

VILNIAUS UNIVERSITETAS  
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS  
PROGRAMŲ SISTEMŲ KATEDRA

**Bangelių funkcijos veidų atpažinimo sistemose**  
**Wavelet functions in face recognition systems**

Magistro baigiamasis darbas

Atliko:	Julija Matiukova	(parašas)
Darbo vadovas:	lekt. dr. Tomas Plankis	(parašas)
Recenzentas:	doc. dr. Kristina Lapin	(parašas)

Vilnius – 2017

## **Santrauka**

Darbe pateiktas tyrimas atskleidžiantis bangelių funkcijų įtaką dažniausiai pasitaikančioms veidų atpažinimo problemoms. Keturioms problemoms buvo sudaryti pradiniai nuotraukų rinkiniai (veido apšvietimo, veido pozicijų, veido užstojimo ir veido išraiškų), kurie buvo apdorojami „Harr“, „Coiflets“, „Symlets“, „Daubechies“ bangelėmis siekiant išskirti kraštus ar pašalinti triukšmą. Visiems gautiems rinkiniams buvo identifikuojamas atpažinimo rezultatas PKA, LDA ir NKA algoritmomis ir pateikiamos išvados remiantis apsibrėžtais vertinimo kriterijais.

Raktiniai žodžiai: veidų atpažinimas, bangelių funkcijos, veidų atpažinimo problemos, triukšmo pašalinimas, kraštų išskyrimas.

## **Summary**

In this Master thesis studies the impact of wavelet transform on solving the common face recognition problems. Four data sets were created taking into account main face recognition problems: luminance changes, face cover, emotions and position changes. All four initial data sets were processed with wavelets („Harr”, „Coiflets”, „Symlets”, „Daubechies”) in order to detect edges and denoise images. Recognition result of LDA, PCA and ICA algorithms was computed for wavelet transformed data sets. Conclusions were also provided based on chosen evaluation criteria.

Keywords: face recognition, wavelet functions, face recognition problems, denoising, edge detection.

## TURINYS

Santrauka.....	2
Summary .....	3
Įvadas .....	6
1. Veidų atpažinimo sistemos.....	8
1.1. Problemos .....	8
1.2. Struktūra .....	9
1.2.1. Veido aptikimas.....	11
1.2.2. Veido atvaizdo normalizacija .....	13
1.2.3. Veido bruožų išskyrimas .....	14
1.2.4. Veidų atitikmenų radimas.....	14
2. Bangelių funkcijos.....	15
2.1. Bangelių funkcijų savybės.....	15
2.1.1. Išskaidymo lygio pasirinkimas .....	17
2.1.2. Dažnių ribos pasirinkimas .....	17
2.1.3. Aproximacija ir koeficientai .....	18
2.2. Pritaikymas .....	19
2.2.1. Vaizdo suspaudimas .....	19
2.2.2. Triukšmo pašalinimas.....	20
2.2.3. Kraštų išskyrimas .....	21
3. Tyrimas.....	22
3.1. Programiniai sprendimai .....	22
3.2. Vertinimo kriterijai .....	23
3.3. Sudaryti nuotraukų rinkiniai.....	24
3.4. Atlikti bandymai .....	26
3.4.1. Pradinių rinkinių atpažinimo tikslumas.....	26
3.4.2. Atpažinimo tikslumas apdorotam veido išraiškų rinkiniui.....	27
3.4.1. Atpažinimo tikslumas apdorotam apšvietimo rinkiniui .....	30
3.4.2. Atpažinimo tikslumas apdorotam veido pozicijų rinkiniui .....	33
3.4.1. Atpažinimo tikslumas apdorotam veido užstojimo rinkiniui .....	35
3.5. Rezultatų apibendrinimas .....	37
4. Rezultatai ir išvados .....	40
Šaltiniai .....	41
Santrumpos.....	46
Priedai .....	47

1.	priedas. Pradinių rinkinių atpažinimo rezultatas .....	47
2.	priedas. Atpažinimo rezultatas atlikus kraštų išskyrimą veido išraiškų rinkiniui .....	47
2.1.	„Harr/Db1” bangelė .....	47
2.2.	„Coif 1-5” bangelės .....	48
3.	priedas. Atpažinimo rezultatas atlikus kraštų išskyrimą veido apšvietimo rinkiniui .....	49
3.1.	„Harr/Db1” bangelė .....	49
3.2.	„Coif 1-5” bangelės .....	50
4.	priedas. Atpažinimo rezultatas atlikus kraštų išskyrimą veido pozicijų rinkiniui .....	51
4.1.	„Harr/Db1” bangelė .....	51
4.2.	„Coif 1-5” bangelės .....	52
5.	priedas. Atpažinimo rezultatas atlikus kraštų išskyrimą veido užstojimo rinkiniui .....	53
5.1.	„Harr/Db1” bangelė .....	53
5.2.	„Coif 1-5” bangelės .....	54
6.	priedas. Atpažinimo rezultatas pašalinus triukšmą veido išraiškų rinkiniui .....	55
6.1.	„Harr/Db1” bangelė .....	55
6.2.	„Coif 1-5” bangelės .....	55
7.	priedas. Atpažinimo rezultatas pašalinus triukšmą veido apšvietimo rinkiniui .....	57
7.1.	„Harr/Db1” bangelė .....	57
7.2.	„Coif 1-5” bangelės .....	57
8.	priedas. Atpažinimo rezultatas pašalinus triukšmą veido pozicijų rinkiniui .....	59
8.1.	„Harr/Db1” bangelė .....	59
8.2.	„Coif 1-5” bangelės .....	59
9.	priedas. Atpažinimo rezultatas pašalinus triukšmą veido užstojimo rinkiniui .....	61
9.1.	„Harr/Db1” bangelė .....	61
9.2.	„Coif 1-5” bangelės .....	61

## **Įvadas**

Tobulėjant informacinėms technologijoms daugėja ir nusikaltėlių galinčių suklastoti, nukopijuoti išorines atpažinimo priemones (pvz. identifikacinė kortelė, raktas) ar sužinoti prisijungimo slaptažodžius. Todėl vis dažniau saugiam žmogaus atpažinimui naudojamos biometrinės sistemos. Tokio tipo sistemos identifikacijos metu remiasi unikaliais žmogaus bruožais, kuriuos sunku suklastoti [PBD00]: balsas, pirštų antspaudai, veido bruožai, akies rainelė, plaštakos geometrija/kraujagyslės, DNR, parašas. Taip pat, naudojant biometrinius metodus atpažinimui žymiai sumažėja grėsmė pamiršti slaptažodį ar pamesti kitokią išorinę, identifikavimui reikalingą priemonę. Biometrinių sistemų atveju pats žmogus yra identifikacinis vienetas [PBD00].

Veidų atpažinimas yra pats natūraliausias biometrinis metodas, žmonių naudojamas nuo pat gimimo [FS11]. Jis turi didžiulį potencialą [MNR10, SBO+06b]. Tokio tipo sistemos nereikalauja fizinio kontakto su įrenginiais ir/ar atlikti specialių veiksmų: pasirašyti, pridėti pirštą/ranką prie skanerio, pažiūrėti į įrenginį, garsiai ir aiškiai pasakyti slaptažodį [IHS07]. Taip pat, kitaip nei kiti metodai, veidų atpažinimas leidžia iš vaizdų, gautų kameromis, atpažinti kelis asmenis vienu metu. Dar vienas sistemos privalumas – įgyvendinimui nereikalinga brangi ar specializuota įranga [PBD00]. Viskas ko reikia veido atpažinimui – kompiuteris ir vaizdo kamera.

Pirmoji tokio tipo sistema buvo sukurta 1960 metais [NST06]. Ši sistema reikalavo administruojančio žmogaus, kuris, nagrinėdamas nuotraukas, pažymėtų tam tikrus veido bruožus (pvz. akys, nosis, burna) ir tada mechaniškai paskaičiuotų atstumus ir santykius nuo tam tikro atskaitos taško ir suvestų gautus duomenis į sistemą. Nuo šios sistemos sukūrimo jau prabėgo nemažai laiko ir kompiuteriai pakankamai patobulėjo, leidžia apdoroti didelius informacijos kiekius. Dėl šio technologinio proveržio veidų atpažinimas pasuko sudėtingo matematinio mokslo link.

Ši sritis intensyviai nagrinėjama, tobulinama ir atpažinimo sistemos nebereikalauja mechaninės žmogaus intervencijos: jos pačios sugeba gauti vaizdą, jį apdoroti, išskirti bruožus ir pateikti atpažinimo atsakymą [ZY12]. Vis dėlto, tikslas prilyginti algoritmų tikslumą žmogaus pažinimo gebėjimui – dar nėra pasiektas [OLL08, SBO+06b]. Esami algoritmai pritaikyti dirbti su nuotraukomis, pateiktomis esant ypač statinėms aplinkos sąlygoms [YKA02, HA15]. Tačiau žmogus sugeba atpažinti kitą žmogų, suprasti bendravimo metu siunčiamą užkoduotą informaciją (pvz. emocijas, ketinimus, mintis, nuomonę) dinaminėmis sąlygomis [ASM+11].

Poreikis pritaikyti veidų atpažinimo sistemas dinaminei aplinkai atsirado tobulėjant kompiuterinei, stebėjimo įrangai bei stipriai pagausėjus teroristinių išpuolių kiekiui XXI a. pradžioje (kaip Rugsėjo 11 d. įvykiai JAV). Kol tyrėjai tobulina atpažinimo sistemas, didžiausios

pasaulio valstybės jau įsitikino, kad dinaminio atpažinimo sistemos turi būti naudojamos viešose vietose, norint sumažinti terorizmo grėsmę [SBO+06b]. Jau 2013 metais trys didžiausi tarptautiniai oro uostai – du Amerikoje (Logan, Fresno) ir vienas Rusijoje (Sankt. Peterburgo) pradėjo naudoti veidų atpažinimo sistemų bandomąsias versijas.

Deja, veido atpažinimo sistemų pritaikymas dinaminei aplinkai (pvz. barai, traukinių stotys, prekybos centrai, oro uostai, parkai) susiduria su žymia atpažinimo tikslumo sumažėjimo problema. Žmogaus veidas tokioje aplinkoje turi daug variacijų, kurios priklauso nuo [AMU97, YKA02, HA15]:

- *Veido išraiškų.* Keičiantis veido išraiškai keičiasi ir veido bruožai – atsiranda įvairių kaktos, akių ar burnos srities raukšlių. Taip pat, pakinta antakių burnos, akių ar žandų forma.
- *Veido užstojimo.* Tokių elementų kaip barzdos, akinių ar skrybėlės buvimas labai pakeičia žmogaus išvaizdą, dažniausiai tokie elementai labai trukdo atpažinimui. Be to, gali pasitaikyti taip, kad kiti objektai užstoja žmogaus veidą dalinai arba visiškai – tokiu atveju tikimybė atpažinti žmogų dar sumažėja.
- *Pozicijos pokyčių.* Pozos variacijos gali atsirasti dėl subjekto judėjimo ar filmavimo kameros pasisukimo kampo.
- *Apšvietimo.* Keičiantis apšvietimo kampui, stiprumui ir nuotoliui atsiranda šešėliai ir atspindžiai lemiantys veido bruožų pakitimą.
- *Žemos vaizdo raiškos.* Vaizdas, gaunamas stebėjimo kameromis, yra vienas iš pagrindinių atpažinimo tikslumo elementų.

Siekiant padidinti vaizdų gautų iš stebėjimo kamerų identifikavimo tikslumą ne visada yra galimybė pagerinti apšvietimą patalpoje/lauke, padidinti kamerų raišką ar jų išdėstymą, dėl to yra reikalingas papildomas vaizdų apdorojimas. Šis apdorojimo procesas gali būti atliktas naudojantis bangelių (*angl. wavelet*) funkcijomis [BGG98]. Be vaizdų apdorojimo galimybės šios funkcijos dar naudojamos akcijų biržų analizėje, įvairių signalų apdorojime, bylų suspaudime, neuroninių tinklų apmokyme ir kt. Kombinuojant ar naudojant po vieną šios funkcijos gali padidinti ar sumažinti egzistuojančių veidų atpažinimo metodų tikslumą [DY07].

Šio darbo tikslas – ištirti bangelių funkcijų įtaką atpažįstant veidus gautus iš stebėjimo kamerų.

Darbo uždaviniai:

- Mokslinės literatūros analizė ir apžvalga.
- Bangelių funkcijų nagrinėjimas.
- Trijų plačiausiai paplitusių veidų atpažinimo algoritmų identifikavimo tikslumo nustatymas, kai atpažinimui naudojami vaizdai apdoroti bangelių funkcijomis.
- Rezultatų palyginimas.

# 1. Veidų atpažinimo sistemos

## 1.1. Problemos

Dažniausiai pasitaikančios problemos veidų atpažinime [YKA02, HA15]:

- **Apšvietimo pokyčiai.** Mus supančioje aplinkoje gausu natūralių ir dirbtinių šviesos šaltinių, kurie pakeičia nuotraukose ar filmuotoje medžiagoje esančius pikselių atspalvius, jų ryšius ir skirtumus, o šiais remiasi dauguma metodų, išskiriančių veido bruožus [KC12]. Šviesos intensyvumo pokyčiai sąlygoja difuzinių ir veidrodinių atspindžių atsiradimą veide, o besikeičiantis apšvietimo kampas šešėlių atsiradimą [NKY08]. Tiek atspindžiai, tiek šešėliai pakeičia žmogaus veido bruožus, kas sąlygoja kitokių parametrų išgavimą [SBO+06a].
- **Veido pozicijos pokyčiai.** Nekontriuojamoje aplinkoje yra sunku gauti nuotrauką ar filmuotą medžiagą, kai žmonės žiūri tiesiai į objektyvą. Dažniausiai žmonių veidai būna pasukti, pakreipti, nuleisti ar pakelti tam tikru kampu. Veido pozicijos pokyčiai gali priklausyti ir nuo to kokioje vietoje ir kaip pakreipta stebėjimo kamera. Visgi paprastas veido pakreipimas nedaro jokios įtakos atpažinimo tikslumui, nes normalizacijos etape yra sutvarkomas [GK11]. Sunkiau yra su galvos pasukimu, pakėlimu ar nuleidimu, nes yra sumažinamas matomų veido bruožų skaičius ir tik dalis atpažinimo parametrų gali būti išgaunama.
- **Veido užstojimas.** Nevaldomoje aplinkoje gausu objektų, kurie gali užstoti žmogaus veidą – pastatų konstrukcijos, kiti žmonės ar kūno dalys, daiktai ir t.t. Taip pat, žmogus sąmoningai pasipuošdamas aksesuarais (skrybėlė, kepurė, auskarai ir kt.), išsidažęs makiažu ar pakeitęs šukuoseną gali užstoti savo veido bruožus ar juos iškreipti. Galimas yra pilnasis užstojimas, kurio atveju identifikacija yra negalima. Dalinio užstojimo atveju atpažinimo tikslumas gali sumažėti, bet identifikacijos tikimybė išlieka [LMC11].
- **Veido išraiška.** Žmogaus veidas siunčia signalus užkoduodamas informaciją, kurią gali pastebėti aplinkiniai. Šie signalai skirstomi į 4 kategorijas [PB07]:
  - Lėti – palaipsniui atsirandantys žmogaus veide.
  - Statiniai – pastovūs bruožai, tokie kaip apgamai ar kaukolės struktūra.
  - Greitieji – laikini veido raumenų pokyčiai ar odos reakcijos.
  - Dirbtiniai – priklauso nuo žmogaus išmonės (aksesuarai, makiažas).

Visi žmogaus veide užkoduojami signalai vienaip arba kitaip pakeičia žmogaus veido bruožus – kaktos, akių, burnos srityse atsiranda raukšlių ar pakinta žandų, veido, antakių, akių, nosies forma.

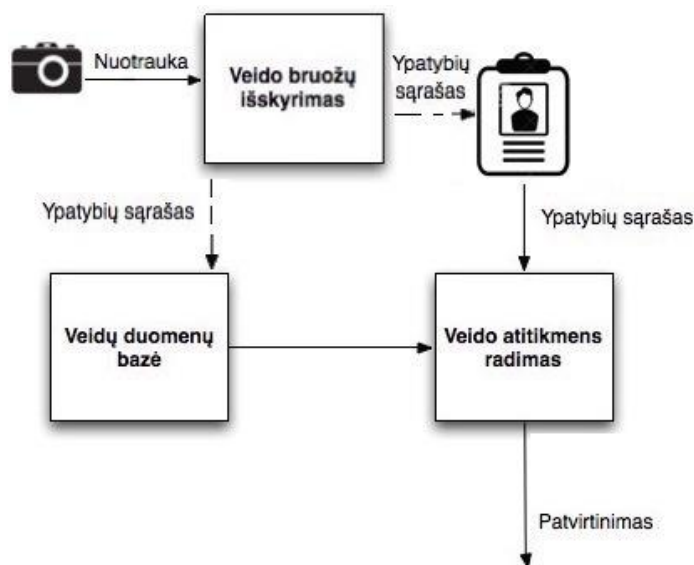


- **Žema vaizdo raiška.** Stebėjimo kameros dažniausiai išdėstomos taip, kad aprėptų kuo didesnę teritoriją, nuo ko ir nukenčia vaizdo kokybė. Taip pat kokybė gali priklausyti nuo kamerų/fotoaparatus nustatymų ar apšvietimo. Minimali vaizdo raiška – 32x32, o rekomenduojama – 128x128 [ZCR+03].

## 1.2. Struktūra

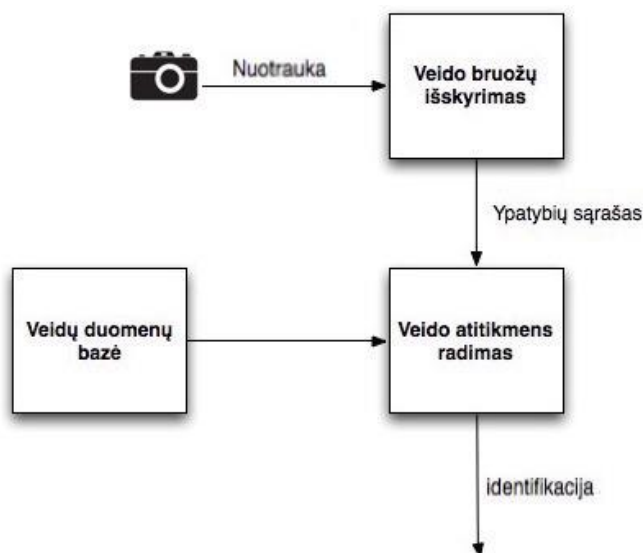
Šiuolaikinės automatinės veidų atpažinimo sistemos gali turėti nuo dviejų iki keturių etapų (žr. 1 pav., 2 pav., 3 pav.). Kiekvienas žingsnis glaudžiai susijęs vienas su kitu. Pašalinus bent vieną, veidų atpažinimas gali pareikalauti žmogaus įsikišimo, tapti neįmanomas arba netikslus [LJ05]. Priklausomai nuo sistemos tipo pradiniai duomenys gali būti nuotrauka, vaizdo srautas (*angl. video stream*) ar ypatybių sąrašas ir žmogaus tapatybė, o išeiga – rastų veidų identifikacija/patvirtinimas.

Pirmasis sistemų tipas (žr. 1 pav.) – žmogaus tapatybės patvirtinimo sistema. Šios sistemos dažniausiai naudojamos norint darbuotojams suteikti prieigas prie tam tikros pastato vietos [LJ05]. Tai viena paprasčiausiai įgyvendinamu sistemų, reikalaujanti tik kortelių skaitytuvo norimose pastato zonose [NPI06]. Kiekvienas darbuotojas gauna prieigas suteikiančią kortelę, kurioje įrašomas ypatybių sąrašas gautas išskiriant bruožus iš jo nuotraukos. Tokie pat duomenys yra įrašomi ir į sistemos duomenų bazę, kurioje papildomai gali būti nurodomas leidžiamų pastato zonų sąrašas. Kiekvieną kartą, kai skaitytuvas nuskaity kortelę yra atliekamas atitikmens radimas (*angl. face matching*) ir patvirtinama kortelės turėtojo tapatybė, jeigu toks atitikmuo rastas prieiga prie pastato zonos yra suteikta. Tokio tipo sistemos turi labai didelį trūkumą – darbuotojo kortelę galima pavogti ir nesunkiai patekti į saugomas pastato vietas [NPI06]. Taip pat tokio tipo sistemos nepritaikytos veikti nevaldomoje aplinkoje.

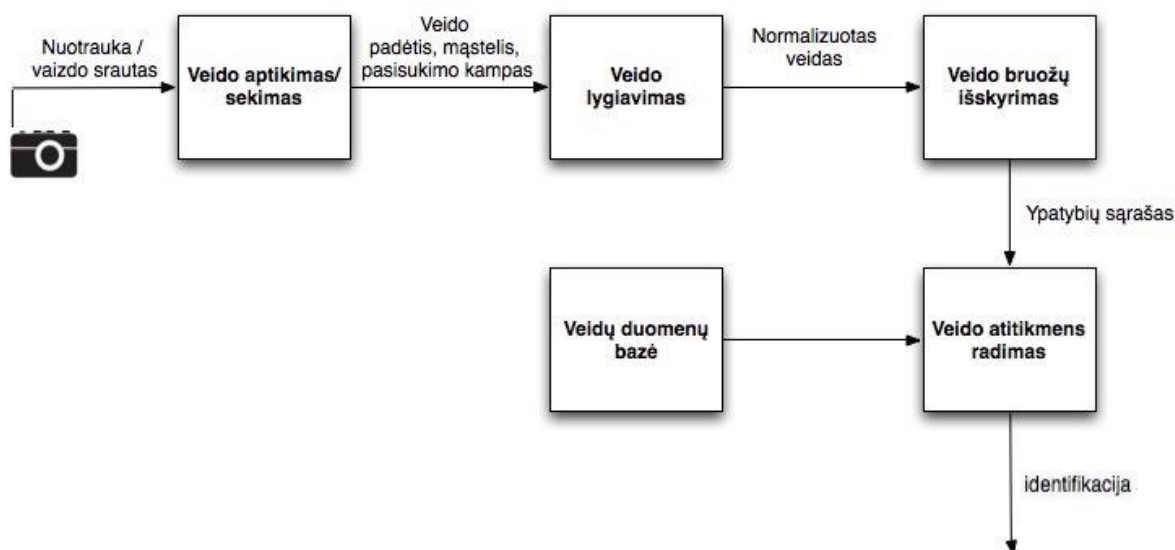


1 pav. Žmogaus tapatybės patvirtinimo sistemos struktūra [LJ05, NPI06]

Antrasis sistemų tipas (žr. 2 pav., žr. 3 pav.) veikia identifikacijos režimu. Identifikacijos metu atvaizdas ieškomas duomenų bazėje, kurioje yra iš anksto sukelti veidai palyginimui. Galimos dvi šios sistemos variacijos (žr. 2 pav., žr. 3 pav.). Pagrindinis skirtumas tarp šių veidų atpažinimo sistemų struktūrų yra tas, kad 3 pav. pavaizduota sistema yra labiau pritaikyta automatiškai veikti nevaldomoje aplinkoje, nes turi veido aptikimo/sekimo (*angl. face detection*) ir veido lygiavimo etapus (*angl. face alignment*) [NPI06].



2 pav. Veidų atpažinimo proceso struktūra [LJ05]



3 pav. Veidų atpažinimo proceso struktūra [LJ05]

Veidų atpažinimo sistemos išeigos tikslumas labai priklauso nuo išskiriamų bruožų, kurie savo ruožtu priklauso nuo to, kokioje aplinkoje buvo gauta pradinė nuotrauka ar filmuota medžiaga [YKA02, LMC11]. Šiame magistriniame darbe bus nagrinėjamos tik sistemos veikiančios identifikacijos režimu dėl jų geresnio pritaikomumo nevaldomoje aplinkoje. Tolimesniuose skyriuose bus detalizuojamas kiekvienas tokio tipo sistemos etapas išskiriant pagrindinius bruožus ir identifikuojant aprašytų problemų svarbumą šiuose etapuose.

### 1.2.1. Veido aptikimas

Veido aptikimas yra pirmasis automatinio veidų atpažinimo žingsnis, nuo kurio labai priklauso sistemos rezultatas [LJ05]. Egzistuoja tokios sistemos, kuriose šis žingsnis yra praleidžiamas, nes atpažinimui yra pateikiami jau normalizuoti veidų atvaizdai (žr. 2 pav.). Visgi tokios sistemos yra labai priklausomos nuo žmogaus ir autonomiškai veikti negali [NPI06].

Veido aptikimo žingsnio esmė – rasti visus veidus, nepriklausomai nuo jų padėties, mastelio, posūkio kampo, amžiaus ar veido išraiškos [LJ05]. Be to, aptikimas turėtų būti neįtakojamas apšvietimo sąlygų.

Šiame etape veido posūkio kampas ir veido užstojimas yra dideli iššūkiai, nes galimas pilnas veido bruožų užtemdymas ir aptikimo algoritmas veido neišskirs [NKY08, HA15]. Taip pat, per maža vaizdo kokybė ar netinkamas apšvietimas, dėl kurio atsiranda šešėliai ir atspindžiai gali suklaidinti aptikimo algoritmus ir objektas nepriklausantis žmogaus veidui bus priskirtas prie veido srities.

Veido aptikimo žingsnio metu privaloma atsakyti į tris svarbius klausimus [LJ05]:

1. Ar pateiktoje nuotraukoje ar filmuotoje medžiagoje yra veidas(-ai)?
2. Kokia yra veido padėtis nuotraukoje/kadre?
3. Koks veido mastelis ir pasukimo kampas?

Šio žingsnio išeiğa (žr. 4 pav.) – atsakymai į aukščiau pateiktus klausimus sekančiam žingsniui pateikia informaciją apie veido padėtį, mastelį ir poziciją.



4 pav. Veidų aptikimo etape aptikti veidai [LJ05]

### 1.2.1.1. Aptikimo metodai

Labiausiai išplitę veido aptikimo algoritmai yra paremti žmogaus išvaizdos elementais [YKA02]. Veido aptikimas gali būti atliktas remiantis [LJ05]:

1. Odos spalva (nuotraukose ir filmuotoje medžiagoje).
2. Judėjimu (filmuitoje medžiagoje).
3. Veido/galvos forma, išvaizda ar šių parametrų kombinacija.

Veido aptikimo metodai gali būti skirstomi į keturias kategorijas [YKA02]:

1. **Žiniomis pagrįsti metodai** (*angl. Knowledge-based methods*). Metodai grindžiami taisyklėmis, sukurtomis naudojantis žiniomis apie žmonių veidų struktūrą. Labai nesunku atspėti kai kurias taisykles: kiekvienas veidas turi beveik simetriškas akis, nosis yra veido viduryje. Šie metodai yra suprojektuoti veido vietos nustatymui.
2. **Statinių bruožų metodai** (*angl. Feature-invariant methods*). Algoritmai ieško veido bruožų, privalančių egzistuoti net jeigu pozicija, pasisukimo kampas ar apšvietimas skiriasi. Šios kategorijos metodų veikimą labai apsunkina žmogaus veido nuotrauka ar filmuota medžiaga gauta nevaldomoje aplinkoje. Šie metodai yra suprojektuoti veido vietos nustatymui.
1. **Šabloninio atitikimo metodai** (*angl. Template matching methods*). Šie algoritmai lygina pradinius vaizdus su esamais veido bruožų šablonais (*angl. patterns of faces or features*). Jie yra suprojektuoti veido vietos nustatymui, aptikimui.
2. **Išvaizda pagrįsti metodai** (*angl. Appearance-based methods*). Tokių metodų šablonų duomenų bazė mokosi iš vaizdų pavyzdžių. Šiems metodams būtinas pirminis apmokymas. Išvaizdos principu paremti metodai naudoja statistinę duomenų analizę ir dirbtinį intelektą, kad rastų atitinkamus veido bruožus. Šie metodai yra suprojektuoti veido aptikimui.

Tikslesniam veido aptikimui yra naudojami keli veido aptikimo metodai iš skirtingų kategorijų.

### 1.2.1.2. Sekimo komponentas

Sistemos pirminius duomenis gaunančios kaip vaizdo srautą (*angl. video stream*) gali ne tik aptikti veidus, bet ir juos sekti. Šio komponento veikimo metu yra įvertinami: lankstūs (pvz. burna, akys, įvairios mimikos ir t.t.) ir nelankstūs veido bruožai (pvz. veido kontūras) naudojantis vaizdo kadrais. Gauti duomenys iš kiekvieno kadro gali būti panaudojami ateityje.

Kadangi privaloma apdoroti didelį kiekį duomenų, kartais veidai gali būti neaptinkami arba aptinkami klaidingai. Viename vaizdo kadre taip pat gali būti aptiktas daugiau nei vienas veidas [KBG+09].

Sekti veidą galima keliais skirtingais būdais [YKA02]:

1. **Veido sekimo** – stebi nelankstų objektą judesyje, kuris sukiojasi ir kinta.
2. **Veido bruožų sekimo** – stebi lanksčias deformacijas, apribotas veido anatomija. Tai yra veido išraiškos ar kitas veido judėjimas dėl raumenų susitraukimų ar atsipalaidavimo.
3. **Pilno sekimo** – stebi tiek galvą, tiek veido bruožus.
4. **Pagrįsti judesiu** – įvertina taškų padėtis pakadriui.
5. **Pagrįsti modeliu** – 3D veido modelis yra naudojamas tam, kad sukombinuoti virtualų vaizdą iš duoto paveikslėlio.

Apibendrinant, būdus galima skirstyti į dvi kategorijas [ZCR+03]:

1. **Veido/bruožų sekimas.** Žmogaus galva gali būti sekama kaip vienis arba sekami atskiri veido bruožai.
2. **2D/3D.** 2D seka veidą ir išiega – aptiktas veidas. 3D modeliuoja veidus, tai padeda nustatant poziciją ar orientaciją variacijas.

### 1.2.2. Veido atvaizdo normalizacija

Veidų atvaizdo normalizacijos etapo tikslas – minimizuoti veido variacijas ir taip padidinti atpažinimo tikslumą [CY11]. Šio etapo metu yra sumažinamas kadro kontrastas, mastelis, veido pasisukimo kampas, pašalinami pašaliniai objektai [LJ05, CY11]. 2 pav. pavaizduotoje sistemoje šį žingsnį praleidžia, nes atpažinimui pateikiami jau normalizuoti atvaizdai.

Veido atvaizdo normalizacijos standartiniai žingsniai (žr. 5 pav.) [CY11]:

1. Dydzio keitimas (a) – iškerpamas aptikimo metu rastas veidas.
2. Apkarpymas (b) – pašalinamas fonas ir pašaliniai objektai, kurie gali būti išskirti kaip veido bruožai.
3. Konversija į juodai baltą (c) – eliminuojamos spalvos (c).
4. Histogramos suvienodinimas (d) – padidėja atvaizdo kontrastingumas, kas sumažina apšvietimo variacijas.



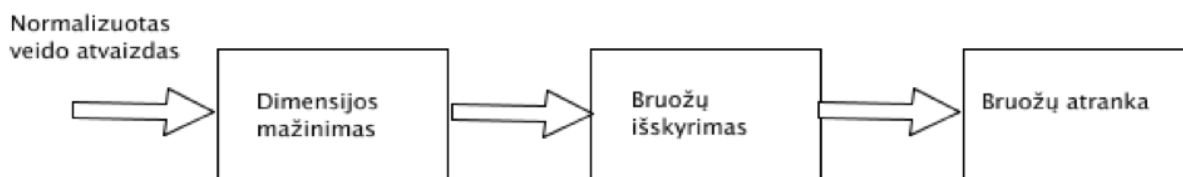
5 pav. Keturi normalizavimo žingsniai [CY11]

### 1.2.3. Veido bruožų išskyrimas

Veido atpažinimui reikiama informacija gaunama veido bruožų išskyrimo etapo metu. Veido sritys (akys, nosis, burna) arba atstumai tarp veido bruožų (tarpai tarp akių) yra galimai išskiriami veido bruožai. Šio žingsnio išeiga yra išrinktų bruožų sąrašas.

Šį etapą sudaro trys žingsniai [JDM02, CY11] (žr. 6 pav.):

- **Vaizdo suspaudimas** – pradinės nuotraukos ar filmuota medžiaga gali turėti perteklinių duomenų, todėl yra naudinga medžiagą apdirbti ir pašalinti nereikalingą informaciją.
- **Bruožų išskyrimas.** Bruožų išskyrimo algoritmai išgauna visą reikiamą informaciją iš pateikto atvaizdo. Algoritmai transformuoja ir grupuoja duomenis tam kad būtų galima atrinkti reikiamus bruožus.
- **Bruožų atranka.** Bruožų atrankos algoritmų tikslas yra atrinkti poabį išrinktų bruožų, keliančių mažiausią klasifikacijos klaidų kiekį, ir at mesti nereikalingus bruožus. Bruožų atranka visada seka po bruožų išskyrimo.



6 pav. Veido bruožų išskyrimo etapai [CY11]

### 1.2.4. Veidų atitikmenų radimas

Galiausiai sistema randa veido bruožų atitikmenis. Šis etapas apima palyginimo metodą (*angl. comparison method*), klasifikavimo (*angl. classification algorithm*) ir tikslumo matavimo (*angl. accuracy measure*) algoritmus [LJ05]. Bruožų išskyrimo etapo metu gautas bruožų sąrašas yra lyginamas su duomenų bazėje esančiais sąrašais ir atitikmens atveju yra identifikuojamas/patvirtinamas žmogus. Gali atsitikti ir taip, kad žmogaus atpažinti nepavyko, tuomet pateikiamas atitinkamas pranešimas.

Šiame magistriniame darbe nagrinėjamos sistemos, naudojančios atitikmenų radimo algoritmus, veikiančius identifikavimo režimu. Identifikacijos metu veido atvaizdas ieškomas duomenų bazėje, kurioje yra sukelta daugybė kitų veido atvaizdų palyginimui.

## 2. Bangelių funkcijos

Pirmosios bangelių funkcijos pristatytos 1910 metais ir pavadintos jų kūrėjo vardu – Harr bangelėmis [Pan03]. Po pirmųjų bangelių atsiradimo labai ilgą laiką bangelės įvairiomis formomis buvo naudojamos fizikoje, matematikoje ir elektronikoje [Wel94]. 1986 metais S. Mallat pristatė daugiapakopės skiriamosios gebos analizę (*angl. Multiresolution analysis*), kurioje apjungė pagrindinius bangelių tema rašytus darbus [Pan03].

Dauguma duomenų realiame pasaulyje nėra atsitiktiniai ir turi tam tikrą baigtinę unikalią struktūrą. Ši struktūra pasinaudojant bangelių funkcijomis gali būti išreikšta dvimatėje erdvėje – laiko ( $x$  ašis) ir dažnio ( $y$  ašis) koreliacija [Pan03]. Bangelės yra mažos bangos koncentruotos laike ir dažnyje apie konkretų originalaus signalo tašką, o jų vidurkis – nulis [Rit02]. Šiame darbe bus taikomos bangelės atitinkančios daugiapakopės skiriamosios gebos analizę, nes tokios bangelės gali lengvai būti atverstos atgal į originalų signalą ir su jomis galima efektyviai pritaikyti transformacijas [MMO+07].

Bangelių funkcijos taikomos tokiose srityse kaip [Gra95, Wel94]:

- Statistika.
- Signalų apdorojimas:
  - Žemės drebėjimų židinių analizė.
  - Signalų suspaudimas.
  - Signalų panašumo analizė.
  - Triukšmo egzistuojančio vaizduose ar signale šalinimas.
- Vaizdų suspaudimas.
- Veidų atpažinimas, pirštų antspaudų atpažinimas ir kitos biometrijos sritys.
- Matematika:
  - Integralinių ir diferencialinių lygčių sprendimas.
  - Matricų daugyba.

Bangelių funkcijos kombinuotos su kitais metodais labai plačiai naudojamos medicinoje – padeda aptikti auglius ir kaulų lūžius [CY11]. Bangelių funkcijos kombinuojamos kartu su veidų atpažinimo algoritmais geresniam atpažinimo rezultatui gauti [DY07]. Bangelių funkcijų taikymas nuotraukų ar filmuotos medžiagos apdorojime gali padėti išspręsti problemas kylančias veidų atpažinime [BGG98, DY07].

### 2.1. Bangelių funkcijų savybės

Esamos bangelių funkcijos skirstomos į šeimas (žr. 1 lentelė.). Apdorojant vaizdus geriausia naudoti ortogonalias bangeles, kurios palaiko kompaktiškumą. Ši savybė sumažina klaidų skaičių gaunamą rekonstruojant bangele apdorotą vaizdą atgal [MMO+07].

Iš 1 lentelėje esančių bangelių šeimų ortogonalios ir palaikančios kompaktiškumą yra šios [MMO+07]:

- „Harr“.
- „Daubechies“.
- „Symlets“.
- „Coiflets“.

**1 lentelė.** Bangelių šeimos [CRC09, MMO+07, Nik13]

<b>Bangelių šeimos pavadinimas</b>	<b>Trumpinys</b>
„Harr“	harr
„Daubechies“	db $Nr$ ( $Nr$ nuo 1 iki 45)
„Symlets“	sym $Nr$ ( $Nr$ nuo 2 iki 45)
„Coiflets“	coif $Nr$ ( $Nr$ nuo 1 iki 5)
„Biorthogonal“	bior $Nr.Nd$ ( $NR.Nd$ gali būti: $NR=1, Nd=1,3,5, NR=2, Nd=2, 4, 6,8. NR=3, Nd=1, 3, 5, 7, 9, NR=4, Nd=4, NR=5, Nd=5, NR=6, Nd=8.$ )
„Mayer“	meyr, dmeyr
„Gauso“	gaus
„Morlet“	morl
„Meksikietiška kepurė“ ( <i>angl. Mexican hat</i> )	mexh
„Battle and Lemarie“	btlm
„Sudėtinė Gauso“	cgau
„Sudėtinė Shannon,“	shan
„Sudėtinė Morlet“	cmor

Iš stebėjimo kamerų gaunamų duomenų galima išskirti vaizdą ir garsą. Garsas yra vienos dimensijos, o vaizdas dviejų dimensijų. Dviejų dimensijų nespaltoti vaizdo duomenys yra baigtiniai ir apibrėžiami funkcija  $f(x, y)$ , kur  $x$  ir  $y$  yra konkretaus pikselio koordinatės [LWL13]. Spalvoti vaizdai apibrėžiami trejomis funkcijomis, įskaitant spalvų kodų matricą [MMO+96].

Transformuojant vaizdus „Harr“, „Daubechies“, „Symlets“, „Coiflets“ šeimų bangelėmis geriausi rezultatai pasiekiami naudojant diskrečią bangelių transformaciją [LWL13]. Šią



transformaciją galima apibūdinti kaip daugiapakopį signalo filtravimą, kurio metu išskiriama žemų ir aukštų dažnių informacija [LWL13]. Kiekvienam vaizdui prieš transformavimą turi būti apskaičiuoti išskaidymo lygio ir dažnių ribos parametrai [LWL13].

### 2.1.1. Išskaidymo lygio pasirinkimas

Vaizdo su triukšmu signalą galima apibrėžti kaip [LWL13]

$$f(x, y) = s(x, y) + v(x, y),$$

kur  $s(x, y)$  yra naudinga signalo informacija, o  $v(x, y)$  – triukšmas. Bangelių transformacija daro prielaidą, jog egzistuoja toks išskaidymo lygis  $m^*$ , su kuriuo  $f(x, y)$  reikšmingai skirsis nuo  $v(x, y)$ .

Bangelės funkcijos teorinis išskaidymo lygio maksimumas  $l$  apskaičiuojamas pagal formulę [Rit02],

$$l = \log_2 N,$$

kur  $N$  signalo ilgis.

Patartina naudoti tokį išskaidymo lygį, su kuriuo signalo ir triukšmo distribucija reikšmingai skiriasi ( $m^* - 1$ ) [MMO+07].

### 2.1.2. Dažnių ribos pasirinkimas

Mažus signalo dažnius dominuoja triukšmas, o didelius – reikiamos informacijos dažnis [MMO+07]. Pakeitus arba išėmus mažus signalo dažnius galima sumažinti triukšmo kiekį signale, jeigu triukšmas yra tolygiai pasiskirstęs signale ir triukšmo kiekis neviršija reikiamo informacijos kiekio [RVS02]. Šis procesas vykdomas pasirenkant “kietą” (angl. *hard*) arba “minkštą” (angl. *soft*) signalo ribą.

Kieta signalo riba arba palieka atitinkamą dažnį, arba jį pašalina. Ši funkcija apibrėžiama kaip [RVS02]

$$D(f, \lambda) = \begin{cases} f, & \text{jeigu } |f| > \lambda \\ 0, & \text{jeigu } |f| \leq \lambda \end{cases}$$

kur  $\lambda$  pasirinkta riba, o  $f$  bangelės signalo dažnis.

Minkšta signalo riba signalo dažnį pakeičia, kad atitiktų pasirinktą ribą. Ši funkcija apibrėžiama kaip

$$D(f, \lambda) = \text{sign}(f) \max(0, |f| - \lambda),$$

kur  $\lambda$  pasirinkta riba,  $f$  bangelės signalo dažnis, o  $\text{sign}(f)$  nustato bangelės signalo dažnio ženklą.

Literatūroje dažnai naudojama universali signalo riba [RVS02]. Ji apibrėžiama kaip

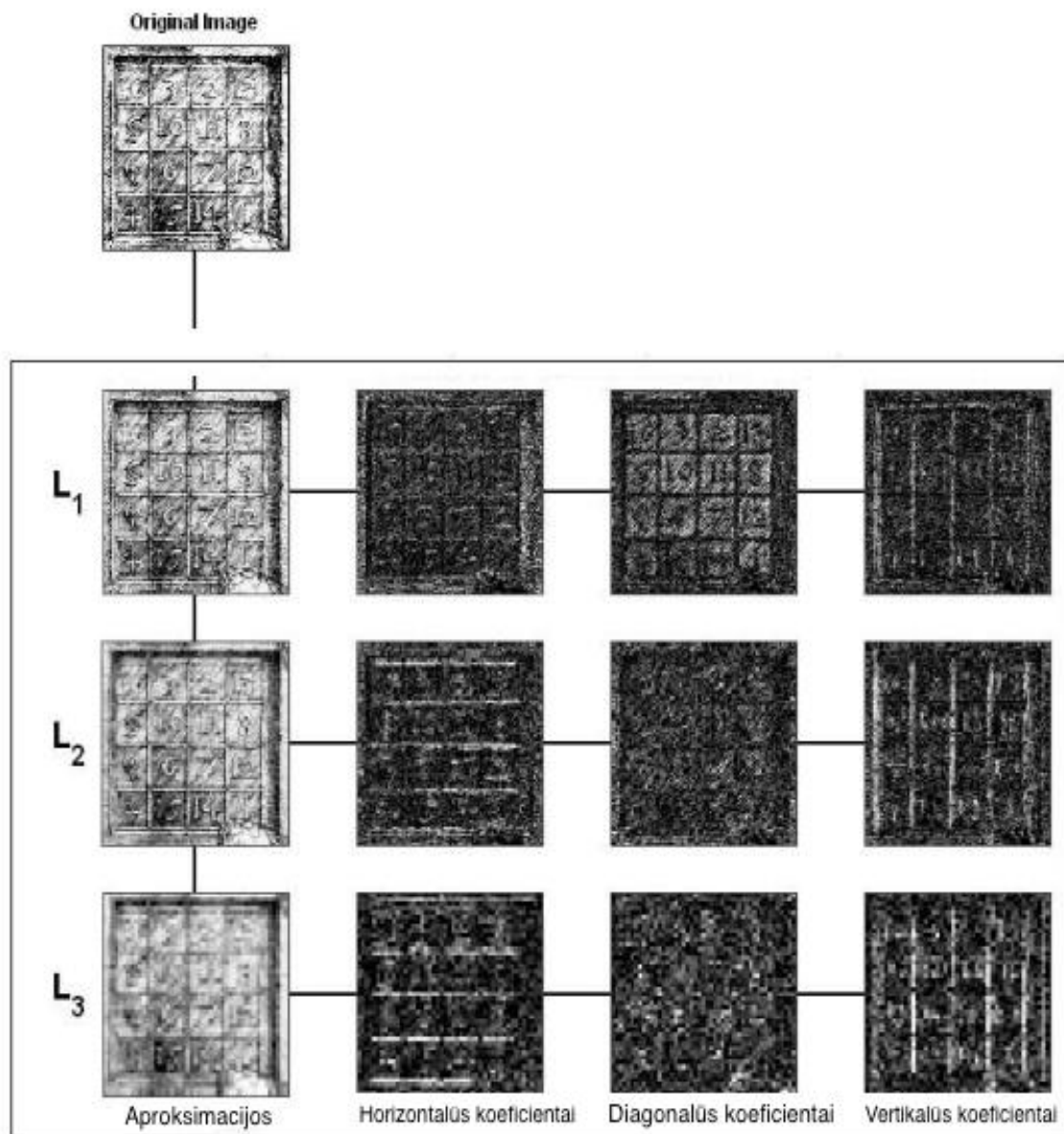
$$\lambda_{UNIV} = \sqrt{2 \ln N} \sigma,$$

kur  $N$  signalo ilgis, o  $\sigma$  – signalo standartinis nuokrypis. Literatūroje siūlo naudoti mažesnes signalo ribas nepriklausomai nuo pasirinktos bangelės funkcijos nei nurodo universali riba [RVS02] – “kietai” signalo ribai 1,2, “minkštai” signalo ribai 1,6.

### 2.1.3. Aproximacija ir koeficientai

Transformuojant nuotrauką diskrečia bangelių funkcija kiekvienam iš išskaidymo lygių sugeneruojama (žr. 7 pav):

- Horizontalūs, vertikalūs ir diagonalūs koeficientai.
- Aproximacija (atmetūs vertikalius, horizontalius ir diagonalius koeficientus).



7 pav. Koeficientai ir aproximacijos 3 išskaidymo lygiams [MMO+07]

## 2.2. Pritaikymas

Taikant skirtingas bangeles ir papildomus vaizdų filtrus pilkų atspalvių išreikštų sveikaisiais skaičiais matricai galima vaizdą suspausti, pašalinti triukšmą, išskirti vaizdo kraštus ir apjungti kelis vaizdus [MMO+07].

### 2.2.1. Vaizdo suspaudimas

Vaizdo suspaudimas dažnai laikomas pirmine bangelių funkcija [MMO+07]. Vaizdo suspaudimas reikalingas norint sutaupyti kietojo disko vietos talpinant didelę veidų atpažinimui reikiamą duomenų bazę arba norint greičiau persiųsti didelius kiekius informacijos. Vaizdų suspaudimo standartas JPEG 2000 naudoja simetriškumu pasižyminčias bangeles ir išpopuliarino bangelių panaudojimą vaizdų suspaudimui [Rit02]. Bangelių vaizdų suspaudimo funkcijos atmeta visą perteklinę informaciją nuo pasirinktos ribos. Pertekline informacija laikomi žmogaus akiai nematomi aukštieji dažniai apdorojamame vaizde [Nik13]. Naudojant bangeles suspausto paveikslėlio vaizdas tampa švaresnis, o suspaudimo kokybės nuostoliai yra nedideli. Palyginimui vaizdų suspaudimo standartas JPEG naudoja diskrečią kosinusų transformaciją (DKT) suspaudimui ir praranda labai daug informacijos. Kai JPEG standarto suspaudimo laipsnis yra ganėtinai didelis, dalis informacijos iš paveikslėlio dingsta ir pablogina vaizdo kokybę (žr. 8 pav.) [LL10].

Vaizdas panaudojant bangelių funkcijas suspaudžiamas šiais žingsniais [AH01]:

1. Kiekviena pilkų atspalvių matricos  $f(x, y)$  eilutė ir stulpelis transformuojama diskrečia bangelių funkcija.
2. Kiekvienai  $f(x, y)$  reikšmei, kur  $0 \leq x < W$ ,  $0 \leq y < H$ , o  $W$  ir  $H$  – atitinkamai vaizdo plotis ir aukštis – gaunami bangelių koeficientai  $c(i, j)$ , kur  $0 \leq i < W$  ir  $0 \leq j < H$ .
3. Pasirinkus ribą  $\lambda$  koeficientai didesni nei  $\lambda$  yra šalinami ir gautas atvaizdas  $z(n, m)$  panaudojus atvirkštinę diskrečią bangelių transformaciją – kur  $0 \leq n < W$  ir  $0 \leq m < H$  – yra vaizdo  $f(x, y)$  suspausta aproksimacija.

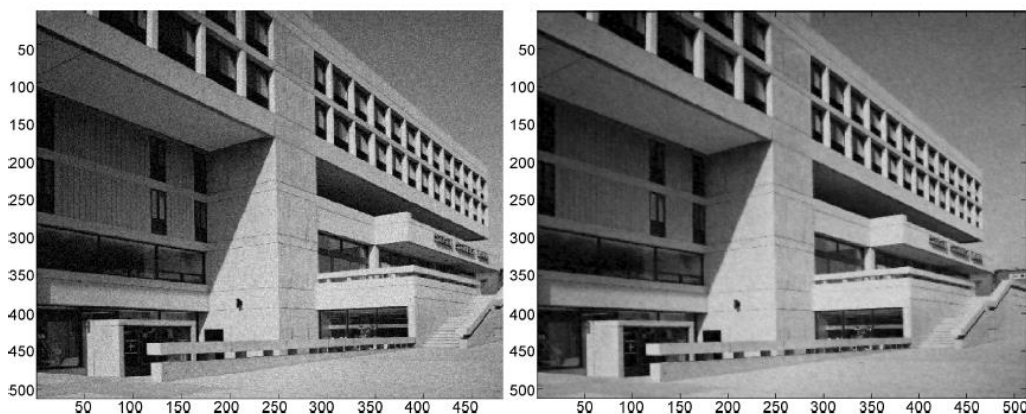
Vaizdo suspaudimui rekomenduojama naudoti simetriškas bangelių funkcijas, nes kitu atveju vaizdo kraštuose atsiras tuščių pikselių (*angl. artefacts*) [Rit02]. Taip pat, kuo bangelių funkcija daugiau kartų kerta nulį, tuo labiau vaizdą galima suspausti [MMO+07].



8 pav. Skirtingi suspaudimo standartai JPEG ir JPEG 200 [LL10]

### 2.2.2. Triukšmo pašalinimas

Nevaldomoje aplinkoje gaunami vaizdai pilni triukšmo, kuris gali būti pašalinamas naudojantis bangelių funkcijomis [BGG98]. Priklausomai nuo triukšmingumo lygio paveikslėlyje skirsis ir gaunamo vaizdo kokybė. Triukšmo pašalinimo metu vaizdas suglotninamas, dėl to dalis naudingos informacijos gali būti prarasta [Lai09]. 9 pav. pavaizduota kaip triukšmas gali būti pašalinamas „Daubechies“ bangelės pagalba.



9 pav. Triukšmo pašalinimas [Lai09]

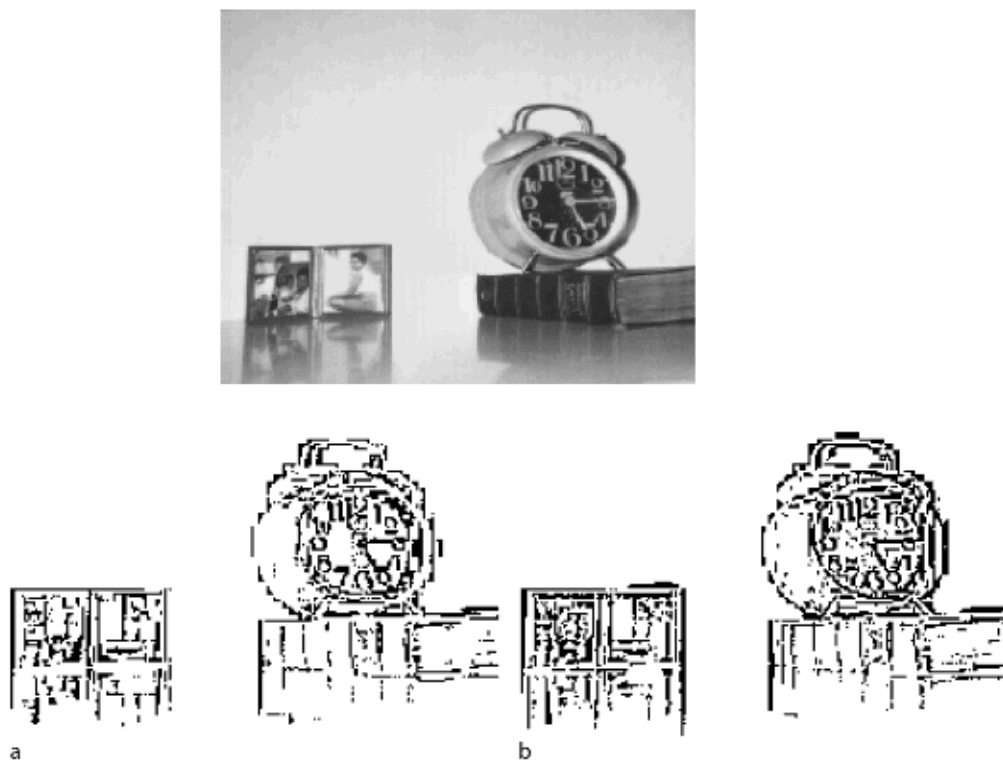
Triukšmo šalinimo procesą bangelių funkcija sudaro trys žingsniai [DY07]:

- Nuotraukos pikselių informacijos pavertimas bangelėmis.
- Bangelės apribojimas apkarant dažnius aukštesnius nei pasirinkta riba.
- Apribotų bangelių pavertimas atgal į atvaizdą.

Triukšmo šalinimo proceso rezultatai priklauso nuo pasirinktos bangelės funkcijos, bangelės funkcijos išskaidymo lygio ir pasirinktos dažnių apribojimo ribos [Mal99]. Pasirinkta dažnių riba ypač lems kiek vaizdas bus suglotninamas ir kiek informacijos bus prarasta.

### 2.2.3. Kraštų išskyrimas

Dar vienas svarbus bangelių pritaikymas – kraštų išskyrimas [LL10]. 10 pav. pavaizduotas kraštų išskyrimas naudojantis „Harr“ (a) ir „Daubechies“ (b) bangelėmis. Šis bangelių pritaikymas padeda sumažinti veido apšvietimo poveikį nuotraukose ir veido bruožų išskyrimo algoritmai gali išskirti daugiau tinkamų bruožų atpažinimui [LL10].



10 pav. Kraštų išskyrimas [Lai09]

Kraštų išskyrimo metu nuotraukos kiekviena eilutė, stulpelis ir diagonalė transformuojama diskrečia bangelių funkcija. Gauti horizontalūs, vertikalūs ir diagonalūs koeficientai ir yra reikiami kraštai, nes juose yra visa aukšto dažnio informacija [MMO+07]. Aproximacijas reikia atmesti ir pasinaudojus atvirkštinę bangelių transformacija gauti naują nuotrauką, kurioje bus tik aukšti dažniai. Esant triukšmingam paveikslėliui kraštų išskyrimas gali būti netikslus [LKK15].

### 3. Tyrimas

Šiame magistriniame darbe aprašytoms problemoms (žr. 1.1. skyrių) spręsti gali padėti bangelių funkcijų pritaikymas kraštų išskyrimui ir triukšmo pašalinimui iš nuotraukų (žr. 2.3. skyrių). Siekiant įvertinti kaip pasikeičia veidų atpažinimo rezultatas buvo sudaryti problemas atspindintys rinkiniai ir atlikti bandymai.

Atpažinimo tikslumui nustatyti pasirinkti algoritmai nagrinėti autoriaus bakalauriniame darbe – PKA, LDA ir NKA.

Atsižvelgus į 2.3. skyrių pasirinktos „Harr“, „Coiflets“, „Symlets“, „Daubechies“ bangelių šeimos kuriomis apdorojami rinkiniai siekiant išskirti kraštus ar pašalinti triukšmą.

Toliau šiame skyriuje pateikti programiniai sprendimai, vertinimo kriterijai, sudaryti pradiniai nuotraukų rinkiniai, atlikti bandymai ir jų rezultatai.

#### 3.1. Programiniai sprendimai

Siekiant atlikti numatytus bandymus naudota „MATLAB“ programinė įranga ir jai skirti priemonių rinkiniai (*angl. toolbox*).

Nuotraukų rinkinių atpažinimo tikslumo identifikavimui pasirinktas „Face Recognition Evaluation for MATLAB“ priemonių rinkinys, veikiantis identifikacijos režimu (žr. 2 pav.). Šis įrankis puikiai tinka [BEC08]:

- Lyginti naujai sukurtus veidų atpažinimo algoritmus su jau esamais.
- Lyginti veidų atpažinimo algoritmų tikslumo pokyčius skirtingiems nuotraukų rinkiniams.

PKA, LDA ir NKA algoritmai pateikiami kartu su išeities kodu, dėl to jokių papildomų programavimo darbų atlikti neprireikė. Šis rinkinys po kiekvieno nuotraukų rinkinio apdorojimo pateikia ataskaitą .csv formatu, kurioje pateikiamas atpažinimo tikslumas, apmokymo ir identifikavimo etapų vykdymo laikas, panaudoti kompiuterio resursai.

Taip pat vertėtų pabrėžti, kad siekiant kuo tikslesnių rezultatų, sudarytų nuotraukų rinkinių tikslumo įvertinimui nebuvo naudota nei viena veido nuotrauka, kuri buvo įtraukta į sistemos apmokymui skirtą rinkinį. Sistemos apmokymui skirtas rinkinys visais atvejais sudarė 3 nuotraukas kiekvienam subjektui.

Rinkinių apdorojimas bangelių funkcijomis realizuotas „Wavelet Toolbox“ priemonių įrankio pagalba. Šis įrankis savyje turi labai daug funkcijų: kraštų išskyrimui, suspaudimui ar triukšmo pašalinimui. Taip pat pateikiama detali įrankio specifikacija su visomis funkcijomis ir pavyzdžiais. Patogi vartotojo sąsaja suteikia galimybę pasibandyti įvairias bangelių funkcijas ir susigeneruoti programinį kodą konkrečiam bangelės pritaikymui. Šiuo funkcionalumu ir buvo pasinaudota kuriant kraštų išskyrimo ir triukšmo pašalinimo modulį. Papildomai reikėjo

automatizuoti nuotraukų paėmimą iš katalogų ir bangelėmis apdorotų nuotraukų įrašymą į tam skirtą vietą.

### 3.2. Vertinimo kriterijai

Pagrindinis kriterijus vertinant bet kokio tipo veidų atpažinimo sistemą – jos gebėjimas tiksliai identifikuoti asmenį, tačiau to gali nepakakti jeigu veidų atpažinimo sistema turi veikti dinaminėje aplinkoje (pvz. barai, traukinių stotys, prekybos centrai, oro uostai, parkai). Tokioje aplinkoje stebėjimo kameros vienu metu gali užfiksuoti ne vieną veidą, o duomenų apdorojimas turi veikti realiuoju laiku, kas naudoja daug kompiuterinių resursų. Dėl to nemažiau svarbus yra atsakymo greitis, kuris priklauso nuo kiekvieno sistemos etapo (žr. 1 pav., žr. 2 pav., žr. 3 pav.).

Tyrimo naudojama atpažinimo sistema nėra realiuoju laiku veikiančios sistemos atitikmuo, nes nuotraukų rinkiniai pateikiami iš anksto paruošti – kiekvienoje nuotraukoje pavaizduotas vienas atpažinimui ar apmokymui skirtas veidas (aptiktas, iškirptas, papildomai apdorotas bangelių funkcijomis). Atsižvelgus į šį faktą ir į magistrinio darbo tikslą lyginant pradinių rinkinių gautus rezultatus su bangelėmis apdorotų rinkinių rezultatais bus remtasi tokiais kriterijais:

1. Atpažinimo tikslumas (%).
2. Apmokymo laikas (s/veidui).
3. Identifikavimo laikas (s/veidui).

Bangelės kurios padidins atpažinimo tikslumą ir nepadidins apmokymo ir identifikavimo etapų vykdymo laiko bus skaitomos geriausiai tinkančiomis spręsti darbe aprašytoms problemoms.

Iš „Face Recognition Evaluation for MATLAB“ priemonių rinkinio sugeneruotų ataskaitų gauti rezultatai bus registruojami 2 lentelėje pateiktu šablonu, o duomenų vizualizacijai bus sugeneruoti grafikai.

**2 lentelė.** Duomenų rinkimo šablonas

<b>Rinkinys</b>	<b>Veidų atpažinimo algoritmas</b>	<b>Atpažinimo tikslumas (%)</b>	<b>Apmokymo laikas (s/veidas)</b>	<b>Identifikavimo laikas (s/veidas)</b>
	PKA			
	LDA			
	NKA			

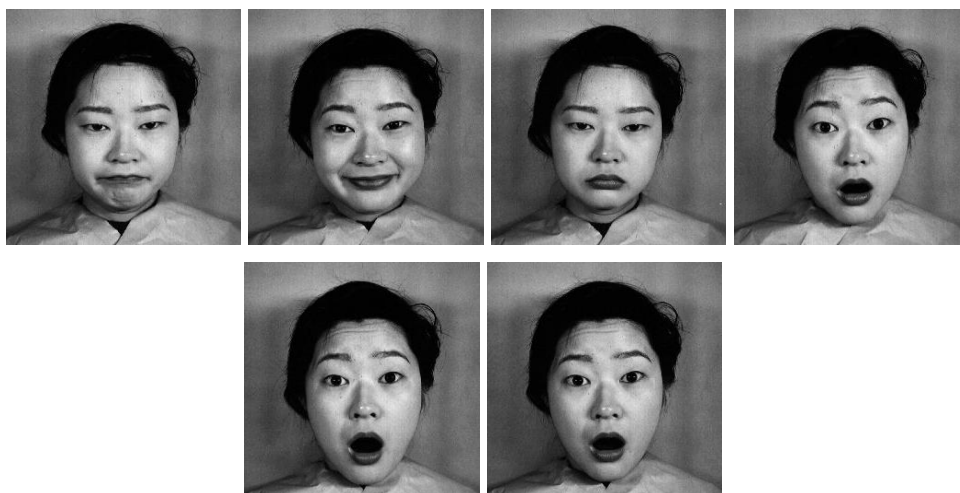
### 3.3. Sudaryti nuotraukų rinkiniai

Sudarinėjant nuotraukų rinkinius buvo atsižvelgta į šiame darbe aprašytas veidų atpažinimo problemas (žr. 1.1. skyrių):

- Veido išraiška.
- Apšvietimo pokyčiai.
- Veido pozicijos pokyčiai.
- Veido užstojimas.

Naudojantis nemokamomis veidų duomenų bazėmis „JAFFE“, „AT&T“, „Stirling“ ir „Extended Yale B“ buvo sudaryti 4 nuotraukų rinkiniai.

Pirmasis rinkinys (žr. 11 pav.) atspindi veidų išraiškų problemą ir sudarytas panaudojus visą „JAFFE“ duomenų bazę. Šiame rinkinyje visos nuotraukos darytos esant tolydžiam apšvietimui, subjektams žiūrint tiesiai į kamerą ir patrauktais nuo veido plaukais. Jame yra 10 ties skirtingų subjektų nuotraukos, kur veidas turi po 3-4 nuotraukas vaizduojančias tokias emocijas kaip pyktį, liūdesį, laimę, nustebimą, baimę ar šleikštulį, taip pat po vieną neutralią veido išraišką. Viso rinkinyje 213 nuotraukų, bent po 20 kiekvienam veidui.



**11 pav.** Veidų išraiškų rinkinio pavyzdys (2 subjekto nuotraukos 6 iš 22)

Antrasis rinkinys (žr. 12 pav.) sudarytas iš „Extended Yale B“ duomenų bazėje esančių skirtingo apšvietimo nuotraukų. Rinkinyje yra 64 skirtingo apšvietimo nuotraukos 38 skirtingiems subjektams. Viso 2432 nuotraukos.



**12 pav.** Apšvietimo rinkinio pavyzdys (20 subjekto nuotraukos 4 iš 64)



Sudarant trečiąjį (žr. 13 pav.) rinkinį buvo pasinaudota „Stirling“ duomenų baze. Viso išrinkta 18 moteriškų ir 15 vyriškų veidų. Šiame rinkinyje visos nuotraukos padarytos esant vienodam apšvietimui, juodame fone, be jokių veidą užstojančių elementų, bet su trimis skirtingomis veido pozicijomis: tiesiai, posūkis 90 ir 50 laipsnių kampu. Viso po 9 nuotraukas kiekvienam veidui – skirtingoms veido pozicijoms padaryta po 3 nuotraukas – besišypsantis veidas, neutralus ir nustebeš.



**13 pav.** Veido pozicijų rinkinio pavyzdys (1 subjekto nuotraukos 9 iš 9)

Ketvirtasis rinkinys (žr. 14 pav.) sudarytas iš „AT&T“ duomenų bazės. Iš šios duomenų bazės buvo išrinktos 12 žmonių nuotraukos. Kiekvienam skirtingam veidui po 10 skirtingų nuotraukų kuriose veidai su minimaliomis emocijomis ir galvos palenkimais į šonus (dešinė, kairė), bei su veido bruožus užstojančiu elementu – akiniais, barzda.



**14 pav.** Veido užstojimo rinkinio pavyzdys (5 subjekto nuotraukos 10 iš 10)

### 3.4. Atlikti bandymai

Atlikti bandymai:

1. Sudarytiems nuotraukų rinkiniams (žr. 3.3 skyrių) identifikuotas tikslumas PKA, LDA ir NKA algoritmais.
2. Nuotraukų rinkiniai apdoroti bangelių funkcijomis siekiant išskirti kraštus ar pašalinti triukšmą. Šiems naujiems rinkiniams identifikuotas PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas.

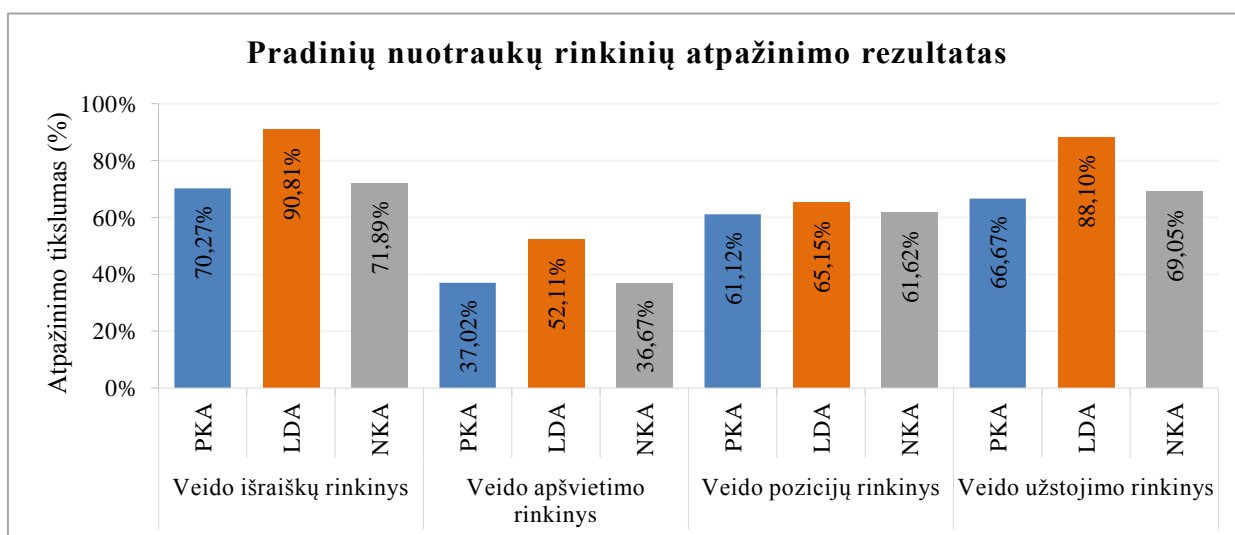
#### 3.4.1. Pradinių rinkinių atpažinimo tikslumas

Šio bandymo metu gauti rezultatai (žr. 15 pav.) parodo, kad LDA algoritmas geriau susidoroja su darbe aprašytais veidų atpažinimo problemomis nei PKA ir NKA algoritmai.

Jautriausiai veidų atpažinimo algoritmai reaguoja į apšvietimo pokyčius. Šiuo atveju visų algoritmų atpažinimo tikslumas buvo mažiausias lyginant su kitais rinkiniais. Geriausias šio rinkinio tikslumo rezultatas 52,11%, o mažiausias 36,67%.

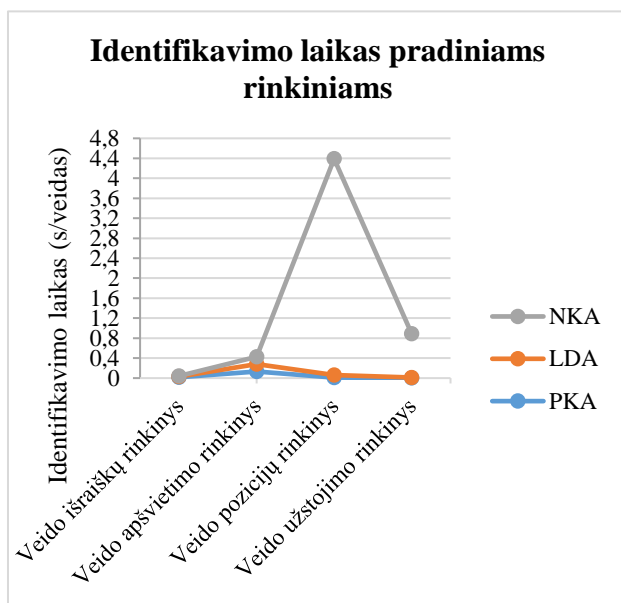
Veidų pozicijų rinkinio atpažinimo tikslumo skirtumas tarp LDA, NKA ir PKA algoritmų buvo mažiausias. Toks rezultatas parodo, kad visiems algoritmams vienodai sunku išgauti veido bruožus tinkamus atpažinimui iš pasukto veido.

Geriausias atpažinimo tikslumas gautas veido išraiškų rinkiniui. Įtakos tam galėjo turėti per mažos veido išraiškų variacijos tarp nuotraukų ir tai, kad jos darytos pusiau kontroliuojamoje aplinkoje.

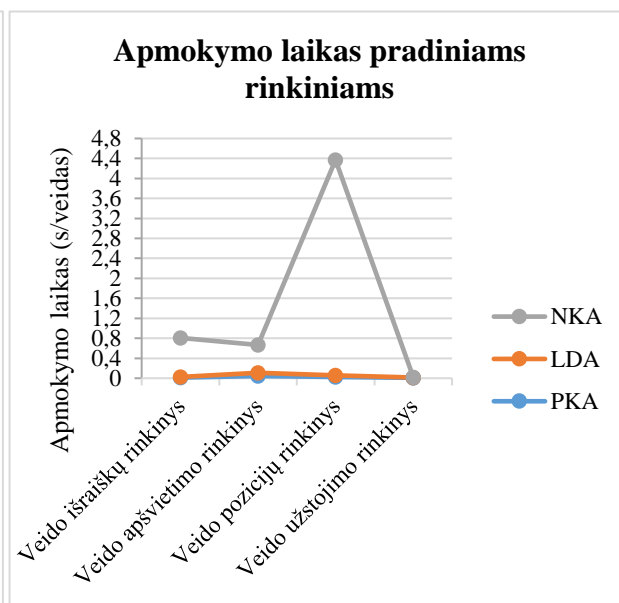


15 pav. Atpažinimo tikslumas pradiniams nuotraukų rinkiniams

16 pav. ir 17 pav. grafikuose pavaizduota kiek vidutiniškai kiekvienas iš algoritmų užtruko laiko veidui identifikuoti ir apmokyti. LDA ir PKA algoritmai vienam veidui trunka mažiau negu 0,4 sekundės. NKA algoritmas yra lėtesnis už kitus ir trunka mažiau nei 0,4 sekundės tik dvejais atvejais – identifikuojant veido išraiškų rinkinio subjektus ir apmokant veido užstojimo rinkinį.



**16 pav.** Identifikavimo laikas pradiniam nuotraukų rinkiniams



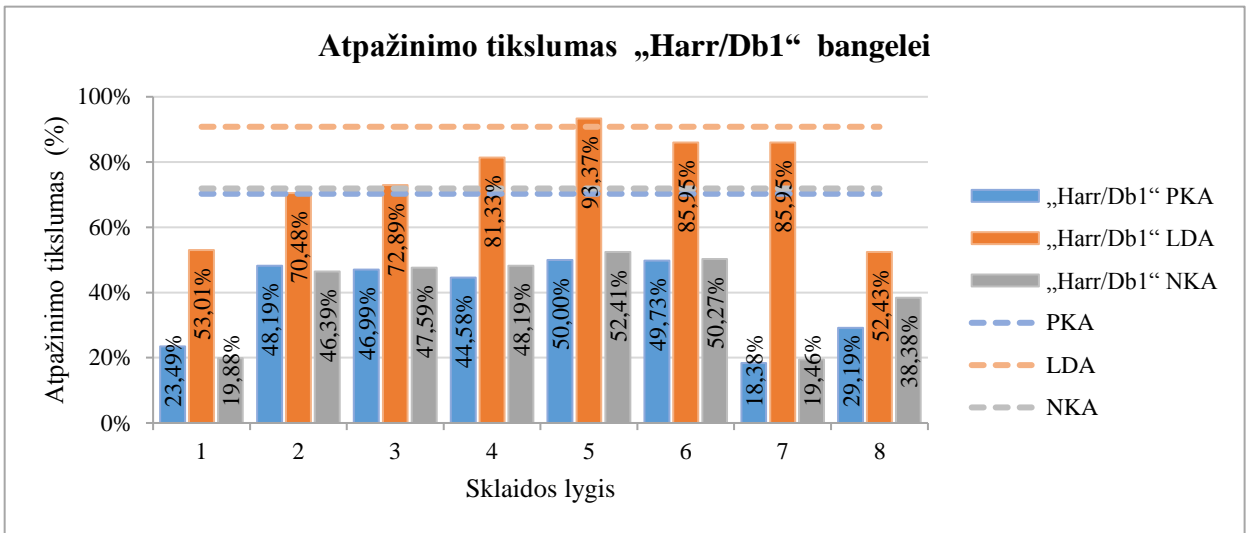
**17 pav.** Apmokymo laikas pradiniam nuotraukų rinkiniams

Visi šiame magistriniame darbe sudaryti rinkiniai atspindi tam tikrą problemą veidų atpažinime, o identifikuojant subjektus nekontroliuojamoje aplinkoje vienoje nuotraukoje gali būti daugiau negu viena problema ir galima daryti prielaidą, kad atpažinimo tikslumas dar mažesnis. Šio bandymo metu gauti rezultatai parodo, kad pavieniui tokie algoritmų atpažinimo tikslumai nepakankami subjekto atpažinimui, todėl turėtų būti didesni siekiant identifikuoti subjektą nekontroliuojamoje aplinkoje.

### 3.4.2. Atpažinimo tikslumas apdorotam veido išraiškų rinkiniui

#### 3.4.2.1. Kraštų išskyrimas „Harr/Db1” bangele

Grafike 18 pav. matoma, kad NKA ir PKA algoritmams septintame sklaidos lygyje atpažinimo tikslumas buvo žemiausiam taške, o LDA algoritmui aštuntame sklaidos lygyje. Maksimalios reikšmės visiems algoritmams pasiektos penktame lygyje. PKA ir NKA algoritmams nuo pradinio rinkinio rezultatų tikslumas sumažėjo apie 20%, o LDA padidėjo 2,56%.

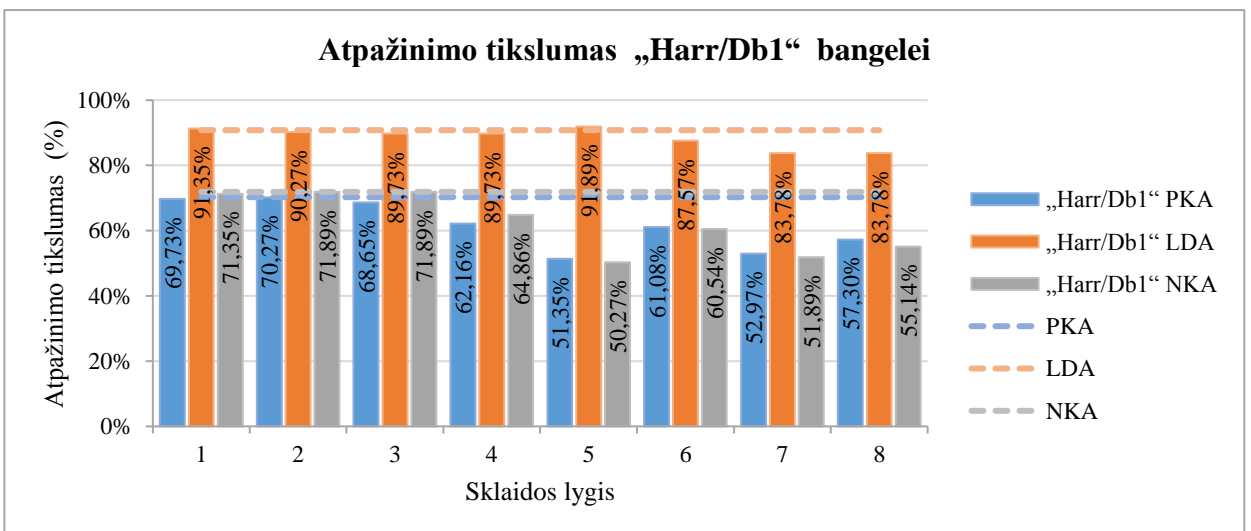


18 pav. PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas išskyrus kraštus „Harr/Db1” bangele veido išraiškų rinkiniui

### 3.4.2.2. Triukšmo pašalinimas „Harr/Db1” bangele

19 pav. grafike pavaizduotas triukšmo pašalinimo „Harr/Db1” bangele rezultatas veido išraiškų rinkiniui. Šis apdorojimas padidino atpažinimo tikslumą LDA algoritmui pirmame sklaidos lygyje 0,54%, o penktame 1,05%.

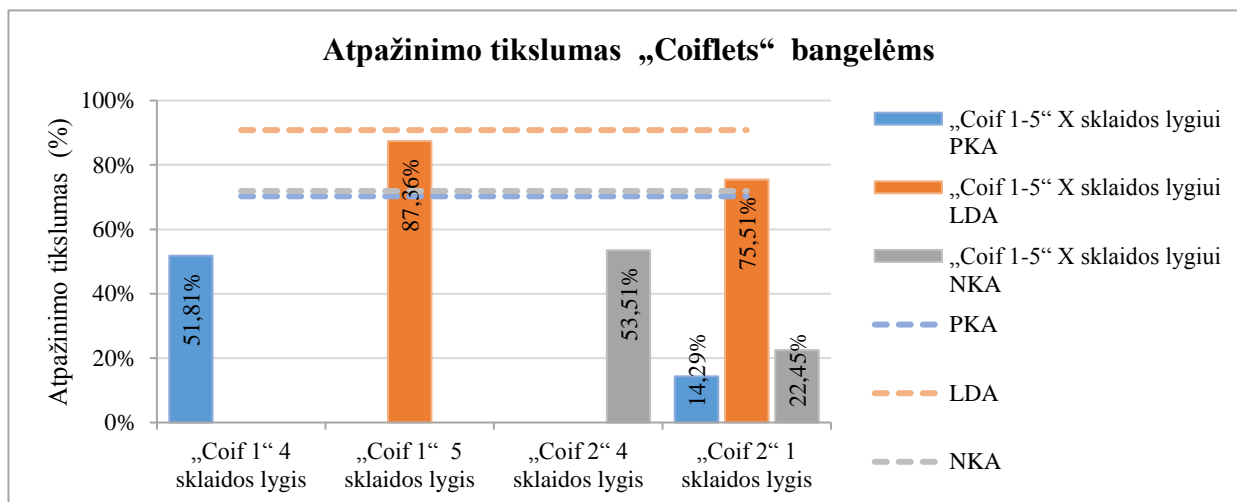
PKA algoritmui antrame, o NKA antrame ir trečiame sklaidos lygiuose atpažinimo tikslumas išliko toks pats.



19 pav. PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas pašalinus triukšmą „Harr/Db1” bangele veido išraiškų rinkiniui

### 3.4.2.3. Kraštų išskyrimas „Coiflets” bangelėmis

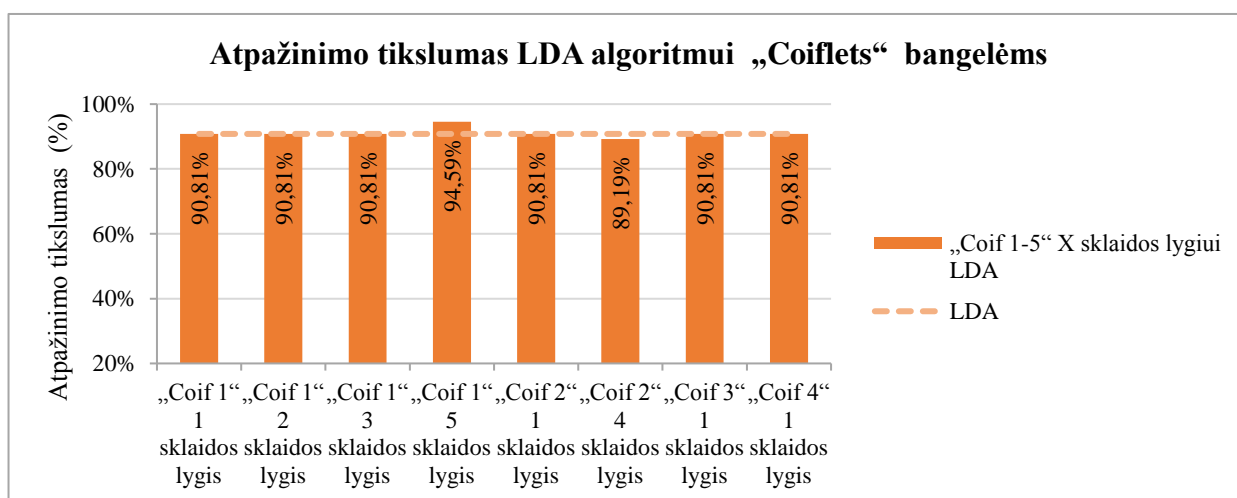
Grafike 20 pav. pavaizduoti didžiausi ir mažiausi atpažinimo rezultatai gauti išskyrus kraštus veido išraiškų rinkiniui „Coif 1-5“ bangelėmis. Svarbu paminėti, kad nei viena „Coiflets“ šeimos bangelė nepadidino atpažinimo tikslumo. PKA algoritmui „Coif 2“ pirmame sklaidos lygyje atpažinimo tikslumas sumažėjo daugiausiai – 55,98%.



20 pav. PKA, LDA ir NKA algoritmams atrinktos didžiausios ir mažiausios atpažinimo tikslumo reikšmės išskyrus kraštus „Coif 1-5” bangelėmis veido išraiškų rinkiniui

### 3.4.2.4. Triukšmo pašalinimas „Coiflets” bangelėmis

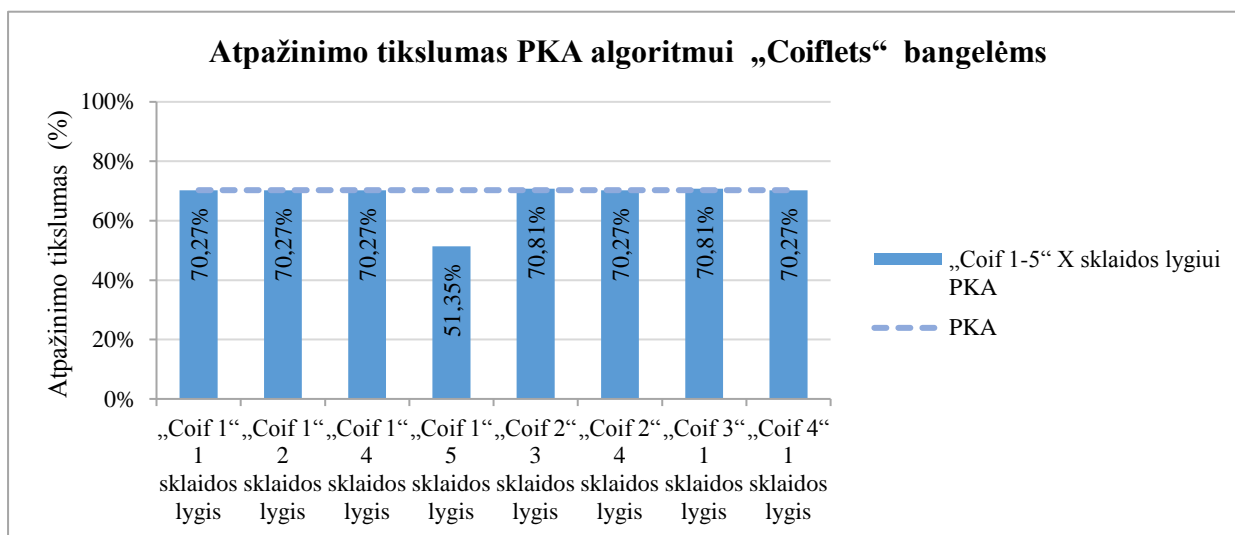
Triukšmo pašalinimas „Coiflets“ šeimos bangelėmis parodė geresnį atpažinimo tikslumo rezultatą nei išskiriant kraštus. Grafike 21 pav. pavaizduoti geriausi ir blogiausi atpažinimo tikslumai LDA algoritmui – „Coif 1“ 5 sklaidos lygiui padidėjo 3,78%, o mažiausia pasiekta reikšmė „Coif 2“ 4 sklaidos lygyje, bet 1,83% didesnė už mažiausią reikšmę (žr. 20 pav.) gautą išskiriant kraštus.



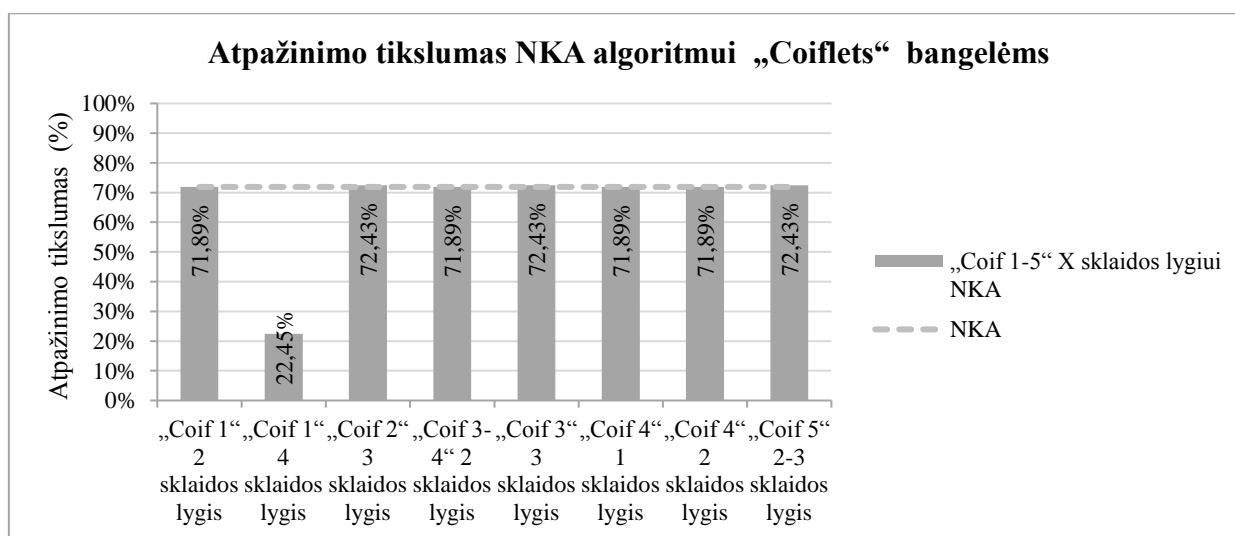
21 pav. LDA atrinktos didžiausios ir mažiausios atpažinimo tikslumo reikšmės pašalinus triukšmą „Coif 1-5” bangelėmis veido išraiškų rinkiniui

NKA ir PKA algoritmų atpažinimo tikslumas irgi padidėjo, bet ne taip daug kaip LDA algoritmo (žr. 22 pav., 23 pav.).

Visgi triukšmo pašalinimas šiam rinkiniui didelės įtakos nepadarė, nes didžioji dalis atpažinimo rezultatų liko nepakitę – LDA algoritmui net šešiais atvejais, PKA penkiais, o NKA keturiais.



22 pav. PKA atrinktos didžiausios ir mažiausios atpažinimo tikslumo reikšmės pašalinus triukšmą „Coif 1-5” bangelėmis veido išraiškų rinkiniui



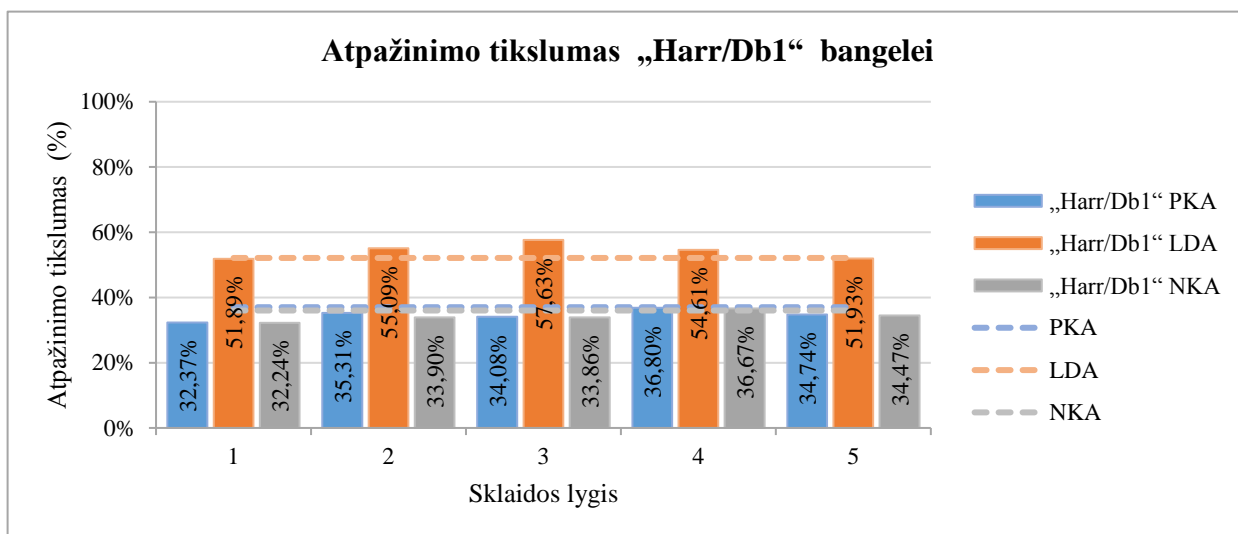
23 pav. NKA atrinktos didžiausios ir mažiausios atpažinimo tikslumo reikšmės pašalinus triukšmą „Coif 1-5” bangelėmis veido išraiškų rinkiniui

### 3.4.1. Atpažinimo tikslumas apdorotam apšvietimo rinkiniui

#### 3.4.1.1. Kraštų išskyrimas „Harr/Db1” bangele

Išskyrus kraštus apšvietimo rinkiniui su „Harr/Db1” bangele PKA algoritmo atpažinimo tikslumas sumažėjo, o NKA ketvirtam sklaidos lygiui išliko toks pats kaip ir prieš apdorojimą.

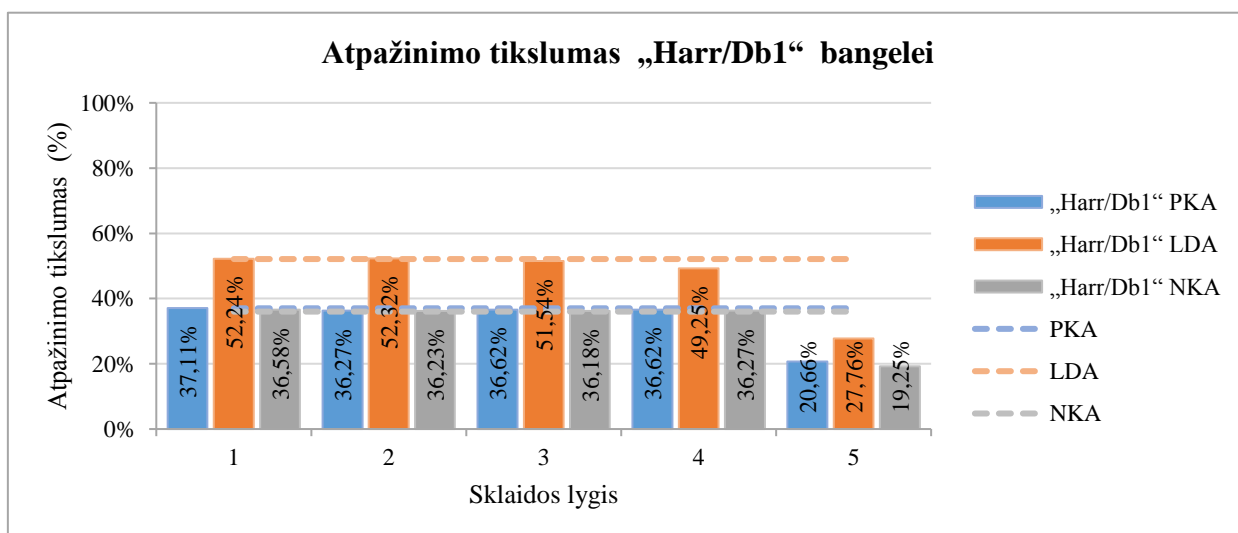
LDA algoritmo tikslumas pagerėjo esant 3-5 sklaidos lygiui. Dižiausias atpažinimo tikslumas buvo trečiame lygyje (57,63 %).



**24 pav.** PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas išskyrus kraštus „Harr/Db1” bangele veido apšvietimo rinkiniui

### 3.4.1.2. Triukšmo pašalinimas „Harr/Db1” bangele

Pašalinus triukšmą „Harr/Db1” bangele gautas blogesnis rezultatas nei išskyrus kraštus (žr. 24 pav., 25 pav.). Didžiausias padidėjimas siekė 0,21% LDA algoritmui antrame sklaidos lygyje. Pentame sklaidos lygyje buvo mažiausias rezultatas visiems rinkiniams.

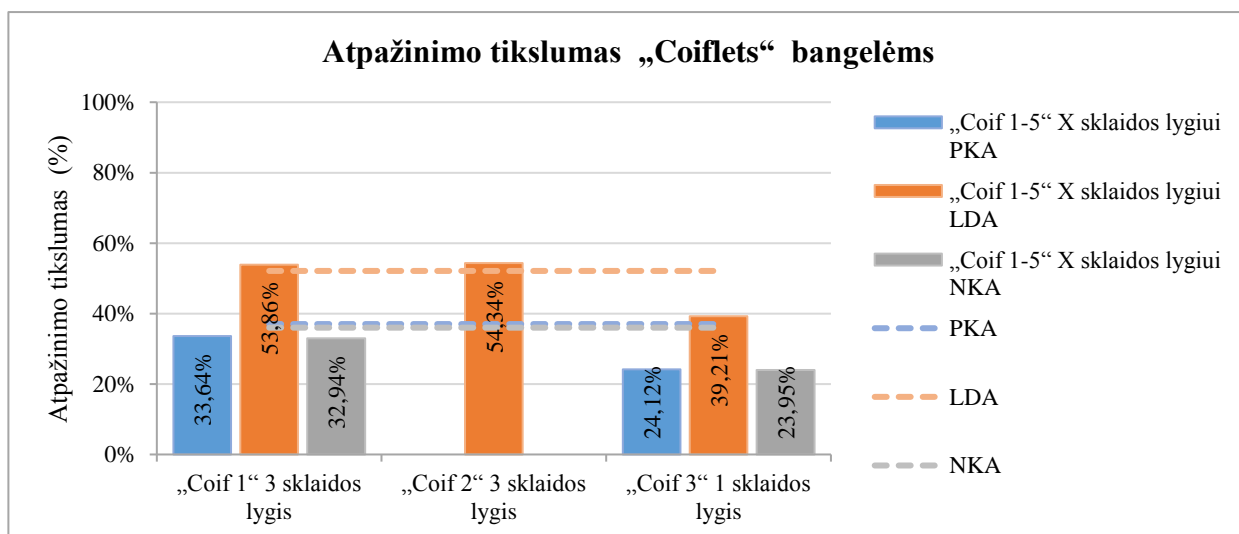


**25 pav.** PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas pašalinus triukšmą „Harr/Db1” bangele veido apšvietimo rinkiniui

### 3.4.1.3. Kraštų išskyrimas „Coiflets” bangelėmis

Grafike 26 pav. pavaizduoti didžiausi ir mažiausi atpažinimo rezultatai gauti išskyrus kraštus veido apšvietimo rinkiniui „Coif 1-5“ bangelėmis. Tik LDA algoritmo atpažinimo

tikslumas padidėjo 2,23% ir 1,75% 3 sklaidos lygyje „Coif 2“ ir „Coif 3“ bangelėms. NKA algoritmo atpažinimo rezultatas buvo mažiausias lyginant su kitais algoritmais ir siekė 23,95%.

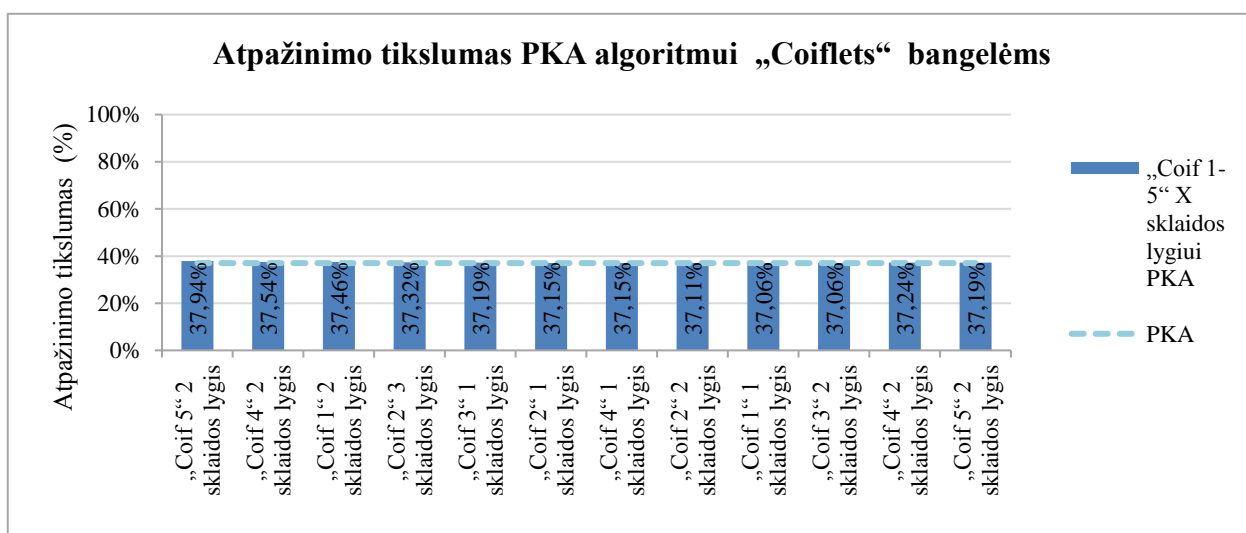


26 pav. PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas pašalinus triukšmą „Harr/Db1” bangele veido apšvietimo rinkiniui

#### 3.4.1.4. Triukšmo pašalinimas „Coiflets” bangelėmis

Pašalinus triukšmą apšvietimo rinkiniui su „Coif1-5” bangelėmis LDA algoritmo atpažinimo tikslumas tik mažėjo, o NKA ir PKA didėjo.

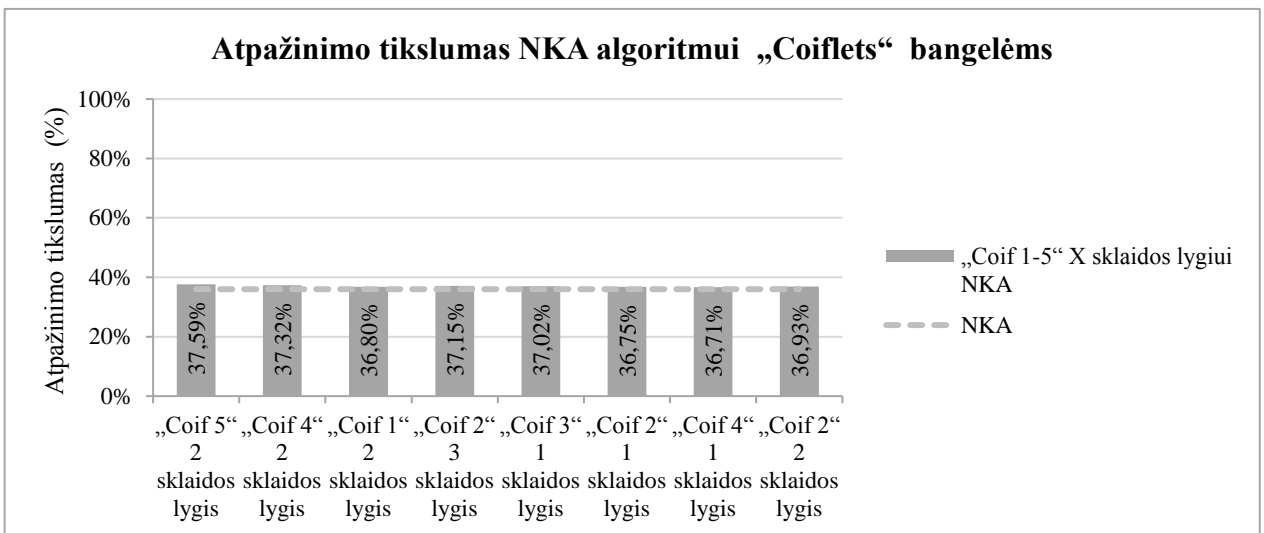
27 pav. grafike atrinktos visos PKA atpažinimo tikslumo reikšmės kurios viršijo pradinio rinkinio rezultatą. Didžiausia reikšmė šiam algoritmui buvo ketvirtame sklaidos lygyje „Coif4” bangelei.



27 pav. PKA atrinktos didžiausios atpažinimo tikslumo reikšmės pašalinus triukšmą „Coif 1-5” bangelėmis veido apšvietimo rinkiniui

Kaip ir PKA algoritmui NKA algoritmo tikslumas padidėjo (žr. 28 pav.). Nuo pradinio rinkinio atpažinimo tikslumo didžiausias gautas rezultatas padidėjo 0,92%.



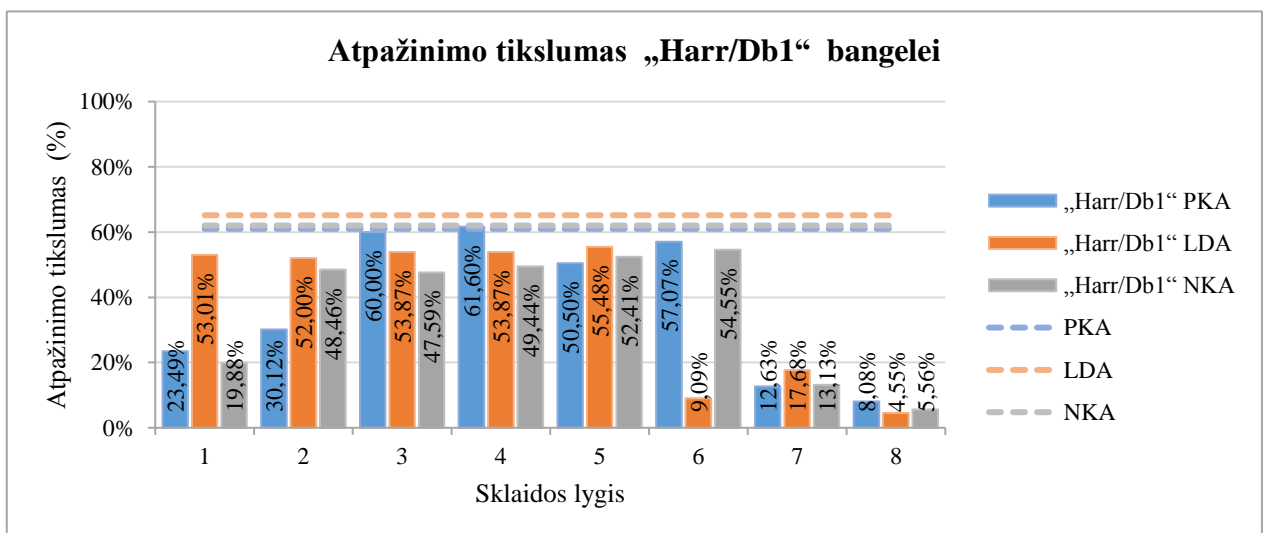


**28 pav.** NKA atrinktos didžiausios atpažinimo tikslumo reikšmės pašalinus triukšmą „Coif 1-5” bangelėmis veido apšvietimo rinkiniui

### 3.4.2. Atpažinimo tikslumas apdorotam veido pozicijų rinkiniui

#### 3.4.2.1. Kraštų išskyrimas „Harr/Db1” bangele

Grafike 29 pav. matoma, kad visiems algoritams aštuntame sklaidos lygyje atpažinimo rezultatas buvo žemiausiame taške. LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas nepadidėjo, o PKA padidėjo 0,48%.

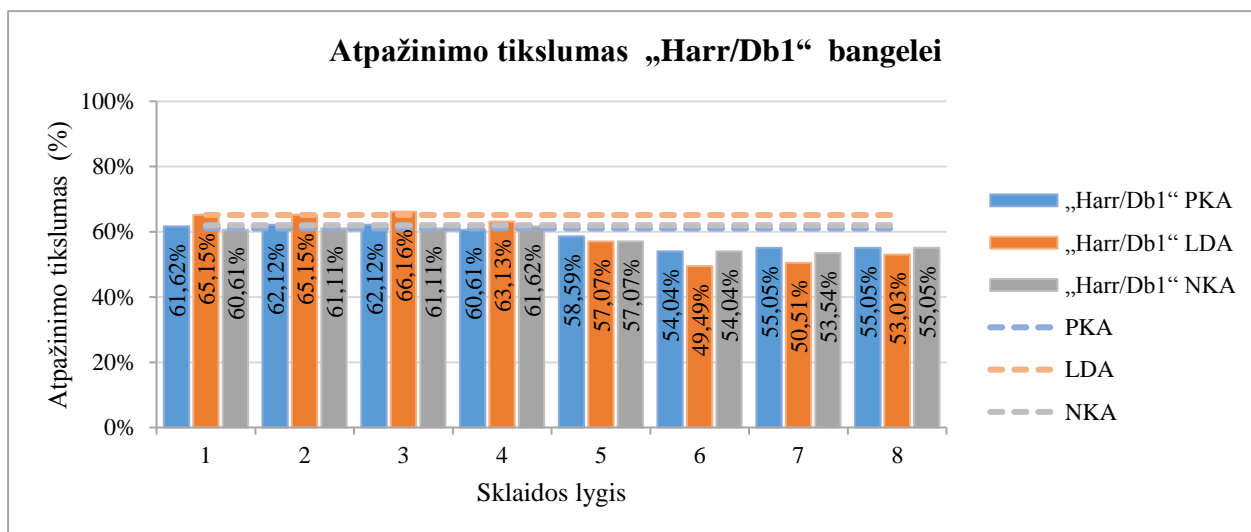


**29 pav.** PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas išskyrus kraštus „Harr/Db1” bangele veido pozicijų rinkiniui

#### 3.4.2.2. Triukšmo pašalinimas „Harr/Db1” bangele

Pašalinus triukšmą veido pozicijų rinkiniui „Harr/Db1” bangele LDA rezultatas pirmam ir antrame sklaidos lygiui liko toks pats kaip ir pradinio rinkinio, o trečiame padidėjo 1%. PKA algoritmo atpažinimo tikslumas padidėjo pirmame, antrame ir trečiame sklaidos lygiuose.

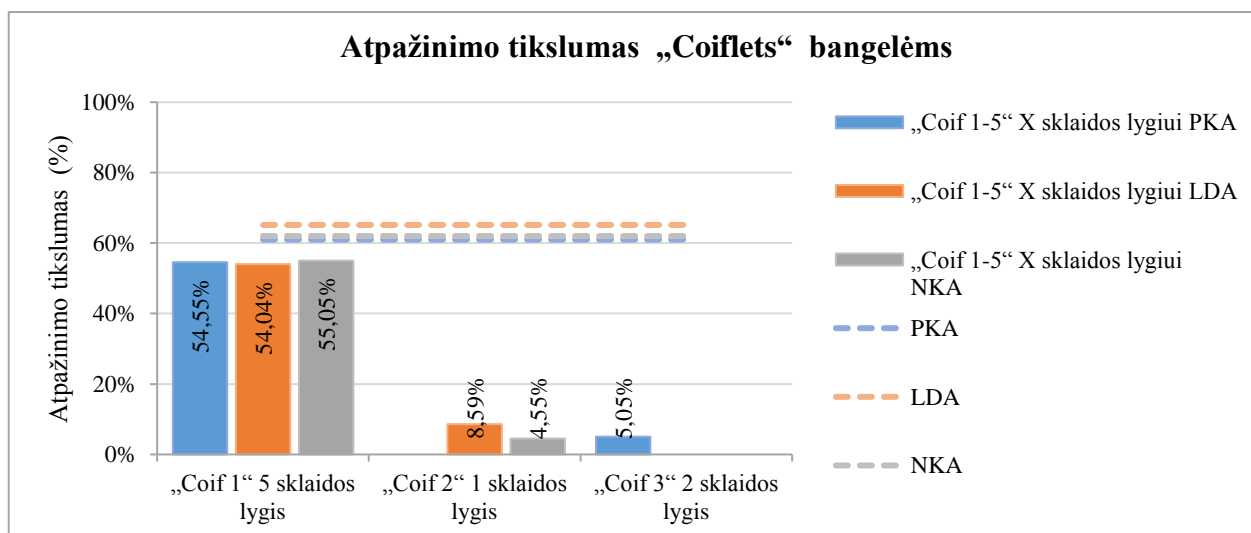
Didžiausias padėjimas siekia 1%, o mažiausias 0,50%. NKA algoritmo rezultatas net keturiais atvejais išliko nepaktęs.



**30 pav.** PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas pašalinus triukšmą „Harr/Db1” bangele veido pozicijų rinkiniui

### 3.4.2.3. Kraštų išskyrimas „Coiflets” bangelėmis

Grafike 31 pav. pavaizduoti didžiausi ir mažiausi atpažinimo rezultatai gauti išskyrus kraštus veido pozicijų rinkiniui „Coif 1-5“ bangelėmis. Visų algoritmų atpažinimo tikslumas tik sumažėjo. Mažiausia reikšmė buvo 4,55% NKA algoritmui, didžiausia 54,55% PKA algoritmui.

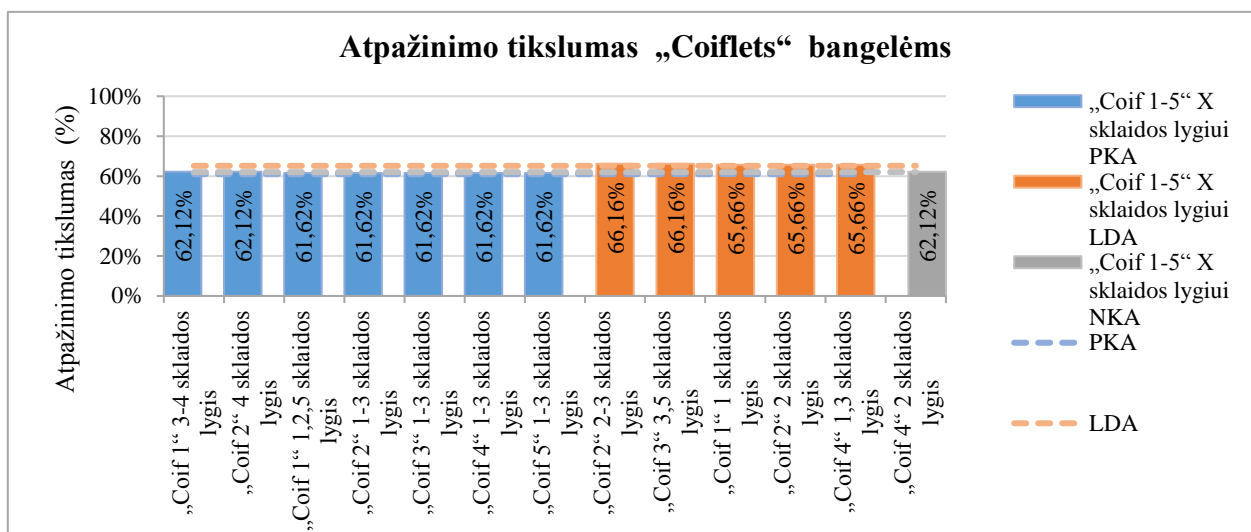


**31 pav.** PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas išskyrus kraštus „Coif1-5” bangelėmis veido pozicijų rinkiniui

### 3.4.2.4. Triukšmo pašalinimas „Coiflets” bangelėmis

Grafike 32 pav. pavaizduoti didžiausi rezultatai gauti pašalinus triukšmą veido pozicijų rinkiniui „Coif 1-5“ bangelėmis. NKA algoritmo rezultatas pagerėjo tik vienu atveju, daugiausiai

padidėjusių reikšmių buvo PKA algoritmui – 18 atveju. PKA algoritmo didžiausias atpažinimo tikslumas 62,12%, tai 1% daugiau lyginant su pradiniu rinkiniu.



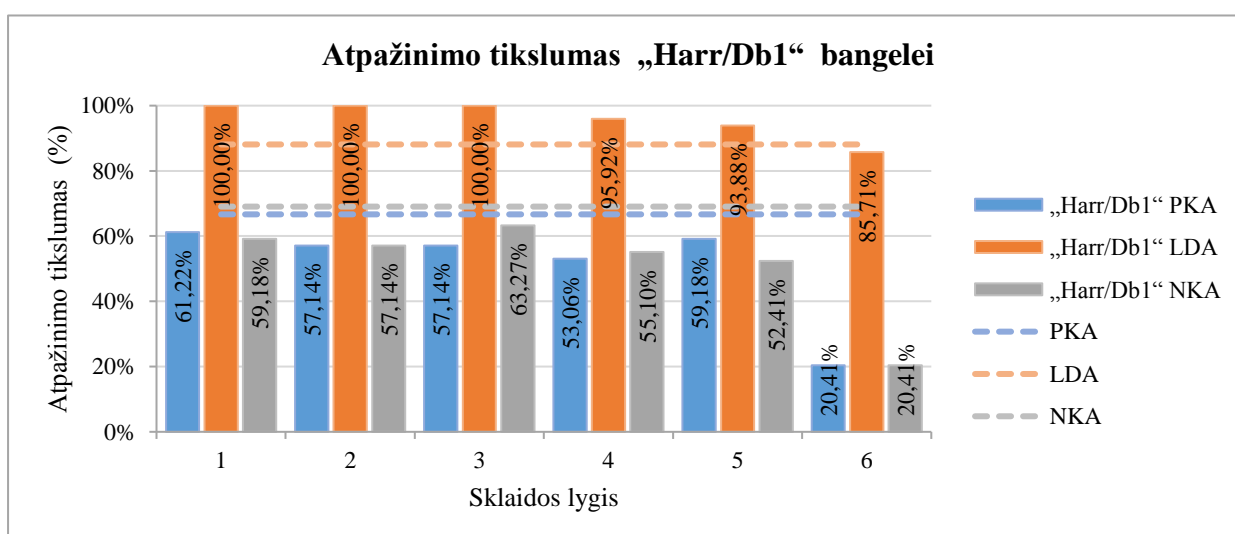
32 pav. PKA, LDA ir NKA atrinktos didžiausios algoritmų atpažinimo tikslumo reikšmės pašalinus triukšmą „Coif1-5” bangelėmis veido pozicijų rinkiniui

### 3.4.1. Atpažinimo tikslumas apdorotam veido užstojimo rinkiniui

#### 3.4.1.1. Kraštų išskyrimas „Harr/Db1” bangele

Veido užstojimo rinkinį apdorojus „Harr/Db1“ bangele LDA atpažinimo tikslumas 1-3 sklaidos lygiams siekia 100%. 4-5 sklaidos lygiams taip pat gauti geresni rezultatai. LDA algoritmo tikslumas padidėjo ženkliai, bet PKA, NKA algoritmų tikslumas sumažėjo.

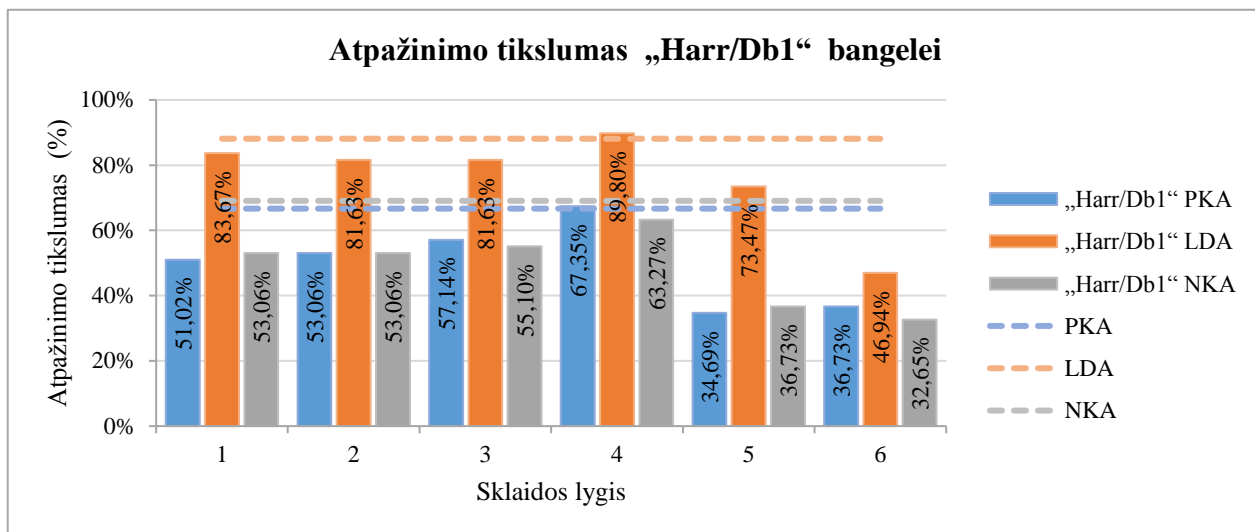
Rinkinyje buvo daug subjektų su akiniais. Šis rezultatas parodo, kad „Harr/Db1” bangelė padeda susidoroti su šia problema, tačiau akiniai turi būti šviesiais stiklais ir nestorais rėmeliais.



33 pav. PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas išskyrus kraštus „Harr/Db1” bangele veido užstojimo rinkiniui

### 3.4.1.2. Triukšmo pašalinimas „Harr/Db1” bangele

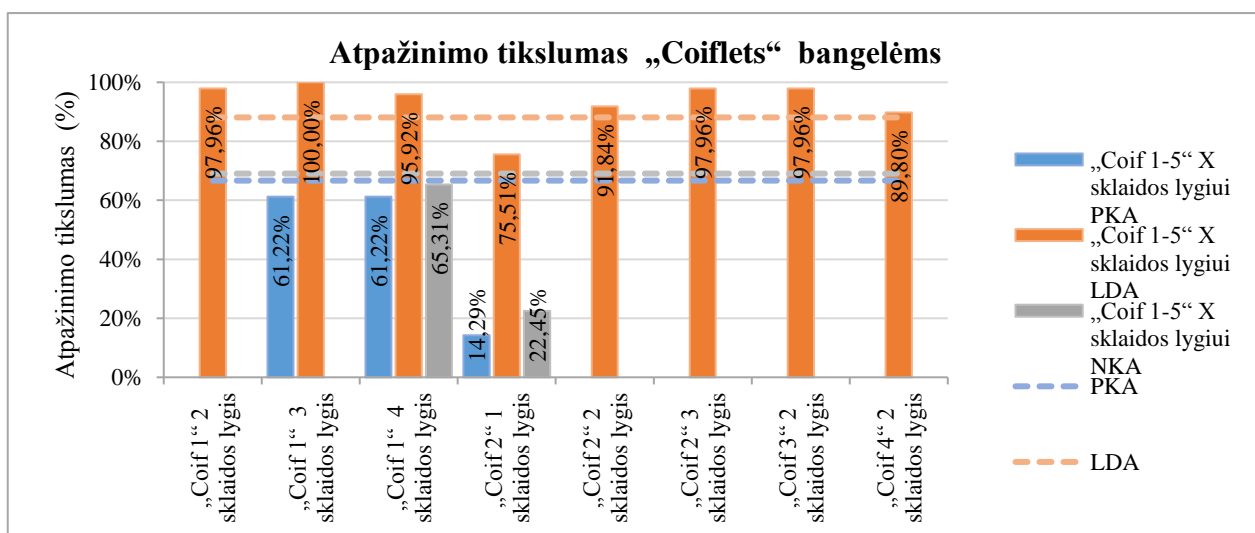
Grafike 34 pav. matoma, kad visiems algoritms šeštame ketvirtame lygyje atpažinimo rezultatas buvo aukščiausiame taške. Tačiau PKA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas nepadidėjo, o PKA padidėjo 1,70%. Mažiausia reikšmė buvo 32,65% NKA algoritmui.



34 pav. PKA, LDA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas pašalinus triukšmą „Harr/Db1” bangele veido užstojo rinkiniui

### 3.4.1.1. Kraštų išskyrimas „Coiflets” bangelėmis

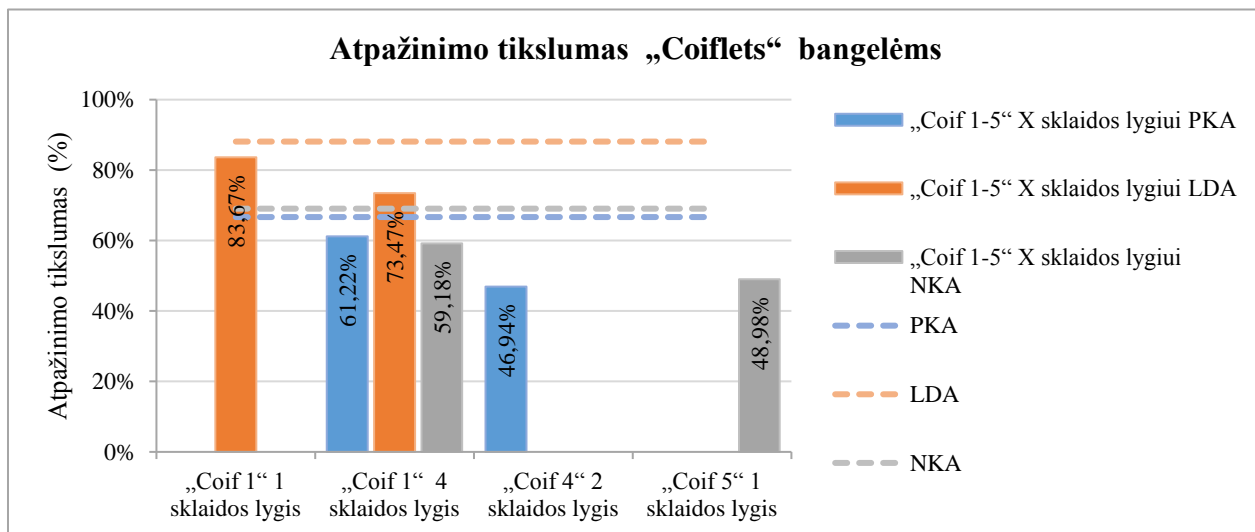
Veido užstojo rinkinį apdorojus „Coiflets“ bangelėmis LDA atpažinimo tikslumas 3 sklaidos lygiui siekia 100%. Žemiausia reikšmė šiam algoritmui 75,51%. Kitų algoritmų atpažinimo tikslumas nepadidėjo.



35 pav. PKA, LDA ir NKA atrinktos didžiausios ir mažiausios algoritmų atpažinimo tikslumo reikšmės išskyrus kraštus „Coif1-5” bangelėmis veido pozicijų rinkiniui

### 3.4.1.2. Triukšmo pašalinimas „Coiflets” bangelėmis

Skirtingai negu kraštų išskyrimas pašalinus triukšmą „Coif1-5” bangelėmis atpažinimo tikslumas nepadidėjo, o net sumažėjo. Didžiausia reikšmė buvo 83,67% LDA algoritmui, mažiausia 46,94% PKA.



**36 pav.** PKA, LDA ir NKA atrinktos didžiausios ir mažiausios algoritmų atpažinimo tikslumo reikšmės pašalinus triukšmą „Coif1-5” bangelėmis veido pozicijų rinkiniui

### 3.5. Rezultatų apibendrinimas

Visi sudaryti pradiniai nuotraukų rinkiniai buvo apdoroti „Harr”, „Coiflets”, „Symlets”, „Daubechies” bangelėmis siekiant išskirti kraštus arba pašalinti triukšmą.

Atliekant pirmojo nuotraukų rinkinio konvertavimą „Symlets” bangelių šeima pastebėta, kad labai ilgai vyksta konvertavimas (~6 val.), dėl to šios bangelės buvo atmestos kaip netinkamos ir kitiems rinkiniams konvertavimas nebuvo atliktas. Atpažinimo sistemos veikiančios nevaldomoje aplinkoje turi dirbti pakankamai greitai, nes vienu metu vaizde gali gauti būti po kelis veidus kuriuos reikia apdoroti. Per lėtas apdorojimas stabdys visos sistemos darbą.

3 lentelėje pateikta statistika kiekvienam bangelių funkcijomis apdorotam rinkiniui. Bendru atveju:

- Veido išraiškų rinkiniui atpažinimo tikslumas padidėjo 6,4 % atvejų, sumažėjo 81,41% ir 12,18% nepakito.
- Veido apšvietimo rinkiniui atpažinimo tikslumas padidėjo 25,93 % atvejų, sumažėjo 73,15% ir 0,93% nepakito.
- Veido pozicijų rinkiniui atpažinimo tikslumas padidėjo 20,51 % atvejų, sumažėjo 71,79% ir 7,69% nepakito.

- Veido užstojimo rinkiniui atpažinimo tikslumas padidėjo 12,04 % atvejų, sumažėjo 87,96% ir 0% nepakito.

Pagal bangelių pritaikomumą veido išraiškų, apšvietimo ir pozicijų rinkiniams pašalinus triukšmą atpažinimo tikslumas padidėjo daugiau atvejų nei išskiriant kraštus:

- Veido išraiškų rinkiniui:
  - Kraštų išskyrimas padidino atpažinimo tikslumą 1,18% atvejų.
  - Pašalintas triukšmas padidino atpažinimo tikslumą 11,54% atvejų.
- Veido apšvietimo rinkiniui
  - Kraštų išskyrimas padidino atpažinimo tikslumą 9,26% atvejų.
  - Pašalintas triukšmas padidino atpažinimo tikslumą 42,59% atvejų.
- Veido pozicijų rinkiniui
  - Kraštų išskyrimas padidino atpažinimo tikslumą 1,28% atvejų.
  - Pašalintas triukšmas padidino atpažinimo tikslumą 39,74% atvejų.

Skirtingai nei kitiems rinkiniams veido užstojimo rinkiniui kraštų išskyrimas padidino atpažinimo tikslumą 22,22% atvejų, tuo tarpu triukšmo pašalinimas tik 1,85%.

**3 lentelė.** Atpažinimo rezultato pokytis rinkiniams apdorotiems bangelėmis

Rinkinys	Pritaikymas	Algoritmas	Gautų rinkių skaičius	Atpažinimo pokytis		
				+	-	=
Veido išraiškų rinkinys	Išskirti kraštai	PKA	26		26	
		LDA		1	25	
		NKA			26	
	Pašalintas triukšmas	PKA	26	2	18	6
		LDA		3	16	7
		NKA		4	16	6
Veido apšvietimo rinkinys	Išskirti kraštai	PKA	18		18	
		LDA		5	13	
		NKA			17	1
	Pašalintas triukšmas	PKA	18	11	7	
		LDA		2	16	
		NKA		10	8	
Veido pozicijų rinkinys	Išskirti kraštai	PKA	26	1	25	
		LDA			26	
		NKA			26	
	Pašalintas triukšmas	PKA	26	21	5	
		LDA		9	11	6
		NKA		1	19	6
Veido užstojimo rinkinys	Išskirti kraštai	PKA	18		18	
		LDA		12	6	
		NKA			18	
	Pašalintas triukšmas	PKA	18		18	
		LDA		1	17	
		NKA			18	

4 lentelėje pateiktos maksimalios reikšmės pasiektos bangelių funkcijomis apdorotiems rinkiniams bandymų metu. Pastebėtina, kad didžiausias padidėjimas buvo LDA rinkiniui visų rinkinių atveju. PKA ir NKA algoritmų atpažinimo tikslumas daugiau padidėjo pašalinus triukšmą iš nuotraukų. Veido užstojimo rinkiniui LDA algoritmo atpažinimo tikslumas padidėjo 11,90% ir pasiekė 100% atpažinimo tikslumą, daroma prielaida, kad šiame rinkinyje buvo per mažos veidų užstojimo variacijos kurios daugeliu atveju nedengė žymios veido dalies. Apmokymo ir identifikavimo laikai maksimaliems rezultatams nepadidėjo lyginant su pradiniais rinkiniais.

Nors atpažinimo tikslumas visiems rinkiniams buvo padidintas bent vienam algoritmui gauti padidinimo procentai yra labai nežymūs, įvertinus tai, kad visi rinkiniai buvo sudaryti atsižvelgiant į konkrečią problemą. Nevaldomoje aplinkoje gautos nuotraukos retai turės tik vieną iš problemų, jos bus kombinuotos, dėl to ir padidėjimas kiekvienam iš rinkinių buvo laukiamas didesnis.

**4 lentelė.** Maksimalus padidėjimas apdorotiems rinkiniams

Rinkinys	Algoritmas	Pritaikymas	Maksimalus padidėjimas
Veido išraiškų rinkinys	PKA	Išskirti kraštai	-
		Pašalintas triukšmas	0,54% „Coif 2, 3“
	LDA	Išskirti kraštai	2,56% „Harr/Db1“
		Pašalintas triukšmas	3,78% „Coif 1“
	NKA	Išskirti kraštai	-
		Pašalintas triukšmas	0,54% „Coif 2, 3, 5“
Veido apšvietimo rinkinys	PKA	Išskirti kraštai	-
		Pašalintas triukšmas	0,92% „Coif 5“
	LDA	Išskirti kraštai	2,98% „Harr/Db1“
		Pašalintas triukšmas	0,21% „Harr/Db1“
	NKA	Išskirti kraštai	-
		Pašalintas triukšmas	0,92% „Coif 5“
Veido pozicijų rinkinys	PKA	Išskirti kraštai	0,48% „Harr/Db1“
		Pašalintas triukšmas	1% „Harr/Db1“, „Coif 1“, „Coif 2“
	LDA	Išskirti kraštai	-
		Pašalintas triukšmas	1,01% „Coif 2“, „Coif 3“
	NKA	Išskirti kraštai	-
		Pašalintas triukšmas	0,5% „Coif 4“
Veido užstojimo rinkinys	PKA	Išskirti kraštai	-
		Pašalintas triukšmas	-
	LDA	Išskirti kraštai	11,9% „Coif1“, „Harr/Db1“
		Pašalintas triukšmas	1,7% „Coif4“
	NKA	Išskirti kraštai	-
		Pašalintas triukšmas	-

#### 4. Rezultatai ir išvados

Atlikus keturių pradinių nuotraukų rinkinių atspindinčių konkrečią problemą veidų atpažinime (veido užstojimo, apšvietimo, išraiškų, pozicijų) apdorojimą „Harr“, „Coiflets“, „Symlets“, „Daubechies“ bangelėmis siekiant pašalinti triukšmą ir išskirti kraštus buvo įvertintas atpažinimo rezultatas LDA, NKA ir PKA algoritams. Gautas rezultatas, kad triukšmo pašalinimas padidino atpažinimo tikslumą daugiau atveju, nei kraštų išskyrimas. Nustatyta, kad „Coiflets“ šeimos bangelės geriausiai tinka šalinant triukšmą iš gautų vaizdų, nes atpažinimo tikslumas padidėjo daugiau atveju lyginant su kitomis bangelėmis. „Coiflets“ bangelei didžiausias padidėjimas (11,90%) buvo veido užstojimo rinkiniui, bet daroma prielaida, kad dėl per mažų veido variacijų rinkinys buvo sudarytas netinkamai ir pilnai neatspindėjo veido užstojimo problemos.

Nors atpažinimo tikslumas daugiausiai buvo padidintas pašalinus triukšmą gauti padidėjimai tik 24,24% atveju, o sumažėjimai 64,01% atveju, dėl to daroma išvada:

- bangelių funkcijų naudojimas išskiriant kraštus ar šalinant triukšmą siekiant padidinti atpažinimo tikslumą yra netinkamas sprendžiant veidų atpažinimo problemas (veido užstojimo, apšvietimo, išraiškų, pozicijų).



## Šaltiniai

- [AH01] Ali N. Akansu, Richard A. Haddad. Multiresolution signal decomposition., Academic press, 2001.
- [AMU97] Yael Adini, Yael Moses, Shimon Ullman. Face recognition: the problem of compensating for changes in illumination direction. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 19 (17), 1997, p.721–732.
- [ASM+11] N. Alugupallya, A. Samala, D. Marx, S. Bhatia. Analysis of Landmarks in Recognition of Face Expressions. Pattern recognition and image analysis, 21(4), 2011, p.681–693.
- [BEC08] Brian C. Becker. Face Recognition Evaluation for MATLAB, 2008.  
[žiūrėta 2017-05-18]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.briancbecker.com/bcbcms/site/proj/facerec/fbeval.html>>
- [BGG98] C. S. Burrus, R.A Gopinath, H. Guo. Introduction to wavelets and wavelet transforms, Prentice Hall, 1998.
- [CRC09] E. Coconi–Morales, G. Ronquillo–Jarillo, J. O. Campos–Enríquez. Multi–scale analysis of well–logging data in petrophysical and stratigraphic correlation, 2009  
[žiūrėta 2017-05-18]. Prieiga per internetą:  
<[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0016-71692010000200001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-71692010000200001)>
- [CY11] Girija Chetty, Jucheng Yang. Advanced Biometric Technologies, InTech, Rijeka, 2011.
- [DY07] Dao-Qing Dai, Hong Yan. Wavelets and Face Recognition. Knygoje: Kresimir Delac, Mislav Grgic. Face Recognition. InTech, 2007.
- [FS11] Claudia Freitag, Gudrun Schwarzer. Influence of emotional facial expressions on 3–5-year-olds’ face recognition. Knygoje: Cognitive Development, 26, 2011, p.230–247.

- [GK11] Hanna Greige, Walid Karam. Audio-Visual Biometrics and Forgery. Knygoje: Girija Chetty, Jucheng Yang. *Advanced Biometric Technologies*. InTech, Croatia, 2011, p. 643–62.
- [Gra95] A.Grap. An Introduction to Wavelets. IEEE Computational Sciences and Engineering, 1995.
- [žiūrėta 2017-05-18]. Prieiga per internetą:  
[<http://www.google.lt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fvosvrdaweb.utia.cas.cz%2Fcykl%2FIEEEwavelet.pdf&ei=TFO2VNbRE4X0UKnigKAE&usg=AFQjCNH87zXw7jEMYBTmX0ef\\_oQT\\_fCiTQ&bvm=bv.83640239,d.d24>](http://www.google.lt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fvosvrdaweb.utia.cas.cz%2Fcykl%2FIEEEwavelet.pdf&ei=TFO2VNbRE4X0UKnigKAE&usg=AFQjCNH87zXw7jEMYBTmX0ef_oQT_fCiTQ&bvm=bv.83640239,d.d24)
- [HA15] M. Hassaballah, S. Aly. Face recognition: challenges, achievements and future directions'. IET Computer Vision, 9(4) , 2015, p. 614 – 626.
- [IHS07] Rui Ishiyama, Masahiko Hamanaka, Shizuo Sakamoto. Face Recognition under Variable Pose and Illumination Conditions Using 3D Facial Appearance Models. Systems and Computers in Japan, 38(2), 2007, p.57–70.
- [JDM02] Anil K. Jain, R. Duin, J. Mao. Statistical pattern recognition: A review. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. , 22(1), 2002, p.4–37.
- [KBG+09] Walid Karam, Hervé Bredin, Hanna Greige, Gérard Chollet, Chafic Mokbel. Talking-Face Identity Verification, Audiovisual Forgery, and Robustness Issues. 2009.
- [KC12] Oh-Yeol Kwon, Sung-Il Chien. Estimation of Illuminant Chromaticity Based on Highlight Detection for Face Images with Varying Illumination. COLOR research and application, 2012.
- [Lai09] Ming-Jun Lai, Popular Wavelet Families and Filters and Their Use. Springer, 2009.
- [LJ05] Stan Z. Li, Anil K. Jain. Handbook of Face Recognition. Springer, 2005.

- [LL10] Chun-Lin, Liu. A Tutorial of the Wavelet Transform, 2010  
[žiūrėta 2017-05-18]. Prieiga per internetą:  
<<http://disp.ee.ntu.edu.tw/tutorial/WaveletTutorial.pdf>>
- [LMC11] J. Lin, J. Ming, D. Crookes. Robust face recognition with partial occlusion, illumination variation and limited training data by optimal feature selection. IET Computer Vision, 5(1), 2011, p.23–32.
- [LWL13] Lei Lei, Chao Wang, Xin Liu. Discrete Wavelet Transform Decomposition Level Determination Exploiting Sparseness Measurement. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering, 7(9), 2013.
- [Mal99] Stephane Mallat. A wavelet tour of signal processing, Academic Press, California, 1999.
- [MMO+07] Michel Misiti, Yves Misiti, Georges Oppenheim, Jean-Michel Pogg. Wavelets and their Applications, 2007.
- [MMO+96] Michel Misiti, Yves Misiti, Georges Oppenheim, Jean-Michel Poggi. Wavelet Toolbox For Use with MATLAB, 1996.
- [MNR10] Maria De Marsico, Michele Nappi, Daniel Riccio. FARO: Face Recognition Against Occlusions and Expression Variations. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics—part a: systems and humans, 40 (1), 2010.
- [Nik13] Homayoun Nikookar. Wavelet Radio–Adaptive and Reconfigurable Wireless Systems Based on Wavelets, 2013.
- [NKY08] Masashi Nishiyama, Tatsuo Kozakaya, Osamu Yamaguchi. Illumination Normalization using Quotient Image-based Techniques. Knygoje: Kresimir Delac, Mislav Grgic, Marian Stewart Bartlett. Recent Advances in Face Recognition. InTech, Vienna, 2008, p.97–108.

- [NPI06] National Policing Improvement Agency. Automated Face Recognition, 2006.
- [NST06] National Science and Technology Council. *Biometrics "Foundation Documents"*, 2006.  
[žiūrēta 2017-05-18]. Prieiga per internetą:  
<[www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA505048](http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA505048)>
- [OLL08] Hyun Jun Oh, Kyoung Mu Lee, Sang Uk Lee. Occlusion invariant face recognition using selective local non-negative matrix factorization basis images. *Image and Vision Computing*, 26, 2008, p.1515–1523.
- [Pan03] G. Pan. *Wavelets in Electromagnetics and Device Modeling*, Wiley, 2003.
- [PB07] Maja Pantic, Marian Stewart Bartlett. *Machine Analysis of Facial Expressions*. Knygoje: Kresimir Delac, Mislav Grgic. *Face Recognition*. InTech, Vienna, 2007, p.377–416.
- [PBD00] Панканти Ш., Болле Р. М., Джейн Э. Биометрия: будущее идентификации. *Открытые Системы*, 3, 2000.  
[žiūrēta 2017-05-18]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.osp.ru/os/archive/2000/03/>>
- [Rit02] Jörg Ritter. *Wavelet based image compression using FPGAs*, 2002.  
[žiūrēta 2017-05-18]. Prieiga per internetą:  
<<http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/02/03H033/prom.pdf>>
- [RVS02] Raghuram Rangarajan, Ramji Venkataramanan, Siddharth Shah. *Image Denoising Using Wavelets*, 2002.
- [SBO+06a] Pawan Sinha, Benjamin Balas, Yuri Ostrovsky, Richard Russell. Face recognition by humans: 19 results all computer vision researchers should know about. *Proceedings of the IEEE*, 94(11), 2006, p.1948–1962.

- [SBO+06b] Pawan Sinha, Benjamin Balas, Yuri Ostrovsky, Richard Russell. Face Recognition by Humans. Knygoje: W. Zhao and R. Chellappa. Face Recognition: Advanced Modeling and Methods, Academic Press, 2006.
- [Wel94] Wells R. O. Recent Advances in Wavelet Technology. Rice Computational Mathematics Laboratory , 1994.  
[žiūrėta 2017-05-18]. Prieiga per internetą:  
<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.52.359>>
- [YKA02] M.-H. Yang, D. Kriegman, N. Ahuja. Detecting faces in images: A survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(1), 2002, p.34–58.
- [ZCR+03] W. Zhao, R. Chellappa, A. Rosenfeld, P. Phillips. Face recognition: A literature survey. ACM Computing Surveys, 35(4), 2003, p.399–458.
- [ZY12] Wilman W. W. Zou, Pong C. Yuen. Very Low Resolution Face Recognition Problem. IEEE Transactions on Image Processing, 21(1), 2012, p. 327–340

## **Santrumpos**

PKA – Pagrindinių komponentų analizė (*angl. Principal Component Analysis*).

LDA – Linijinė diskriminantinė analizė (*angl. Linear Discriminant Analysis*).

NKA – Nepriklausomų komponentų analizė (*angl. Independent Component Analysis*).

DKT – Diskrečioji kosinusų transformacija (*angl. Discrete Cosinus Transform*).

## Priedai

### 1. priedas. Pradinių rinkinių atpažinimo rezultatas

5 lentelė. Pradinių nuotraukų rinkinių atpažinimo rezultatas

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų	PKA	70,27	0,011	0,017
	LDA	90,81	0,012	0,012
	NKA	71,89	0,782	0,013
Veido apšvietimo	PKA	37,02	0,045	0,132
	LDA	52,11	0,064	0,148
	NKA	36,67	0,558	0,144
Veido pozicijų	PKA	61,12	0,025	0,013
	LDA	65,15	0,033	0,046
	NKA	61,62	4,312	4,331
Veido užstojo	PKA	66,67	0,008	0,006
	LDA	88,10	0,006	0,006
	NKA	69,05	0,008	0,879

### 2. priedas. Atpažinimo rezultatas atlikus kraštų išskyrimą veido išraiškų rinkiniui

#### 2.1. „Harr/Db1” bangelė

6 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Harr/Db1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklaidos lygis – 1.	PKA	23,49	0,011	0,045
	LDA	53,01	0,138	0,015
	NKA	19,88	0,957	0,018
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklaidos lygis – 2.	PKA	48,19	0,008	0,023
	LDA	70,48	0,049	0,017
	NKA	46,39	1,302	0,015
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklaidos lygis – 3.	PKA	46,99	0,006	0,014
	LDA	72,89	0,03	0,026
	NKA	47,59	2,183	0,014
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklaidos lygis – 4.	PKA	44,58	0,008	0,083
	LDA	81,33	0,005	0,135
	NKA	48,19	1,561	0,03
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklaidos lygis – 5.	PKA	50,00	0,008	0,012
	LDA	93,37	0,037	0,011
	NKA	52,41	1,486	0,017
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklaidos lygis – 6.	PKA	49,73	0,011	0,014
	LDA	85,95	0,025	0,021
	NKA	50,27	1,969	0,045
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklaidos lygis – 7.	PKA	18,38	0,01	0,015
	LDA	85,95	0,006	0,017
	NKA	19,46	2,486	0,059
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklaidos lygis – 8.	PKA	29,19	0,015	0,015
	LDA	52,43	0,006	0,011
	NKA	38,38	1,955	0,015

## 2.2. „Coif 1-5” bangelės

7 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	36,75	0,008	0,019
	LDA	83,13	0,035	0,013
	NKA	36,14	0,801	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	31,93	0,009	0,013
	LDA	72,29	0,005	0,013
	NKA	24,70	0,828	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	47,59	0,008	0,013
	LDA	74,10	0,007	0,013
	NKA	50,00	0,791	0,011
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	51,81	0,011	0,013
	LDA	78,31	0,005	0,013
	NKA	52,41	0,792	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	48,80	0,004	0,012
	LDA	87,36	0,005	0,011
	NKA	50,60	1,022	0,012

8 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif2” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	25,30	0,008	0,023
	LDA	81,62	0,006	0,011
	NKA	31,35	0,83	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	27,11	0,008	0,012
	LDA	70,27	0,006	0,012
	NKA	23,78	0,797	0,014
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	40,36	0,004	0,014
	LDA	77,30	0,005	0,011
	NKA	38,38	0,779	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	50,50	0,003	0,013
	LDA	75,14	0,005	0,011
	NKA	53,51	0,824	0,014

9 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif3” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	40,96	0,004	0,013
	LDA	83,24	0,013	0,023
	NKA	27,57	0,866	0,014
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	39,80	0,012	0,013
	LDA	73,51	0,015	0,011
	NKA	16,76	0,893	0,013
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	42,17	0,008	0,013
	LDA	66,49	0,005	0,012
	NKA	38,38	0,787	0,011



**10 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif4” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	32,43	0,013	0,013
	LDA	82,16	0,005	0,023
	NKA	25,41	0,793	0,019
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	23,78	0,008	0,013
	LDA	78,92	0,006	0,012
	NKA	20,00	0,827	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	42,70	0,005	0,013
	LDA	51,89	0,009	0,016
	NKA	39,46	0,86	0,016

**11 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif5” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	27,46	0,003	0,011
	LDA	40,61	0,006	0,017
	NKA	27,24	0,831	0,014
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	30,35	0,026	0,011
	LDA	47,02	0,006	0,016
	NKA	30,31	0,834	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	29,74	0,011	0,017
	LDA	56,84	0,01	0,012
	NKA	30,00	0,863	0,012

### 3. priedas. Atpažinimo rezultatas atlikus kraštų išskyrimą veido apšvietimo rinkiniui

#### 3.1. „Harr/Db1” bangelė

**12 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Harr/Db1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	32,37	0,345	0,157
	LDA	51,89	0,039	0,152
	NKA	32,24	1,315	0,337
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	35,31	0,053	0,168
	LDA	55,09	0,036	0,154
	NKA	33,90	0,648	0,155
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	34,08	0,184	0,173
	LDA	57,63	0,05	0,142
	NKA	33,86	0,787	0,144
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	36,80	0,044	0,15
	LDA	54,61	0,035	0,173
	NKA	36,67	0,816	0,217
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	34,74	0,055	0,154
	LDA	51,93	0,033	0,153
	NKA	34,47	0,837	0,171

Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 6.	PKA	5,83	0,075	0,143
	LDA	19,30	0,177	0,22
	NKA	5,75	1,31	0,151
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 7.	PKA	2,89	0,041	0,148
	LDA	2,68	0,078	0,215
	NKA	2,85	1,022	0,263

### 3.2. „Coif 1-5” bangelės

**13 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	28,73	0,035	0,149
	LDA	41,27	0,042	0,15
	NKA	28,33	0,603	0,173
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	30,39	0,043	0,132
	LDA	51,54	0,036	0,136
	NKA	29,82	0,553	0,14
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	33,64	0,039	0,166
	LDA	53,86	0,034	0,247
	NKA	32,94	1,056	0,155
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	32,15	0,032	0,156
	LDA	50,92	0,036	0,195
	NKA	32,02	0,864	0,14

**14 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif2” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	27,59	0,035	0,215
	LDA	40,75	0,043	0,193
	NKA	27,06	0,661	0,196
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	25,09	0,065	0,144
	LDA	47,19	0,174	0,187
	NKA	25,70	0,676	0,206
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	30,31	0,057	0,15
	LDA	54,34	0,197	0,167
	NKA	30,26	0,622	0,16

**15 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif3” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	28,07	0,031	0,134
	LDA	39,21	0,033	0,14
	NKA	27,19	0,562	0,137
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	24,12	0,036	0,139
	LDA	43,25	0,035	0,138
	NKA	23,95	0,579	0,275

**16 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif4” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	27,76	0,048	0,294
	LDA	41,23	0,045	0,176
	NKA	28,33	0,703	0,156
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	29,21	0,036	0,172
	LDA	44,65	0,045	0,217
	NKA	29,17	0,724	0,312

**17 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif5” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	27,46	0,033	0,234
	LDA	40,61	0,048	0,197
	NKA	27,24	1,055	0,155
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	30,35	0,038	0,152
	LDA	47,02	0,039	0,138
	NKA	30,31	0,57	0,182

## 4. priedas. Atpažinimo rezultatas atlikus kraštų išskyrimą veido pozicijų rinkiniui

### 4.1. „Harr/Db1” bangelė

**18 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Harr/Db1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	23,49	0,027	0,021
	LDA	53,01	0,121	0,019
	NKA	19,88	7,744	0,02
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	30,12	0,025	0,133
	LDA	52,00	0,136	0,085
	NKA	48,46	6,607	0,051
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	60,00	0,026	0,121
	LDA	53,87	0,13	0,017
	NKA	47,59	6,659	0,022
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	61,60	0,163	0,026
	LDA	53,87	0,19	0,048
	NKA	49,44	6,195	0,038
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	50,50	0,031	0,024
	LDA	55,48	0,037	0,018
	NKA	52,41	7,487	0,137
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 6.	PKA	57,07	0,031	0,021
	LDA	9,09	0,042	0,046
	NKA	54,55	8,758	0,022
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 7.	PKA	12,63	0,037	0,021
	LDA	17,68	0,027	0,016
	NKA	13,13	13,138	0,028
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele.	PKA	8,08	0,045	0,019
	LDA	4,55	0,034	0,018

Sklandos lygis – 8.	NKA	5,56	7,712	0,048
---------------------	-----	------	-------	-------

## 4.2. „Coif 1-5” bangelės

19 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido pozicijų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	13,13	0,028	0,022
	LDA	10,61	0,049	0,016
	NKA	12,63	5,617	0,02
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	7,58	0,026	0,02
	LDA	13,64	0,031	0,022
	NKA	9,09	9,519	0,022
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	24,24	0,025	0,023
	LDA	28,79	0,032	0,015
	NKA	26,26	4,856	0,02
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	41,92	0,052	0,023
	LDA	40,40	0,036	0,014
	NKA	42,42	5,678	0,022
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	54,55	0,027	0,021
	LDA	54,04	0,033	0,034
	NKA	55,05	6,442	0,021

20 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido pozicijų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif2” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	10,10	0,021	0,018
	LDA	8,59	0,034	0,015
	NKA	8,59	5,058	0,02
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	8,08	0,071	0,022
	LDA	14,65	0,031	0,016
	NKA	8,08	4,966	0,02
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	18,69	0,023	0,02
	LDA	22,73	0,036	0,015
	NKA	19,70	4,607	0,02
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	40,40	0,033	0,019
	LDA	35,86	0,048	0,014
	NKA	40,91	4,771	0,019

21 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido pozicijų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif3” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	9,60	0,026	0,02
	LDA	10,10	0,034	0,022
	NKA	7,07	5,413	0,023
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	5,05	0,025	0,12
	LDA	10,10	0,029	0,013
	NKA	4,55	4,073	0,019
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	15,66	0,022	0,021
	LDA	13,64	0,029	0,013
	NKA	14,65	4,105	0,023

**22 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido pozicijų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif4” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	8,08	0,023	0,018
	LDA	12,12	0,029	0,013
	NKA	6,57	4,19	0,02
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	7,58	0,044	0,036
	LDA	12,63	0,032	0,013
	NKA	6,57	4,034	0,02
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	10,10	0,049	0,025
	LDA	12,12	0,03	0,015
	NKA	9,60	4,024	0,02

**23 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido pozicijų rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif5” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	8,59	0,032	0,035
	LDA	10,61	0,045	0,013
	NKA	6,57	4,012	0,021
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	6,57	0,053	0,024
	LDA	10,10	0,031	0,013
	NKA	7,07	4,083	0,019
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	14,14	0,049	0,02
	LDA	10,61	0,046	0,014
	NKA	13,64	4,125	0,021

## 5. priedas. Atpažinimo rezultatas atlikus kraštų išskyrimą veido užstojimo rinkiniui

### 5.1. „Harr/Db1” bangelė

**24 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido užstojimo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Harr/Db1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido užstojimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	61,22	0,013	0,021
	LDA	100,00	0,006	0,007
	NKA	59,18	0,727	0,005
Veido užstojimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	57,14	0,057	0,007
	LDA	100,00	0,01	0,007
	NKA	57,14	0,901	0,005
Veido užstojimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	57,14	0,013	0,005
	LDA	100,00	0,004	0,006
	NKA	63,27	0,996	0,005
Veido užstojimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	53,06	0,005	0,006
	LDA	95,92	0,004	0,007
	NKA	55,10	1,128	0,017
Veido užstojimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	59,18	0,032	0,005
	LDA	93,88	0,082	0,005
	NKA	52,41	0,728	0,013
Veido užstojimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele.	PKA	20,41	0,03	0,006
	LDA	85,71	0,006	0,009

Sklandos lygis – 6.	NKA	20,41	1,156	0,021
---------------------	-----	-------	-------	-------

## 5.2. „Coif 1-5” bangelės

25 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido užstojo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	28,57	0,011	0,005
	LDA	85,71	0,004	0,005
	NKA	26,53	0,533	0,005
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	53,06	0,067	0,004
	LDA	97,96	0,004	0,007
	NKA	55,10	0,528	0,005
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	61,22	0,003	0,006
	LDA	100,00	0,005	0,005
	NKA	63,27	0,624	0,031
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	61,22	0,015	0,016
	LDA	95,92	0,005	0,006
	NKA	65,31	0,546	0,005

26 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido užstojo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif2” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	14,29	0,004	0,004
	LDA	75,51	0,007	0,004
	NKA	22,45	0,596	0,005
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	40,82	0,005	0,012
	LDA	91,84	0,005	0,004
	NKA	46,94	0,641	0,007
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	57,14	0,005	0,005
	LDA	97,96	0,005	0,005
	NKA	59,18	0,632	0,016

27 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido užstojo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif3” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	34,69	0,034	0,004
	LDA	77,55	0,004	0,004
	NKA	32,65	0,544	0,006
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	48,98	0,004	0,004
	LDA	97,96	0,004	0,004
	NKA	55,10	0,537	0,004

28 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido užstojo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif4” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	30,61	0,005	0,005
	LDA	81,63	0,004	0,004
	NKA	28,57	0,518	0,004
Veido užstojo rinkinys apdorotas	PKA	34,69	0,003	0,004

„Coif4” bangele. Sklandos lygis – 2.	LDA	89,80	0,004	0,004
	NKA	36,73	0,522	0,004

**29 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido užstojimo rinkiniui atlikus kraštų išskyrimą „Coif5” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido užstojimo rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	38,78	0,046	0,004
	LDA	79,59	0,004	0,005
	NKA	32,65	0,706	0,005

## 6. priedas. Atpažinimo rezultatas pašalinus triukšmą veido išraiškų rinkiniui

### 6.1. „Harr/Db1” bangelė

**29 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui pašalinus triukšmą „Harr/Db1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	69,73	0,566	0,030
	LDA	91,35	0,154	0,021
	NKA	71,35	0,951	0,016
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	70,27	0,014	0,012
	LDA	90,27	0,008	0,011
	NKA	71,89	0,887	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	68,65	0,003	0,016
	LDA	89,73	0,006	0,012
	NKA	71,89	0,891	0,011
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	62,16	0,003	0,014
	LDA	89,73	0,006	0,012
	NKA	64,86	0,777	0,011
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	51,35	0,017	0,013
	LDA	91,89	0,012	0,011
	NKA	50,27	0,821	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 6.	PKA	61,08	0,004	0,017
	LDA	87,57	0,012	0,011
	NKA	60,54	0,771	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 7.	PKA	52,97	0,004	0,011
	LDA	83,78	0,006	0,012
	NKA	51,89	0,781	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 8.	PKA	57,30	0,010	0,012
	LDA	83,78	0,020	0,011
	NKA	55,14	0,799	0,012

### 6.2. „Coif 1-5” bangelės

**30 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	70,27	0,006	0,013
	LDA	90,81	0,006	0,011
	NKA	70,81	0,976	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas	PKA	70,27	0,003	0,012

„Coif1” bangele. Sklandos lygis – 2.	LDA	90,81	0,020	0,014
	NKA	71,35	0,943	0,013
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	69,19	0,003	0,011
	LDA	90,81	0,005	0,011
	NKA	71,35	0,806	0,011
	PKA	70,27	0,003	0,016
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 4.	LDA	89,73	0,012	0,015
	NKA	69,73	0,892	0,013
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	51,35	0,016	0,013
	LDA	94,59	0,046	0,012
	NKA	53,51	0,807	0,012

**31 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif2” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	69,73	0,004	0,015
	LDA	90,81	0,035	0,011
	NKA	71,35	0,783	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	69,19	0,004	0,012
	LDA	90,27	0,010	0,011
	NKA	71,89	0,823	0,011
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	70,81	0,003	0,012
	LDA	90,27	0,017	0,011
	NKA	72,43	0,783	0,011
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	70,27	0,003	0,012
	LDA	89,19	0,005	0,011
	NKA	71,35	0,802	0,011

**32 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif3” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	70,81	0,004	0,013
	LDA	90,81	0,011	0,011
	NKA	71,35	0,840	0,013
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	69,73	0,005	0,013
	LDA	90,27	0,023	0,013
	NKA	71,89	0,797	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	69,73	0,016	0,014
	LDA	90,27	0,013	0,011
	NKA	72,43	0,786	0,011

**33 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif4” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	70,27	0,009	0,013
	LDA	90,81	0,007	0,011
	NKA	71,89	0,778	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	69,73	0,004	0,012
	LDA	90,27	0,005	0,011
	NKA	71,89	0,773	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	69,73	0,003	0,017
	LDA	90,27	0,007	0,011
	NKA	71,35	0,975	0,012



**34 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido išraiškų rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif5” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	69,19	0,011	0,012
	LDA	90,81	0,020	0,011
	NKA	70,81	0,782	0,012
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	69,73	0,005	0,011
	LDA	90,27	0,033	0,011
	NKA	72,43	0,838	0,013
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	69,19	0,009	0,019
	LDA	90,27	0,005	0,011
	NKA	72,43	0,824	0,014

## 7. priedas. Atpažinimo rezultatas pašalinus triukšmą veido apšvietimo rinkiniui

### 7.1. „Harr/Db1” bangelė

**35 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui pašalinus triukšmą „Harr/Db1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	37,11	0,039	0,145
	LDA	52,24	0,114	0,148
	NKA	36,58	0,589	0,143
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	36,27	0,033	0,136
	LDA	52,32	0,037	0,153
	NKA	36,23	0,556	0,138
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	36,62	0,033	0,131
	LDA	51,54	0,047	0,150
	NKA	36,18	0,564	0,136
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	36,62	0,024	0,138
	LDA	49,25	0,047	0,146
	NKA	36,27	0,573	0,137
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	20,66	0,026	0,139
	LDA	27,76	0,058	0,149
	NKA	19,25	0,606	0,139
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 6.	PKA	9,61	0,031	0,173
	LDA	11,97	0,031	0,159
	NKA	9,25	0,760	0,226

### 7.2. „Coif 1-5” bangelės

**36 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	37,06	0,060	0,136
	LDA	51,93	0,071	0,146
	NKA	36,71	0,581	0,145
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas	PKA	37,46	0,032	0,135

„Coif1” bangele. Sklandos lygis – 2.	LDA	51,54	0,041	0,147
	NKA	37,59	0,573	0,138
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	36,32	0,046	0,138
	LDA	52,02	0,075	0,170
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 4.	NKA	36,49	0,558	0,141
	PKA	33,38	0,025	0,137
	LDA	50,57	0,040	0,146
	NKA	33,33	0,560	0,137

**37 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif2” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	37,15	0,370	0,133
	LDA	52,02	0,044	0,156
	NKA	37,15	0,573	0,137
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	37,11	0,031	0,135
	LDA	51,67	0,035	0,146
	NKA	36,75	0,564	0,139
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	37,32	0,033	0,134
	LDA	51,58	0,058	0,147
	NKA	37,32	0,577	0,138

**38 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif3” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	37,19	0,035	0,133
	LDA	51,97	0,041	0,141
	NKA	36,80	0,578	0,139
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	37,06	0,041	0,133
	LDA	51,80	0,049	0,145
	NKA	36,93	0,566	0,137

**39 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif4” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	37,15	0,034	0,134
	LDA	52,06	0,038	0,151
	NKA	37,02	0,580	0,137
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	37,54	0,044	0,191
	LDA	51,89	0,043	0,146
	NKA	37,24	0,572	0,138

**40 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif5” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	36,62	0,031	0,135
	LDA	51,93	0,051	0,146
	NKA	36,62	0,580	0,138
Veido apšvietimo rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	37,94	0,043	0,140
	LDA	51,75	0,067	0,140
	NKA	37,19	0,615	0,161

## 8. priedas. Atpažinimo rezultatas pašalinus triukšmą veido pozicijų rinkiniui

### 8.1. „Harr/Db1” bangelė

41 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido apšvietimo rinkiniui pašalinus triukšmą „Harr/Db1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	61,62	0,022	0,021
	LDA	65,15	0,056	0,014
	NKA	60,61	1,114	0,023
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	62,12	0,017	0,018
	LDA	65,15	0,064	0,014
	NKA	61,11	1,169	0,019
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	62,12	0,022	0,021
	LDA	66,16	0,035	0,013
	NKA	61,11	1,035	0,020
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	60,61	0,041	0,021
	LDA	63,13	0,072	0,016
	NKA	61,62	1,187	0,031
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	58,59	0,048	0,020
	LDA	57,07	0,035	0,013
	NKA	57,07	8,270	0,050
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 6.	PKA	54,04	0,034	0,020
	LDA	49,49	0,071	0,014
	NKA	54,04	1,155	0,020
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 7.	PKA	55,05	0,026	0,019
	LDA	50,51	0,036	0,014
	NKA	53,54	1,126	0,021
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 8.	PKA	55,05	0,021	0,018
	LDA	53,03	0,037	0,014
	NKA	55,05	1,317	0,022

### 8.2. „Coif 1-5” bangelės

42 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido pozicijų rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	61,62	0,024	0,022
	LDA	65,66	0,040	0,013
	NKA	61,62	4,017	0,019
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	61,62	0,024	0,018
	LDA	65,15	0,030	0,013
	NKA	60,61	4,119	0,020
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	62,12	0,017	0,019
	LDA	64,65	0,032	0,013
	NKA	61,11	4,084	0,020
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	62,12	0,017	0,018
	LDA	64,14	0,029	0,013
	NKA	61,11	4,086	0,019
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	61,62	0,017	0,020
	LDA	56,06	0,030	0,013
	NKA	60,10	5,218	0,020

**43 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido pozicijų rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif2” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	61,62	0,016	0,018
	LDA	65,66	0,030	0,013
	NKA	61,62	4,093	0,020
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	61,62	0,017	0,021
	LDA	66,16	0,029	0,013
	NKA	60,61	4,120	0,020
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	61,62	0,019	0,023
	LDA	64,65	0,030	0,013
	NKA	61,11	3,979	0,019
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	62,12	0,017	0,019
	LDA	63,13	0,029	0,013
	NKA	60,61	4,140	0,019

**44 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido pozicijų rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif3” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	61,62	0,017	0,020
	LDA	65,15	0,029	0,013
	NKA	60,61	3,987	0,019
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	61,62	0,017	0,021
	LDA	66,16	0,029	0,013
	NKA	61,62	4,049	0,020
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	61,62	0,018	0,018
	LDA	66,16	0,029	0,013
	NKA	61,11	3,992	0,020

**45 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido pozicijų rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif4” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	61,62	0,018	0,018
	LDA	65,66	0,030	0,013
	NKA	60,61	3,999	0,019
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	61,62	0,017	0,020
	LDA	65,15	0,032	0,013
	NKA	62,12	3,996	0,023
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	61,62	0,022	0,020
	LDA	65,66	0,029	0,014
	NKA	60,61	3,981	0,019

**46 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido pozicijų rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif5” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	61,62	0,017	0,023
	LDA	64,65	0,032	0,015
	NKA	61,11	4,014	0,019
Veido pozicijų rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	61,62	0,023	0,019
	LDA	65,15	0,031	0,013
	NKA	61,62	3,978	0,019
Veido pozicijų rinkinys apdorotas	PKA	61,62	0,019	0,018

„Coif5” bangele. Sklandos lygis – 3.	LDA	66,16	0,030	0,013
	NKA	61,62	3,996	0,029

## 9. priedas. Atpažinimo rezultatas pašalinus triukšmą veido užstojo rinkiniui

### 9.1. „Harr/Db1” bangelė

47 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido užstojo rinkiniui pašalinus triukšmą „Harr/Db1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	51,02	0,004	0,004
	LDA	83,67	0,006	0,005
	NKA	53,06	0,552	0,005
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	53,06	0,004	0,004
	LDA	81,63	0,004	0,004
	NKA	53,06	0,564	0,005
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	57,14	0,003	0,004
	LDA	81,63	0,040	0,004
	NKA	55,10	0,668	0,005
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	67,35	0,003	0,004
	LDA	89,80	0,044	0,004
	NKA	63,27	0,554	0,005
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 5.	PKA	34,69	0,005	0,004
	LDA	73,47	0,013	0,004
	NKA	36,73	0,592	0,005
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Harr/Db1” bangele. Sklandos lygis – 6.	PKA	36,73	0,005	0,004
	LDA	46,94	0,017	0,004
	NKA	32,65	0,545	0,005

### 9.2. „Coif 1-5” bangelės

48 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido užstojo rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif1” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo algoritmas	Atpažinimo tikslumas (%)	Apmokymo laikas (s/veidas)	Identifikavimo laikas (s/veidas)
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 1.	PKA	51,02	0,910	0,023
	LDA	83,67	0,080	0,009
	NKA	51,02	0,622	0,009
Veido išraiškų rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 2.	PKA	48,98	0,003	0,004
	LDA	83,67	0,005	0,004
	NKA	48,98	0,545	0,004
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 3.	PKA	48,98	0,003	0,004
	LDA	81,63	0,004	0,004
	NKA	51,02	0,538	0,004
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif1” bangele. Sklandos lygis – 4.	PKA	61,22	0,004	0,004
	LDA	73,47	0,004	0,004
	NKA	59,18	0,524	0,005

49 lentelė. Atpažinimo rezultatas veido užstojo rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif2” bangele

Rinkinys	Veidų atpažinimo	Atpažinimo tikslumas	Apmokymo laikas	Identifikavimo laikas
----------	------------------	----------------------	-----------------	-----------------------

	<b>algoritmas</b>	<b>(%)</b>	<b>(s/veidas)</b>	<b>(s/veidas)</b>
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Skaidos lygis – 1.	PKA	51,02	0,003	0,005
	LDA	83,67	0,004	0,004
	NKA	48,98	0,516	0,004
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Skaidos lygis – 2.	PKA	51,02	0,003	0,005
	LDA	83,67	0,004	0,004
	NKA	51,02	0,514	0,005
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif2” bangele. Skaidos lygis – 3.	PKA	46,94	0,003	0,006
	LDA	83,67	0,004	0,004
	NKA	48,98	0,516	0,004

**50 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido užstojo rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif3” bangele

<b>Rinkinys</b>	<b>Veidų atpažinimo algoritmas</b>	<b>Atpažinimo tikslumas (%)</b>	<b>Apmokymo laikas (s/veidas)</b>	<b>Identifikavimo laikas (s/veidas)</b>
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Skaidos lygis – 1.	PKA	53,06	0,003	0,004
	LDA	83,67	0,004	0,004
	NKA	51,02	0,515	0,004
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif3” bangele. Skaidos lygis – 2.	PKA	48,98	0,025	0,006
	LDA	83,67	0,004	0,004
	NKA	51,02	0,512	0,004

**51 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido užstojo rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif4” bangele

<b>Rinkinys</b>	<b>Veidų atpažinimo algoritmas</b>	<b>Atpažinimo tikslumas (%)</b>	<b>Apmokymo laikas (s/veidas)</b>	<b>Identifikavimo laikas (s/veidas)</b>
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Skaidos lygis – 1.	PKA	53,06	0,003	0,006
	LDA	83,67	0,004	0,004
	NKA	51,02	0,522	0,004
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif4” bangele. Skaidos lygis – 2.	PKA	46,94	0,003	0,006
	LDA	83,67	0,004	0,004
	NKA	48,98	0,523	0,004

**52 lentelė.** Atpažinimo rezultatas veido užstojo rinkiniui pašalinus triukšmą „Coif5” bangele

<b>Rinkinys</b>	<b>Veidų atpažinimo algoritmas</b>	<b>Atpažinimo tikslumas (%)</b>	<b>Apmokymo laikas (s/veidas)</b>	<b>Identifikavimo laikas (s/veidas)</b>
Veido užstojo rinkinys apdorotas „Coif5” bangele. Skaidos lygis – 1.	PKA	53,06	0,003	0,004
	LDA	83,67	0,004	0,004
	NKA	48,98	0,514	0,004