto ilgoji ašis ir ji pasukama lygiagrečiai x koordinačių ašies atžvilgiu. Objekto nuotraukai pritaikomos dar kelios pasukimo procedūros (jei reikalingos), kur objekto siauriausia dalis x ašies atžvilgiu atsiduria dešinėje, o y ašies atžvilgiu viršuje. Naudojamas algoritmas vertina objekto x ir y ašių ilgį, einantį per objekto centrą, įstrižainių, pasuktų 45 laipsnių kampu nuo minėtų ašių ir besiribojančių su objekto kraštinėmis ilgį, objekto realų plotą ir ekvivalentinis plotas. Objekto forma nėra nusakoma vienareikšmiškai, net eksperto (žmogaus) priskyrimai nėra vienareikšmiai. Ši problema sprendžiama įvedus tolerancijos reikšmės formos nustatymo parametrus.

Pasiūlytas klasifikavimo sprendimas leidžia papildomai klasifikuoti gintarus pagal dydį ir formą (ne tik pagal spalvą). Gautas klases galima apjungti - klasių skaičius yra ribojamas tik klasifikavimui naudojamo įrenginio „kišenių“ skaičiaus. Pasiūlytas sprendimas formos klasifikavimui yra iki 12 kartų greitesnis nei naudojant sprendimų medžių ansamblį sudarytą iš 3 medžių. Ankstesni sprendimai reikalavo eksperto įsikišimo, kuris rankiniu būdu turėjo atrinkti gintarus į klases – pasiūlytas sprendimas šio etapo padeda išvengti.

9 priedas. Dalyvavimo konferencijoje „Lietuvos magistrantų informatikos ir IT tyrimai“ pažymėjimas.



# Pažymėjimas

**Marius Pivoras**

Kauno technologijos universitetas

dalyvavo Lietuvos mokslų akademijos  
mokslinėje konferencijoje

**Lietuvos magistrantų informatikos  
ir IT tyrimai**

ir skaitė pranešimą

**Smulkaus gintaro gabalėlių klasifikavimo pagal  
formą ir spalvą problemų tyrimas**

Konferencijos organizacinio komiteto pirmininkas  
akad. GINTAUTAS DZEMYDA

2019 m. gegužės 14 d.  
Vilnius