



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

FUNDAMENTINIŲ MOKSLŲ FAKULTETAS
GRAFINIŲ SISTEMŲ KATEDRA

Audrius Gaurilčikas

**TIKSLUS AKIES RAINELĖS KONTŪRO NUSTATYMAS ATPAŽINIMO
PROCESE**

PRECISE IRIS REGION DETECTION IN RECOGNITION

Baigiamasis magistro darbas

Informacinių technologijų studijų programa, valstybinis kodas 62407T104

Erdvinių informacinių sistemų specializacija

Informatikos inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

FUNDAMENTINIŲ MOKSLŲ FAKULTETAS
GRAFINIŲ SISTEMŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Audrius Gaurilčikas

TIKSLUS AKIES RAIDELĖS KONTŪRO NUSTATYMAS ATPAŽINIMO PROCESE

PRECISE IRIS REGION DETECTION IN RECOGNITION

Baigiamasis magistro darbas

Informacinių technologijų studijų programa, valstybinis kodas 62407T104

Erdvinių informacinių sistemų specializacija

Informatikos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas: prof. habil. dr. Romualdas Baušys

(parašas)

(Data)

Konsultantas: doc. Dr. Angelė Kaulakienė

(parašas)

(Data)

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
FUNDAMENTINIŲ MOKSLŲ FAKULTETAS
GRAFINIŲ SISTEMŲ KATEDRA

Technologijos mokslų (T000) sritis

Informatikos inžinerijos (07T) mokslo kryptis

Informatikos inžinerijos (07T1) studijų kryptis

Informacinių technologijų studijų programa, valstybinis kodas
62407T104

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
Romualdas Baušys
(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.
Vilnius

Studentui Audriui Gaurilčikui

Baigiamojo darbo tema: Tikslus akies rainelės kontūro nustatymas atpažinimo procese

patvirtinta 2009 m. balandžio 28 d. dekanų potvarkiu Nr. 10-436

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2009 m. gegužės 28 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Aiškinamasis raštas

- Išanalizuoti akies aptikimo ir rainelės atpažinimo technologijų situacija šiomis dienomis
- Išanalizuoti, palyginti ir įvertinti esamus akių aptikimo bei rainelės kontūro nustatymo metodus
- Realizuoti praktikoje vieną iš rainelės kontūro radimo metodų
- Naudojantis sukurta realizacija atlikti tyrimą ir nustatyti faktorius įtakančius tikslų rainelės kontūro nustatymą

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: doc. Dr. Angelė Kaulakienė
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas
(Parašas)

prof. habil. dr. Romualdas Baušys
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....
(Parašas)
Audrius Gaurilčikas
(Vardas, pavardė)
.....
(Data)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
FUNDAMENTINIŲ MOKSLŲ FAKULTETAS
GRAFINIŲ SISTEMŲ KATEDRA

Technologijos mokslų (T000) sritis

Informatikos inžinerijos (07T) mokslo kryptis

Informatikos inžinerijos (07T1) studijų kryptis

Informacinių technologijų studijų programa, valstybinis kodas
62407T104

**PAŽYMA
APIE BAIGIAMĄJĮ MAGISTRO DARBĄ**

.....Nr.
Vilnius

Studentas Audrius Gaurilčikas
(Vardas, pavardė)

Studento studijų svertinis įvertinimų vidurkis.....balo.

Baigiamojo darbo tema: Tikslus akies rainelės kontūro nustatymas atpažinimo procese

Baigiamasis darbas peržiūrėtas ir studentui Audriui Gaurilčikui leidžiama ginti šį baigiamąjį darbą magistro laipsnio suteikimo komisijoje.

Katedros vedėjas

.....
(Parašas)

prof. habil. dr. Romualdas Baušys
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

VADOVO ATSILIEPIMAS
APIE BAIGIAMĄJĮ MAGISTRO DARBĄ
2009 -

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Vadovas

.....
(Parašas)

prof. habil. dr. Romualdas Baušys
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

RECENZIJA APIE BAIGIAMĄJĮ MAGISTRO DARBĄ

RECENZIJIA

[illegible]

5

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Fundamentinių mokslų fakultetas
Grafinių sistemų katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-....-....

Informacinių technologijų studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas: **Tikslus akies rainelės kontūro nustatymas atpažinimo procese**

Autorius: **Audrius Gaurilčikas**

Vadovas: **prof. habil. dr. Romualdas Baušys**

Kalba

☒ lietuvių
☐ užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos akies rainelės atpažinimo technologijos koncentruojantis ties pirmąją ir esminę atpažinimo proceso stadiją – akies regionų (rainelės ir vyzdžio) kontūrų radimu. Išnagrinėti pagrindiniai akies veido nuotraukoje radimo bei rainelės kontūro nustatymo metodai. Pasiūlytas originalus metodas. Atlikta programinė realizacija, skirta išskirti rainelės regionus iš arti darytoje nuotraukoje. Pateikti jos testavimo rezultatai. Išnagrinėjus teorinius ir praktinius aspektus, pateiktos baigiamojo darbo išvados.

Darbą sudaro: įvadas, situacijos analizė, teorinė bei praktinė dalys, išvados ir literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 46 p. teksto be priedų, 22 pav., 6 lent., 32 literatūros šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: Rainelės atpažinimas, veido atpažinimas, segmentavimas, lokalizavimas, kontūro nustatymas, biometrija, tapatybės patvirtinimas, tapatybės nustatymas, rainelė, vyzdys, Daugmano metodas.

Vilnius Gediminas Technical University

Fundamental science faculty

Department of **Information systems**

ISBN ISSN

Num of copies

Date

Information Technologies study program master thesis.

Title: **Precise iris region detection in recognition**

Author: **Audrius Gaurilėikas** Academic supervisor: **prof. habil. dr. Romualdas Baušys**

Thesis language

☒ X

Lithuanian

☐

Foreign (English)

Annotation

In this master thesis iris recognition technology is analyzed with a focus on the first and essentially important stage of it – the segmentation of iris. The importance and influence of this stage to the whole iris recognition system is analyzed. The main methods of eye localization and iris segmentation are analyzed. An improved iris segmentation method is introduced. Also, the results of the test of the program are given. After theoretical and practical analysis of the problem, conclusions are made.

Thesis consists of the following parts: introduction, context, theoretical and practical parts, conclusions and references.

The size of thesis: 46 p. text without appendixes, 22 pictures, 6 tables and 32 references entries.

Keywords: Iris recognition, face recognition, segmentation, localization, biometrics, identity check, iris, pupil, Daugman's method

TURINYS

Paveikslų sąrašas.....	9
Lentelių sąrašas.....	9
Įvadas	10
1. Situacijos analizė	12
1.1. Veido ir rainelės atpažinimo sistemų pažanga.....	12
1.2. Akių aptikimo svarba	18
1.3. Akių aptikimo veido nuotraukoje metodai	19
1.3.1. Veido atpažinimas naudojant Hausdorffo atstumą.....	20
1.3.2. Tikslus akių pozicijų radimas remiantis tikimybių teorija.....	21
1.3.3. Tikslus akių pozicijų radimas naudojant AdaBoost ir atraminius vektorius	21
1.3.4. Automatinis akies radimas ir patvirtinimas	22
1.3.5. Pakopinis AdaBoost akies pozicijų nustatymui	22
2. Rainelės atpažinimas	23
2.1. Rainelės kontūro nustatymo metodai	24
2.1.1. Daugmano metodas	25
2.1.2. Wildeso metodas	27
2.1.3. Roche ir Avilla metodas.....	27
2.1.4. Procecos metodas	28
2.1.5. Camuso ir Wildeso metodas.....	29
2.2. Metodų palyginimas	30
2.3. Siūlomas metodas.....	31
3. Realizacija – rainelės kontūro radimo programa	32
3.1. Realizacijos tobulinimo planai.....	35
3.2. Akių rainelių duomenų bazės.....	35
3.2.1. „UBIRIS“	37
3.2.2. „CASIA“	38
4. Testavimas, veikimo įvertinimas	39
4.1. Testavimas su rainelėmis iš „UBIRIS“ duomenų bazės	40
4.2. Testavimas su rainelėmis iš „CASIA“ duomenų bazės.....	42
5. Išvados	44
Literatūra	45

Paveikslų sąrašas

1 pav. Akių rainelių tekstūra ^[27]	10
2 pav. Netinkamų atmetimų (tapatybės nepatvirtinimo) skaičiaus mažėjimas bėgant metams	13
3 pav. „Lenovo“ reklaminis plakatas ^[26]	14
4 pav. Pagrindiniai veido atpažinimo proceso etapai	15
5 pav. FAR ir FRR sąryšis	17
6 pav. Tipinė akių atpažinimo sistemos konfigūracija	20
7 pav. Akies rainelės atpažinimo sistemos veikimo schema	23
8 pav. Segmentuota rainelė ^[11]	24
9 pav. Pilnai segmentuota akies rainelė ^[27]	26
10 pav. Histogramos ištempimo pavyzdys ^[29]	27
11 pav. Procecos metodo blokinė schema	28
12 pav. Akies reprezentacija polinėse koordinatėse	31
13 pav. Atspindžių naikinimo rezultatas	33
14 pav. Programos rezultatų langas, kai saugoma ne kataloge	34
15 pav. Rainelių nuotraukos į „CASIA“ duomenų bazę patenka specialios įrangos dėka	35
16 pav. Nuotraukų iš „UBIRIS“ duomenų bazės pavyzdžiai ^[11]	36
17 pav. „CASIA“ rainelių pavyzdžiai	38
18 pav. Neteisingi aptikimai dėl atspindžių įtakos	40
19 pav. Atspindžių panaikinimas galutinėje nuotraukoje nematomas, tačiau efektas akivaizdus	41
20 pav. Šiek tiek netikslūs aptikimai sumažinus mastelį	42
21 pav. Neaptikimai dėl pridengtos rainelės	43
22 pav. Kai rainelė matoma gerai, aptikimas tikslus	43

Lentelių sąrašas

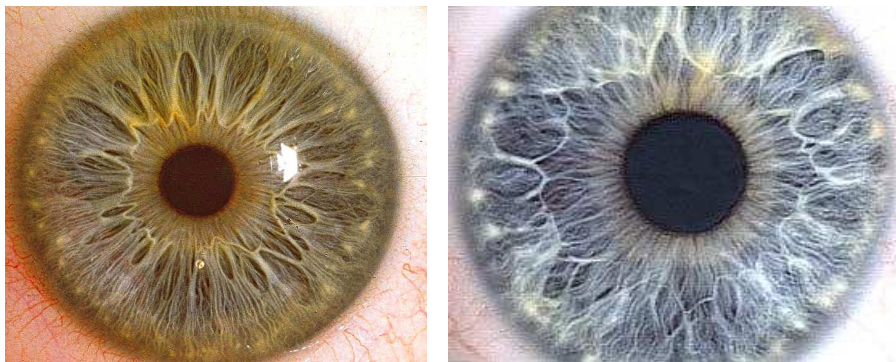
1 lentelė. Veido atpažinimo taikymo sritys	13
2 lentelė. Komerciniai veido atpažinimo projektai	14
3 lentelė. Akies rainelės ir jos centro taško radimo metodų palyginimas ^[18]	30
4 lentelė. Nuotraukų „UBIRIS“ duomenų bazėje kokybė	37
5 lentelė. Testavimo su nuotraukomis iš „UBIRIS“ duomenų bazės rezultatai	40
6 lentelė. Testavimo su nuotraukomis iš „CASIA“ duomenų bazės rezultatai	42

Ivadas

Sukurti patikimą biometrinę asmens identifikavimo sistemą bandoma jau daugiau nei šimtmetį. Vieni iš pirmųjų mėginimų aptinkami dar karalienės Viktorijos laikų Anglijoje [6], kur sparčiai augant nusikalstamumui atsirado didelis patogios asmens identifikavimo sistemos poreikis. Seras Francis Galtonas [13] tada aprašė keletą būdų kaip veido bruožus bei skirtingų veidų panašumą išreikšti skaitinėmis reikšmėmis, bei pasiūlė mechaninį selektorių, kurio pagalba įmanoma atrinkti veido bruožų šablonus, atitinkančius pasirinktą panašumo reikšmę. Tai buvo bene pirmas rimtesnis bandymas automatizuoti tapatybės nustatymą/patvirtinimą. Nuo to laiko praėjus daugiau nei šimtmečiui, situacija išlieka iš dalies panaši – patogios sistemos asmens identifikavimui poreikis itin didelis, o tobulos jos nėra iki šiol.

Kad žmogaus bruožas galėtų būti sėkmingai naudojamas tapatybei nustatyti, jis visų pirma turi būti unikalus, taip pat – lengvai išgaunamas bei nekintantis bėgant laikui, atsparus apsimetimo atakoms ir reikalaujantis kaip įmanoma mažiau žmogaus darbo. Daugelis identifikavimui naudojamų būdų (parašas, veido nuotrauka, pirštų antspaudai, balsas ar akies tinklainės raštas) šių reikalavimų neatitinka. Nors identifikavimas pagal nuotrauką ar parašą yra pigus ir paprastas, tačiau ir vienas ir kitas - lengvai suklustojami, o ir panaudoti automatizuotoje sistemoje juos sunku. Panašiai ir su žmogaus balsu, kuris negana, kad gali būti įrašytas ir panaudotas apsimetėlio, dar yra priklausomas nuo laiko, ligų, ar amžiaus. Dėl dviejų pastarųjų rodiklių ne pats tinkamiausias ir identifikavimas pagal akies tinklainės raštą.

Visus aukščiau išvardytus kriterijus atitinkanti akies rainelė pasirodė puikiai tinkama asmens tapatybei nustatyti. Idėją, kad ją galima panaudoti asmens identifikavimo tikslams, iškėlė oftalmologijos (akių ligų mokslo) specialistai [1], [9], [19], kurie pastebėjo, kad kiekvieno žmogaus akių rainelės turi ryškią, aiškią ir, kas svarbiausia – unikalią ir laikui bėgant nekintančią tekstūrą [6].



1 pav. Akių rainelių tekstūra ^[27]

Ji yra izoliuota ir puikiai apsaugota nuo aplinkos poveikio, jos natūrali reakcija į šviesą ir jos atspindėjimas užtikrina atsparumą apsimetimo atakoms, o ir pakeisti operacija (padaryti panašia į kito žmogaus) jos neįmanoma, arba jei įmanoma, tai su nepriimtina didele rizika netekti regėjimo.

Toliau šiame darbe nagrinėjamas akies, kaip nepakeičiamo biometrinio šaltinio, panaudojimas asmens identifikavimo sistemose, labiausiai akcentuojant identifikavimą pagal akies rainelę. Tiriamas esminis akies rainelės atpažinimo etapas – tikslus rainelės kontūro nustatymas.

Darbo tikslas

Akies regionų lokalizavimo metodų, veido/rainelės atpažinimo sistemose, analizė, palyginimas. Faktorių įtakojančių esminę rainelės atpažinimo proceso stadiją - tikslų rainelės kontūro nustatymą, identifikavimas, remiantis sukurtos rainelės kontūro radimo programos testavimo duomenimis.

Mokslinis naujumas

Darbe pasiūlytas originalus akies rainelės kontūro nustatymo metodas, sujungiantis Camuso/Wildeso kandidatų į rainelių centrus paiešką ir Daugmano integro-diferencialinį operatorių, bei būdas atspindžiams rainelių nuotraukose šalinti.

Praktinė vertė

Su „UBIRIS“ ir „CASIA“ akių rainelių nuotraukų duomenų bazėmis atlikti skaitiniai realizuoto metodo bandymai parodė, kad jis gali būti sėkmingai naudojamas akies rainelės kontūrų nustatymui įvairaus dydžio ir kokybės nuotraukose.

Aprobacija

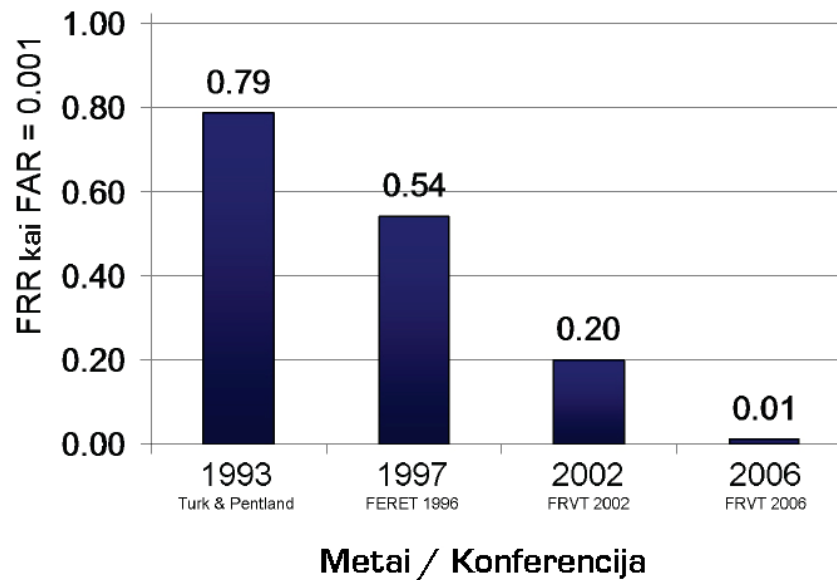
Šio darbo įžanginė dalis buvo pristatyta 12-oje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, 2009 m. balandžio 8 d.).

1. Situacijos analizė

1.1. VEIDO IR RAINELĖS ATPAŽINIMO SISTEMŲ PAŽANGA

Rainelės, kaip biometrinio šaltinio, panaudojimo idėja dar pakankamai nauja – Flomo ir Safiro patentuota 1987-aisiais [9], o pirmąkart išsamiau aprašyta tik 1993-aisiais, kai automatinės rainelės atpažinimo sistemos veikimo principus paaiškino vienas žymiausių iki šių dienų rainelės atpažinimo tyrėjų – Johnas Daugmanas; jo aprašyto metodo [6] pagrindu sukurta ir pirmoji veikianti sistema. Tačiau nuo to laiko beveik iki pat šių dienų susidomėjimą rainelės atpažinimu smarkiai stabdė nenaudojamas Flomo ir Safiro patentas, bei viešai prieinamų rainelių nuotraukų duomenų bazių stygius [16]. Tik prieš kelerius metus, nustojus galioti patentui bei atsiradus Kinijos mokslų akademijos sukurta rainelių duomenų bazei „CASIA“, dėmesys rainelės atpažinimui grįžo. „CASIA“ atsiradimas buvo didelis postūmis pradėti jau beprimirštųjų metodų tobulinimą, tyrimą, bandymus. Nacionalinis JAV standartų ir technologijų institutas („NIST“) paleido į gyvenimą „*Iris Chalange Evaluation (ICE)*“ projektą, kurio tikslas reklamuoti ir skatinti rainelės atpažinimo technologijos kūrimą ir tobulinimą ir įvertinti dabartinę technologijos pajėgumą. Projektas ir visa su juo susijusi informacija bei tyrimų rezultatai viešai prieinami visiems interesantams [30].

Kokių rezultatų toks rainelės atpažinimo technologijai skiriamas dėmesys gali duoti artimiausioje ateityje, galima spręsti iš panašaus pavyzdžio. 1993 m. JAV vyriausybė itin didelį dėmesį skyrė veido atpažinimo technologijai. Panašiai kaip ir rainelės atpažinimo atveju buvo finansuojamas technologijos skatinimo ir įvertinimo projektas, apie kurio rezultatus susidaryti įspūdį galima iš žemiau pateiktos iliustracijos, kurioje pateiktas bene svarbiausio biometrinių sistemų rodiklio „FRR“, nurodančio koks procentas patikrinimų baigiasi neteisingu tapatybės nepatvirtinimu ir koks jo pokytis 1993-2006 m. laikotarpiu.



2 pav. Netinkamų atmetimų (tapatybės nepatvirtinimo) skaičiaus mažėjimas bėgant metams

Galima teigti, kad milžiniškas technologinis šuolis buvo pasekmė dėmesio, skirto veido atpažinimo technologijos studijoms ir plėtrai. Jis neatslūgsta iki pat dabar – 2009-aisiais bus surengta bent 17 tarptautinių konferencijų, kuriose nemaža dėmesio bus skiriama ir veido atpažinimui. Šios tendencijos priežasčių yra kelios: pirma – nuolatos didėjantis komercinių ir teisėtvarke naudojamo veido atpažinimo taikymų skaičius (žr. 1 lentelę), antra – po 30 tyrinėjimo metų, pagaliau sukurtų reikiamų technologijų/metodų, bei jiems įgyvendinti pakankamai galingos technikos, atsiradimas. Automatinės žmogaus veido atpažinimo sistemos ir toliau tyrinėjamos. Dėmesio jos sulaukia iš labai skirtingų sričių specialistų: vaizdų apdorojimo, struktūros atpažinimo, dirbtinių neuroninių tinklų, kompiuterinės regos, kompiuterinės grafikos ir net psichologijos.

1 lentelė. Veido atpažinimo taikymo sritys

Sritis	Veido atpažinimo taikymas
Pramogų sfera	Vaizdo žaidimai, virtualioji realybė, mokymo (treniruočių) programos
	Žmogaus-roboto sąveika, žmogaus-kompiuterio sąveika
Išmaniosios kortelės („smart cards“)	Vairuotojo pažymėjimai, pašalpų programos
	Imigracija, pasai, balsuotojo pažymėjimai
Informacijos apsauga	TV programų suaugusiems kontrolė,
	Prisijungimas prie kompiuterių ir kitų asmeninių prietaisų

Didelis patogios naudoti ir patikimos sistemos, galinčios užtikrinti žmonių nuosavybės saugumą ir užtikrinti teisę į privatumą, poreikis akivaizdus. Jei jos nebus sukurta, žmonės gali paskęsti slaptažodžių ir PIN kodų jūroje.



3 pav. „Lenovo“ reklaminis plakatas [26]

Šiuo metu beveik kiekvienas iš mūsų turi atsiminti bent 10 kodų: skirtingus kiekvienos banko ar telefono SIM kortelės PIN kodus, elektroninio pašto dėžučių, kompiuterio vartotojo slaptažodžius ir pan. Tinkamos veido, rainelės atpažinimo, ar kitos perspektyvios biometrinės technologijos pritaikymas galėtų situaciją radikaliai pakeisti į gerąją pusę.

Nors ir egzistuoja pakankamai patikimų biometrinių asmens identifikacijos metodų: pirštų antspaudų analizė, akies tinklainės skenavimas, deja, jie smarkiai priklauso nuo tikrinamo asmens bendradarbiavimo (t.y. sutikimo būti patikrintam), o tai yra labai didelis minusas. Tuo tarpu veido ir kai kuriais atvejais net rainelės atpažinimą galima įgyvendinti žmogui to nė nežinant, ar bent neįsijaučiant dėl to diskomforto.

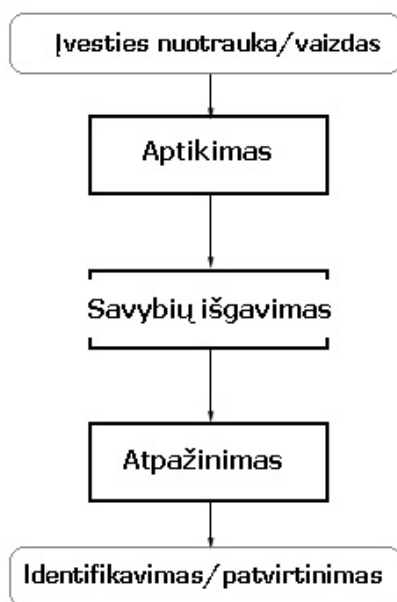
2 lentelė. Komerciniai veido atpažinimo projektai

Pavadinimas	Interneto tinklapis
Facelt, Visionics	http://www.faceit.com
Viisage Technology	http://www.viisage.com
FaceVACS, Plettac	http://www.plettac-electronics.com
FaceKey Corp.	http://www.facekey.com
Cognitec systems	http://www.cognitec-systems.de
Keyware technologies	http://www.keywareusa.com
Passfaces, ID-arts	http://www.id-arts.com
ImageWare Software	http://www.iwsinc.com
Eyematic Interfaces Inc.	http://www.eyematic.com
BioID sensor fusion	http://www.bioid.com
Visionsphere Technologies	http://www.visionspheretech.com
Biometric Systems, Inc.	http://www.biometrica.com
FaceSnap Recorder	http://www.facesnap.de
Sporlt for face composite	http://www.spotit.itc.it

Komercinės ir pagalbinės teisėtvarkos organų veido atpažinimo realizacijos tarpusavyje yra labai skirtingos, jų veikimo principas svyruoja nuo statinių nustatyto formato nuotraukų iki

neapribotų video įrašų analizės. Tokia skirtinga sistemų architektūra reikalauja ir labai skirtingų vaizdo apdorojimo metodų. Pagal veikimo principą, veido atpažinimo sistemos skiriamos į dvi grupes – naudojančias statinį žmogaus atvaizdą ir vaizdo įrašą [8].

Formaliai automatinio veido bruožų atpažinimo problemą galima apibrėžti taip: turint statinį paveikslėlį ar vaizdo įrašą, reikia nustatyti ar patvirtinti vieno ar kelių atvaizde esančių žmonių tapatybę, lyginant išgautus jų unikalius bruožus su duomenų bazėje saugomais šablonais [7]. Šiuo tikslu, norint susiaurinti paiešką, gali būti naudojama ir turima papildoma informacija: žmogaus rasė, amžius, lytis, veido išraiška ar kalba.



4 pav. Pagrindiniai veido atpažinimo proceso etapai

Biometrinė sistema gali būti naudojama tapatybės patvirtinimui arba asmens identifikavimui [3]. Šie atvejai labai skirtingi. Pirmuoju, sistema turi patvirtinti, ar asmuo yra tas kuo dedasi, o antruoju, tapatybę turi nustatyti ji pati, be jokios išankstinės informacijos.

Jei sistema naudojama tapatybei patvirtinti - tikrinamas asmuo nurodo savo tapatybę, o sistema tikrina, ar nurodyta tapatybė teisinga. Patvirtinimas atliekamas lyginant patikrinimo metu nuskaitytus biometrinius duomenis su duomenų bazėje esančiais, nurodytam asmeniui anksčiau priskirtu šablonu. Jei ką tik nuskaityti duomenys pakankamai gerai sutampa su anksčiau į sistemą įrašytais duomenimis – tapatybė patvirtinama, jei ne – atmetama.

Sistemos darbo įvertinimui vartojami tokie terminai:

- Teisingas patvirtinimas - atvejis, kai sistema asmens tapatybę patvirtina tada, kai ją ir reikėjo patvirtinti (kai žmogus yra tas kuo dedasi).
- Neteisingas patvirtinimas – kai tapatybė patvirtinama nors jos nereikėjo patvirtinti (žmogus nėra tas, kuo dedasi).
- Teisingas atmetimas – tapatybė nepatvirtinama, kai žmogus nėra tas, kuo dedasi
- Neteisingas atmetimas – tapatybė nepatvirtinama, nors žmogus yra tas, kuo dedasi.

Atpažinimo sistemos principas kitas. Čia nuskaitytiems biometriniais duomenims nėra iškart priskiriamas vienas šablonas iš duomenų bazės, su kuriuo vieninteliu lyginama, todėl - lyginimas vyksta su visais turimais šablonais ieškant geriausio atitikmens. Turimų šablonų duomenų bazė literatūroje dar vadinama *galerija* [22], o patikrinimo metu išgauti duomenys – *mėginis*. Toks mėginys sulyginamas su visais šablonais galerijoje ir artimiausias jam šablonas, jei yra užtektinai panašus, yra parenkamas kaip asmenį identifikuojantis.

Ir atpažinimo, ir patvirtinimo sistemai vartojami panašūs terminai:

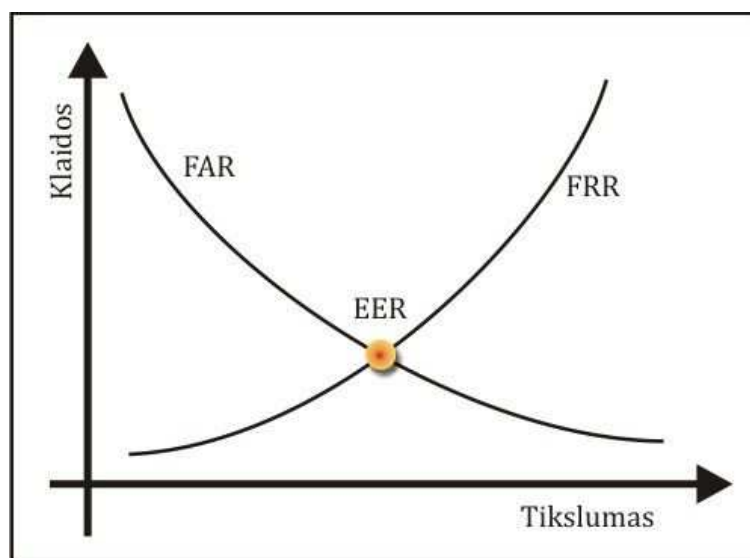
- Teisingu atpažinimu laikomas atvejis, kai sistemos rezultatas yra turimo šablono priskyrimas ką tik nuskaitytiems duomenims ir šis priskyrimas yra teisingas (šablonas galerijoje ir mėginys yra to paties asmens)
- Neteisingu atpažinimu – situacija, kai sistemos rezultatas yra turimo šablono priskyrimas ką tik nuskaitytiems duomenims, bet toks priskyrimas nėra teisingas (asmuo, kurio šablonas iš galerijos priskirtas tikrinamajam iš tiesų nėra tikrinamasis asmuo)
- Teisingu neatpažinimu vadinama situacija, kai tikrinamajam asmeniui nepriskiriamas joks šablonas iš galerijos, nes nė vienas jų nėra pakankamai panašus ir, kai tai iš tiesų yra taip (tikrinamo asmens šablono galerijoje nėra).
- Neteisingu neatpažinimu laikomas toks atvejis, kai tikrinamajam asmeniui nepriskiriamas joks šablonas iš galerijos, nes nė vienas jų nėra pakankamai panašus ir kai tai yra netiesa (tikrinamo asmens šablonas galerijoje yra, bet sistema jo nerado).

Ir vienos, ir kitos sistemos patikimumas gali būti apibūdintas tokiomis trimis vertėmis [31]:

- FAR (angl. „False Acceptance Rate“) – tikimybė, kad biometrinė sistema svetimą žmogų atpažins kaip savą. 0,0001 proc. rodo, kad vieną žmogų iš milijono sistema gali atpažinti,

nors jo duomenų galerijoje nėra. FAR turi būti kuo mažesnė, ypač tuo atveju, jei sistema pasikliauja vieninteliu savo tikrinimu ir jokių papildomų kodų ar kortelės nereikalaujama.

- FRR (angl. „*False Rejection Rate*“) – tikimybė, kad asmuo, turintis sau priskirtą šablono galerijoje ir turintis teisę praeiti bus neatpažintas (reikės dar kartą nuskaityti asmens duomenis). Tai nepavojinga, tačiau kelia nepatogumų vartotojams.
- EER (angl. „*Equal Error Rate*“) – FAR ir FRR verčių aukso vidurys. Sujungus FAR ir FRR diagramas, EER taške tikimybė būti neteisingai atpažintam ar visai neatpažintam yra vienoda. Kuo EER vertė mažesnė, tuo geriau.



5 pav. FAR ir FRR sąryšis

Kuo mažesnės *FAR* ir *FRR* vertės tuo patikimesnė visa sistema, tačiau visiško tobulumo pasiekti beveik neįmanoma. Naudojant tokias sistemas, visada reikia priimti kompromisą ir nuspręsti, kuri klaida brangiau kainuoja. Taip yra todėl, kad mažinant *FAR* vertę (didinant patikimumą) automatiškai didėja *FRR* ir atvirkščiai. Beveik kiekvieną biometrinę sistemą galima sureguliuoti taip, kad beveik nė vienas pašalinis asmuo nebūtų atpažintas kaip savas. Tačiau tokiu atveju ir registruoti vartotojai dažnai neatpažįstami. Nei *FAR*, nei *FRR* verčių atskirai nepakanka sistemai tinkamai apibūdinti. Geriausia remtis *EER* duomenimis. Realiomis sąlygomis veikianti sistema turėtų būti vertinama esant *FAR* lygiai arba labai artimai nuliui (t.y. kai „blogiukams“ praeiti patikrą galimybių nėra arba jos visiškai minimalios).

1.2. AKIŲ APTIKIMO SVARBA

Akių aptikimas yra esminė ir būtina rainelės atpažinimo, veido radimo, veido atpažinimo, žmogaus-kompiuterio sąsajos, automobilio vairuotojo elgesio analizės, neįgalių žmonių pagalbos ir daugelio kitų sistemų dalis. Per pastaruosius metus parašyta itin daug mokslinių straipsnių šia tema, juose nagrinėjami esami ir kuriami akių atpažinimo metodai ir algoritmai, pristatomi vis nauji, patobulinti. Nepaisant to, kad ši problema aktuali ir nagrinėjama jau daugelį metų, tobulos akių atpažinimo sistemos nėra iki šios dienos.

Kodėl taip svarbu gebėti teisingai nustatyti akių pozicijas?

Visuotinai pripažinta, kad akys – svarbiausias žmogaus veido bruožas, padedantis identifikuoti žmogaus tapatybę. Priežasčių tam yra kelios:

- Akys yra labai svarbus informacijos šaltinis žmogaus būsenai nustatyti.
- Akių išvaizda, lyginant su kitais veido bruožais, mažiau kinta bėgant laikui. Jų išvaizda išlieka pastovi - jos neįtakoja tokie veiksniai kaip, kad barzda ar ūsai (galintys uždengti unikalius veido bruožus lūpų ar smakro srityje) ar permatomai akiniai.
- Tikslus akių pozicijų nustatymas leidžia lengviau identifikuoti kitus svarbius veido bruožus.
- Akių pozicijų žinojimas suteikia informacijos apie veido mastelį, kadangi atstumai tarp akių skirtingiems žmonėms skiriasi palyginti nežymiai.

Literatūroje išskiriami du pagrindiniai akių aptikimo veido nuotraukoje etapai: veido kontūro radimas ir akių pozicijų jame nustatymas. Tuo tarpu akies aptikimas iš pilnos nuotraukos (prieš tai neišskyrus veido) beveik nesutinkamas.

Akių aptikimo problema sprendžiama daugeliu būdų: naudojant dirbtinius neuroninius tinklus, esminių bei nepriklausomų komponentų analizę, odos spalva paremtus metodus ir t.t..

Esami akių atpažinimo metodai, kaip teigiama [25] gali būti išskirti į dvi kategorijas:

- Tradicinius – pasyviuosius, nuotraukos analize paremtus, metodus
- Aktyviuosius - infraraudonaisiais spinduliais apšviestos akies analizės metodus

Pirmųjų veikimo principas paremtas unikaliu akies ryškumo (sodrumo) pasiskirstymu arba akių forma. Pagrindinė tokių metodų prielaida ta, kad akys, lyginant su kitais veido bruožais, smarkiai skiriasi forma ir ryškumu. Taigi jų pozicija gali būti nustatyta pasinaudojant šiomis unikaliomis savybėmis, t.y. ieškant minėtų skirtumų.

Aktyvūs infraraudonųjų spindulių metodai veikia visiškai kitaip. Čia naudojamos spektrinės (atspindimosios) akių vyzdžių savybės, apšviečiant akį infraraudonųjų spindulių šviesą. Akies pozicija nustatoma randant ir fiksuojant akių vyzdžius [24].

Dėl didesnio priimtimumo vartotojui, populiariesni ir daugiau tyrėjų dėmesio sulaukiantys yra pirmosios kategorijos metodai. Jis klasifikuojami pagal aptikimo proceso tipą:

- Šabloninis (ang. „*template based*“)
- Savybių (ang. „*feature based*“)
- Išvaizdos (ang. „*appearance based*“)

Šabloninio tipo metoduose visų pirma suformuojamas bendras akies modelis pagal jos formą. Vėliau, akies nuotraukoje paieškai, vykdomas šablonų lyginimas. Tokio tipo metodų pagrindinis minusas – priklausomybė nuo akies modelio inicializavimo ir nuotraukos kontrastingumo. Jų platų panaudojimą stabdo ir ilgas bei sudėtingų skaičiavimų reikalaujantis jo veikimas.

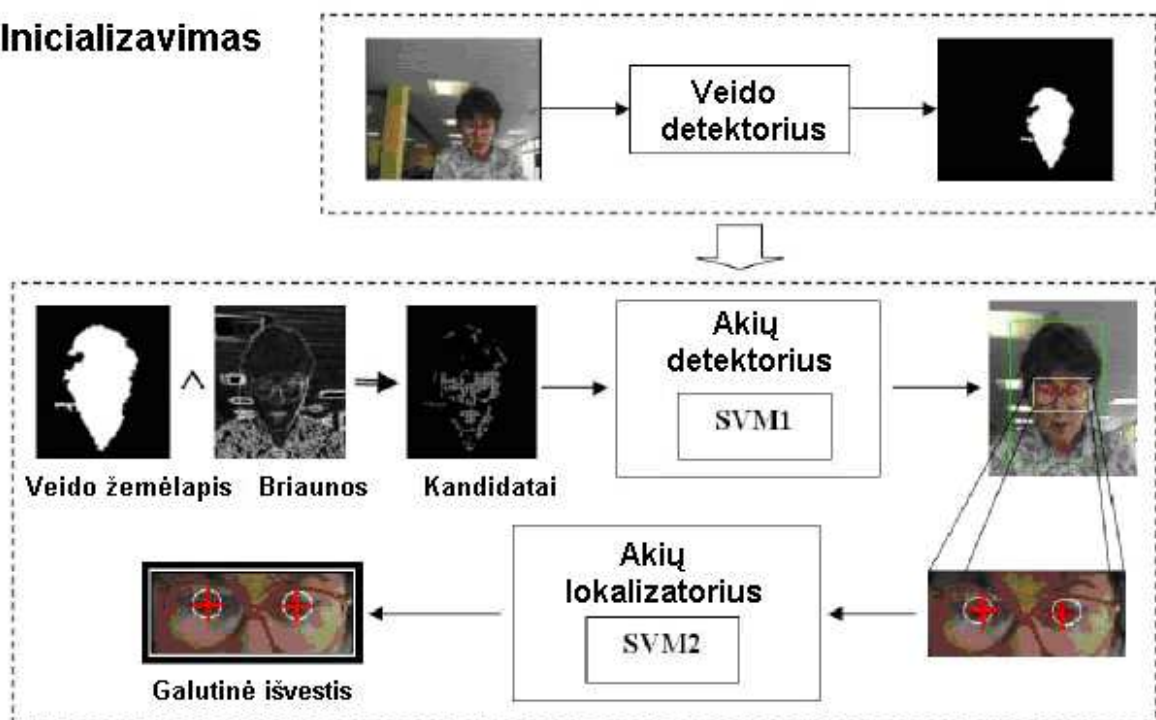
Savybių tipo metodai nagrinėja akies charakteristikas (tokias kaip briaunas nuotraukoje, rainelės intensyvumą arba akies audinį) norint išgauti savitus ir unikalius akių bruožus [17], tačiau jei akys užmerktos arba pridengtos ilgų plaukų, taip pat jei veidas pakreiptas į šoną – tokio tipo metodai yra neveiksmingi.

Išvaizdos tipo metodai aptinka akis pagal jų fotometrinę išvaizdą. Norint tinkamai reprezentuoti skirtingų žmonių akis, šiems metodams būtinas labai didelis kiekis apmokymų su skirtingais veido pakreipimais ir kintančiu apšvietimu duomenų.

1.3. AKIŲ APTIKIMO VEIDO NUOTRAUKOJE METODAI

[12] Pateiktas naujausių veido atpažinimo metodų, kuriose pagrindinį vaidmenį atlieka tikslus akių pozicijų nustatymas, palyginimas. Jame trumpai ir konkrečiai išanalizuoti skirtingi metodai, bei pateiktas jų tikslumo vertinimas.

Inicializavimas



6 pav. Tipinė akių atpažinimo sistemos konfigūracija

1.3.1. Veido atpažinimas naudojant Hausdorffo atstumą

Jesorskis ir kiti [12] ne tik vieni iš pirmųjų pabrėžė itin didelę tikslaus veido kontūro nustatymo įtaką visam veido atpažinimo procesui ir jo tikslumui, bet savo straipsnyje pasiūlė ir naują akių pozicijų nustatymo metodą bei būdą kiekybiškai išmatuoti jo tikslumą. Aprašytas metodas – modulinis, *nuo grubaus iki dailaus* (ang. „*course-to-fine*“) tipo, kurio pagrindas – modifikuoto *Hausdorffo atstumo* adaptavimas. Čia *grubus* ir *nudailintas* lygmenys, abu susideda iš segmentacijos ir lokalizacijos fazių, ir yra taikomi skirtingiems (viso veido ir tik akių srities) modeliams. Segmentacijos fazėje išgaunama ir paverčiama į dvejetainę formą informacija apie nuotraukoje esančias briaunas. Tuo tarpu lokalizacijos fazėje iš šios informacijos sukurti modeliai lyginami tarpusavyje ieškant geriausiai atitinkančio (panašiausio). Šis lyginimas atliekamas matuojant *Hausdorffo atstumą*, kurio dėka nustatomas ir modelių mastelis. Galiausiai, nustatytos akių pozicijos koreguojamos pritaikant daugiasluoksnį perceptroną (MLP) apmokytą naudojant nuotraukas su jau aptiktomis akimis.

1.3.2. Tikslus akių pozicijų radimas remiantis tikimybių teorija

Šaltinyje [13] aprašytas trijų pakopų preciziško akių pozicijų nustatymo metodas. Visose jo pakopose naudojamas kaskadinis *AdaBoost* klasifikatorius, kurio pagalba gauti rezultatai yra interpretuojami remiantis statistiniais metodais. Pirmosios dvi metodo pakopos veikia *iš viršaus į apačią* principu: iš pradžių *Viola-Jones* veido detektorius apibrėžia veido kontūrą, kuris vėliau vertikaliai padalinamas į dvi dalis. Kiekviena šių dalių tada atskirai skenuojama veido detektoriumi, kurio atpažinimo slenkstis nustatytas ties labai žema riba, tam, kad būtų gauta daug galimų kandidatų akių pozicijoms. Iš detektoriaus gautų rezultatų sukuriama bei pagal panašumą ir tikimybę būti tikrosiomis akių pozicijomis surūšiuojami atskiri šablonai. Kad sumažinti analizuojamų šablonų skaičių, šablonai su mažiausia tikimybę būti tikrosiomis akių pozicijomis atmetami.

Paskutinė pakopa veikia jau atvirkštiniu būdu – *iš apačios į viršų* principu: atskirų akių šablonai yra poruojami visais įmanomais būdais ir specialiai apmokytas akių porų klasifikatorius nustato tris labiausiai tikėtinas akių poras. Galiausiai, tikroji akių pozicija nustatoma apskaičiuojant visų trijų didžiausios tikimybės porų pozicijų vidurkį. Teigiama, kad šis metodas puikiai veikia net esant veido pakreipimams iki 25^0 .

1.3.3. Tikslus akių pozicijų radimas naudojant *AdaBoost* ir atraminius vektorius

Iš dalies panašus metodas, taip pat naudojantis kaskadinius *AdaBoost* klasifikatorius pristatytas šaltinyje [20]. Tik čia *AdaBoost* klasifikatoriais apjungti su atraminių vektorių (SVM) klasifikatoriais. Panaši ir sistemos architektūra – jis susideda iš trijų pakopų: *AdaBoost* veido detektoriaus, *AdaBoost* akių detektoriaus ir SVM post-klasifikatorius.

Kaip ir aukščiau aprašytame metode, čia visų pirma (tik jau kitu būdu) randamas veido kontūras. Vėliau, norint sumažinti skaičiavimų kiekį ir taupyti kompiuterio atmintį, skenuojama tik viršutinė veido dalis. Tai atlieka antrasis *AdaBoost* klasifikatorius apmokytas aptikti akis. Jo aptikimų slenkstis taip pat labai žemas, taigi, kaip ir ankstesniame metode, akių pozicijų kandidačių aptinkama daug. Jas galiausiai apdoroja geometrinių savybių atpažinimui apmokytas SVM klasifikatorius, kurio dėka (taip pat skaičiuojant priimtinių kandidačių pozicijų vidurkį) ir gaunamas galutinis akių pozicijos rezultatas.

Straipsnyje nurodoma, kad šis metodas yra atsparus apšvietimo pokyčiams ir veidą supančios aplinkos intensyvumui, tačiau jo toleruojami veido pakreipimai yra tik 10^0 .

1.3.4. Automatinis akies radimas ir patvirtinimas

Šaltinyje [12] siūlomas dar vienas metodas, kurio pagrindas – *AdaBoost* algoritmas. Algoritmas pasirinktas dėl pripažinto jo efektyvumo išgaunant esmines savybes ir apmokant silpnus klasifikatorius bei modifikuojant gautų šablonų svorius. Yra įrodyta, kad silpnų (netikslų) klasifikatorių, kurių rezultatai bent kažkiek priimtinesni nei atsitiktinio spėliojimo, naudojimas, visada duoda geresnį rezultatą (tikslumą), jei tokie klasifikatoriai apjungti tarpusavyje.

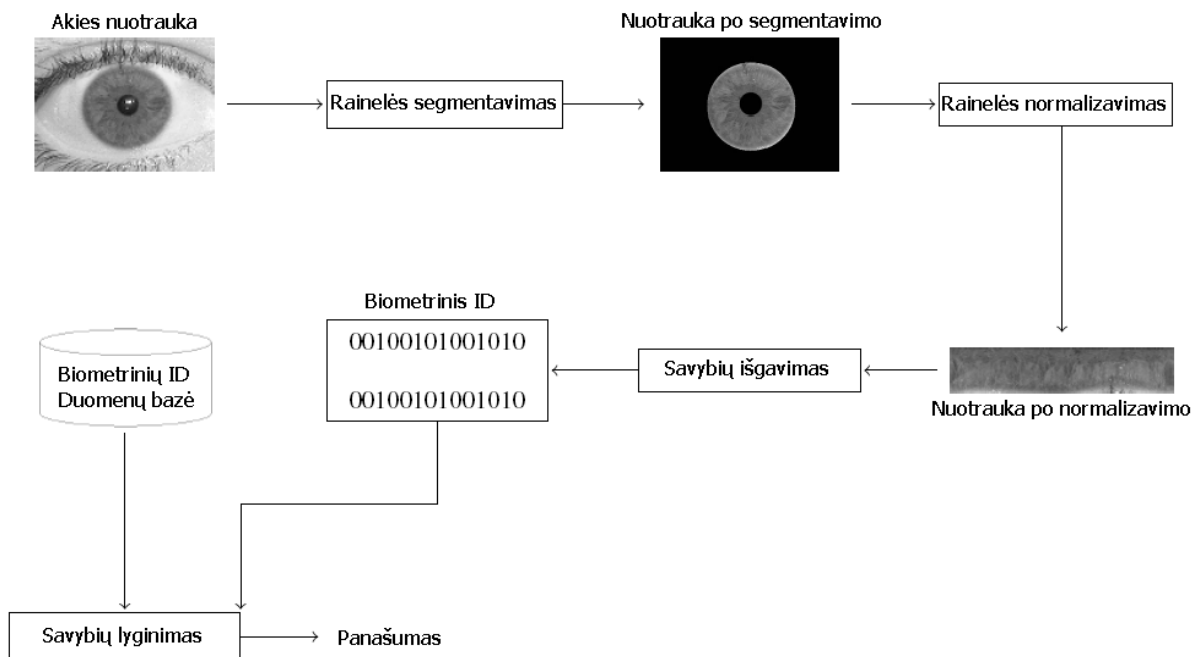
Straipsnyje autoriai siūlo naudoti *rekursyvinę neparametrinę diskriminanto analizę* (ang. *Recursive Nonparametric Discriminant Analysis*) tam, kad būtų galima išgauti didesnę aktualių savybių kiekį, bei gauti pirminius svorius *AdaBoost* algoritmui. Galutinis autorių darbo rezultatas – dviejų pakopų sistema, kurios pirmą pakopą (kadangi pakankamai netiksli) veikia labai greitai, o antroji – jau lėčiau (kadangi joje naudojama ~100 papildomų savybių, atitinkančio šablono paieškos pagerinimui).

1.3.5. Pakopinis AdaBoost akies pozicijų nustatymui

Vienas naujausių metodų, pristatytas [15] 2006 metais. Autorių idėja nuo anksčiau minėtų skiriasi tuo, kad čia *AdaBoost* klasifikatorius naudoja ir teigiamus ir neigiamus šablonus. Iš pradžių, apmokymas pradedamas nuo pirmo klasifikatoriaus ir atsitiktinai atrinktų teigiamų (nedidelio skaičiaus) šablonų, kuriuos vėliau palaipsniui papildo ir neigiami, taip sumažindami klaidos tikimybę ir padidindami algoritmo tikslumą.

2. Rainelės atpažinimas

Akies rainelės atpažinimas – autonominis metodas asmens identifikavimui ar tapatybės patvirtinimui. Kai kuriais aspektais jis yra panašus į aukščiau aprašytuosius metodus. Esminė jo stadija – akies regionų (rainelės ir vyzdžio) išskyrimas, be kurios sėkmingas sistemos veikimas būtų neįmanomas. Ši stadija yra veido nuotraukos segmentavimo dalis, kurioje ji suskaidoma į atskiras dalis. Segmentavimas – vienas pagrindinių bet kokios automatinio nuotraukų apdorojimo sistemos etapų. Vaizdų atpažinimo sferoje, jis apibrėžiamas kaip kiekvieno nuotraukos taško (pikslio) priskyrimas tam tikram nuotraukos regionui, kas laikoma tipiniu klasifikavimo uždaviniu [11].



7 pav. Akies rainelės atpažinimo sistemos veikimo schema

7 pav. iliustruoti pagrindiniai rainelės atpažinimo proceso etapai. Pradinėje stadijoje atliekamas rainelės segmentavimas, kurio rezultatas (rainelės vidiniai ir išoriniai kontūrai) gaunamas darant prielaidą, kad rainelė ir vyzdys (vidinis kontūras) yra apvalūs ar elipsės formos. Norint kompensuoti skirtumus tarp skirtingų vyzdžių dydžių, rainelių po segmentavimo matmenys yra suvienodinami.

Savybių išgavimo stadija gali būti atliekama labai skirtingai. Dažniausiai literatūroje sutinkami fazės (angl. *phase-based*), nulinės sankirtos (angl. *zero-crossing*) bei tekstūros analizės metodai.

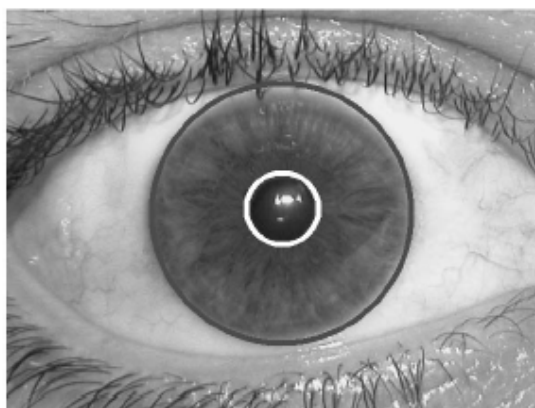
Nesvarbu kokių metodų išgavus rainelės savybes, jos lyginamos su duomenų bazėje saugomais šablonais. Šio proceso rezultatas - panašumo reikšmė, kuri, jei yra didesnė už nustatytą ribinę reikšmę, reiškia rainelių nesutapimą, jei atvirkščiai – sutapimą.

2.1. RAINELĖS KONTŪRO NUSTATYMO METODAI

Akivaizdu, kad netinkamai atlikus pradinį rainelės kontūrų nustatymo (segmentavimo) etapą tolimesnis sistemos darbas netenka prasmės – norimas rezultatas tokiu atveju gautas vis vien nebus. Juk pagrindinė biometrinė, unikali rainelės informacija slypi būtent rainelėje, o ne vyzdyje ar skleroje. Šis faktas parodo, kaip svarbu yra tiksliai išskirti akies rainelės sritį iš bendros akies nuotraukos. Norint tai padaryti, pradiniam etape dažniausiai ieškomi kandidatai į rainelės ir vyzdžio centrus iš kurių vėliau ir išskiriami tikrieji. Kitas variantas – kiekvienas paveikslėlio taškas tikrinamas kaip galimas rainelės centras, maksimizuojantis tam tikrą funkciją. Paminėtieji metodai priklauso *kontūro/ribų ieškojimo* tipui. Kitas tipas – *nekintamo* arba *deformuojamo šablono*, kai rainelės lyginamos su specialiu šablonu.

Tikslus rainelės segmentavimas turi esminės įtakos atpažinimo programos veikimui. Kalbant ne vien apie programos tikslumą, bet ir apie veikimo greitį, kuris tokios tipo sistemose yra itin aktualus. Juk žmogaus tapatybės patvirtinimas ar nustatymas negali trukti pusdienį, blogiausiu atveju - keliolika sekundžių.

Dažniau literatūroje sutinkami *kontūro/ribų ieškojimo* tipo segmentavimo metodai. Populiariesni jų aprašyti žemiau.



8 pav. Segmentuota rainelė^[11]

2.1.1. Daugmano metodas

99,5% visų komercinių akies rainelės atpažinimo sistemų sukurta dar 1993 metais J. Daugmano pasiūlyto metodo pagrindu [18]. Jo algoritmai rainelės segmentavimui, savybių kodavimui ir atpažinimui naudojami tokių žinomų kompanijų kaip British Telecom, Sandia Labs, U.K. National Physical Lab, Panasonic, LG, Oki, EyeTicket, Sensar, Sarnoff, IBM, SchipholGroup, Siemens, Sagem, IriScan, Iridian ir kt.. Skelbiama [6], kad patentuoto jo metodo pilnam (nuo rainelės kontūro aptikimo iki paties atpažinimo) rainelės atpažinimui tikslumas stubbinantis - FAR rodiklis lygus 0. Toks rezultatas patvirtintas bandymais su milijonais (!) rainelių porų.

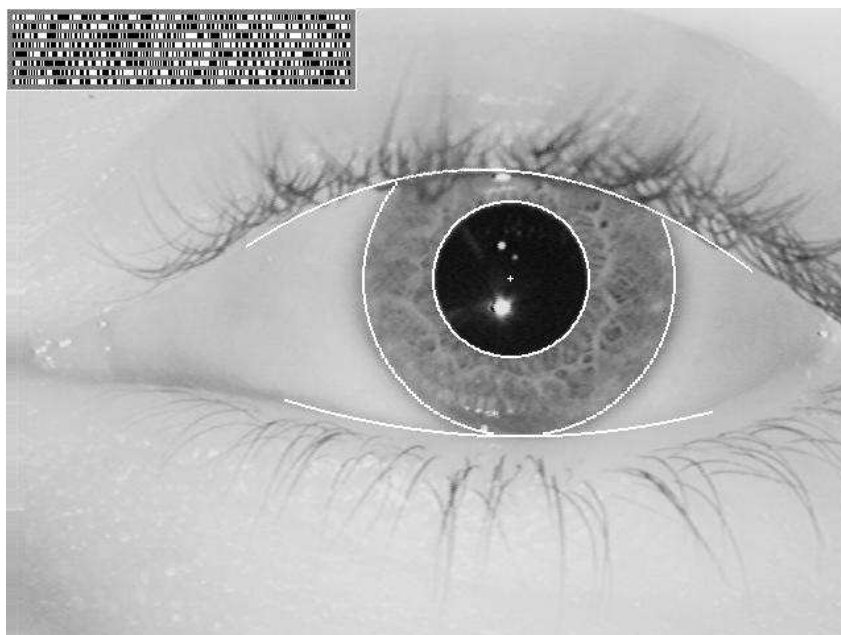
Toks tikslumas be tinkamo rainelės segmentavimo algoritmo būtų neįmanomas. Jo metode visų pirma tikrinama ar rainelė (yra) matoma nuotraukoje, o vėliau vykdoma jos vidinių ir išorinių kontūrų paieška. Savo metode Daugmanas naudoja rainelės savybę būti beveik taisyklingo apskritimo formos. Paieška atliekama įvesties paveikslėliui $I(x,y)$ taikant jo išvestą integro-diferencialinį operatorių. Juo skenuojama paveikslėlio sritis (x,y) sulietoje (angl. „*blurred*“) dalinėje išvestinėje ieškant kaip įmanoma didesnės normalizuoto kreivinio $I(x,y)$ integralo spindulio r reikšmės, einant spindulio r ir centro taško (x_0, y_0) lanku ds :

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| (1),$$

kur $*$ žymima konvoliucija, o G_{σ} - glotninimo/suliejimo (angl. „*smoothing*“ arba „*blurring*“) funkcija, kaip kad pvz. – Gauso.

Bendrai šis operatorius veikia kaip apskritimo formos briaunų detektorius [5], kuris iteratyviai, kuo toliau tuo detaliau, ieško didžiausios kreivinio integralo išvestinės, kai trys parametrai – spindulys r , bei centro taškai x_0 ir y_0 nurodo integravimo kelią [6].

Šis operatorius naudojamas tiek rainelės išorinei, tik vidinei ribai rasti. Po to, kai baigiama paieška, kuri kaip ir minėtoji 1.3.1 skyrelyje yra „*nuo grubaus iki dailaus*“ tipo, ir turimos tikslios rainelės ribos, tas pats operatorius naudojamas ir akių vokų riboms rasti. Tik šiuo atveju integravimo kelias pakaičiamas iš apskritiminio į lanko formos. Nuotraukos, kuriose, dėl akių vokų dengimo matoma mažiau nei 50% rainelės, yra laikomos netinkamomis.



9 pav. Pilnai segmentuota akies rainelė^[27]

Galutinis Daugmano segmentavimo rezultatas pateiktas 9 pav. Čia matomos išskirtos visos aktualios akies sritys, kurias jau galima naudoti tolesniems rainelės atpažinimo tikslams.

Šis metodas itin sėkmingai veikia su nuotraukomis, kuriose aiškiai matomi ryškumo skirtumai tarp vyzdžio, rainelės bei skleros. Deja, kai taip nėra, metodas tampa ne toks efektyvus. Šiai problemai spręsti galima pasitelkti paveikslėlio apdorojimo ir paruošimo sėkmingam panaudojimui Daugmano metodu algoritmus [18]. Kaip tinkamiausi tam, minimi šie:

- Histogramos suvienodinimas – kurio dėka, padidėja kontrastingumas tarp skirtingų akies regionų, taigi ir palengvinamas darbas aptikimo algoritmui;
- Binarizavimas (angl. binarization) – ribinės reikšmės nustatymas prieš „paduodant“ nuotrauką Daugmano algoritmui leidžia maksimaliai padidinti kontrastingumą tarp akies regionų. Deja, šis būdas yra smarkiai priklausomas nuo ribinės reikšmės pasirinkimo. Nuotraukoms tarpusavyje smarkiai skiriantis, ta pati ribinė reikšmė gali netikti, taigi paieškos algoritmas gali nebūti pilnai efektyvus. Taip pat, ribinės reikšmės įvedimas reiškia, kad dingsta vienas iš didžiausių Daugmano segmentavimo privalumų – vartotojo turimų nustatyti parametrų nebuvimas.

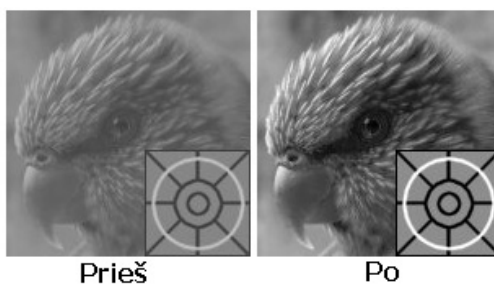
2.1.2. Wildeso metodas

1997 metais R.P Wildeso [23] aprašytas metodas, vienas iš nedaugelio kuriame nenaudojamas rainelės centras. Čia vyzdys ir rainelė lokalizuojami dviejų pakopų paieška. Visų pirma, nuotraukos ryškumo (intensyvumo) duomenys paverčiami dvimačiu kontūrų žemėlapiu (angl. *edge map*). Vėliau, šie kontūrai tikrinami kaip kandidatai būti tikraisiais rainelės kontūrais.

Kontūrų žemėlapis čia gaunamas naudojant pakankamai gerai žinomą „*Cany edge*“ algoritmą, o kandidatai į rainelių vietas ieškomi naudojant žiedinę Hough transformaciją (angl. *circular Hough transform*). *Hough* transformacijos panaudojimas rainelės radimo algoritmuose yra toks pat dažnas kaip ir pats Daugmano algoritmas, tačiau vien jo naudojimas viso Wildeso algoritmo itin sėkmingu nepadaro. Esminis jo trūkumas – priklausomybė nuo, iki paleidžiant programą reikiamu nustatyti, kontūrų radimo algoritmo ribinių reikšmių.

2.1.3. Roche ir Avilla metodas

Roche ir Avilla 2002 m. [14] aprašytas metodas yra ganėtinai panašus į originalųjį Dougmano. Gavus nespaltotą (*greyscale*) įvesties nuotrauką jai atliekamas histogramos ištempimas, dėl ko smarkiai pagerėja nuotraukos kontrastingumas. Efektas pasiekiamas koreguojant ryškumo reikšmes taip, kad būtų išnaudotas visas įmanomas diapazonas. Jei konkrečiau – mažiausiai ryškūs taškai paverčiami juodais, o labiausiai ryškūs – baltais, o po to atitinkamai (proporcingai) pakoreguojamos ir tarpinės reikšmės [29].



10 pav. Histogramos ištempimo pavyzdys^[29]

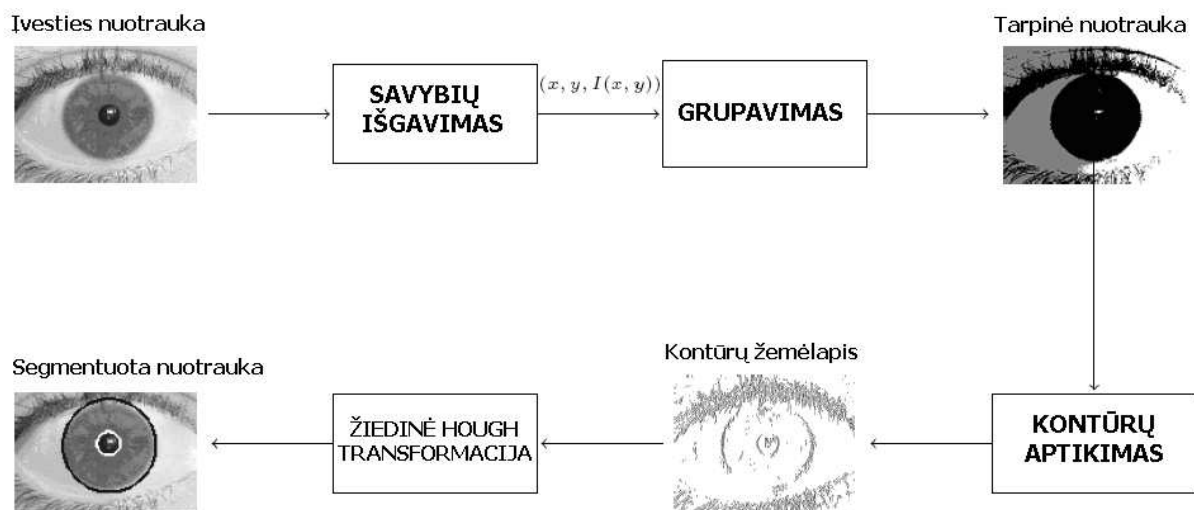
Vėliau, kaip ir daugelyje kitų metodų, ieškoma maksimali reikšmė. Čia, pagal funkciją:

$$D = \sum_m \left(\sum_{k=1}^5 (I_{n,m} - I_{n-k,m}) \right) \quad (2),$$

Kai $I_{i,j} = I(x_0 + i\Delta_r \cos(j\Delta_\Theta), y_0 + i\Delta_r \sin(j\Delta_\Theta))$, o Δ_r ir Δ_Θ yra spindulio ir kampo pokyčiai, o $I(x, y)$ - intensyvumo reikšmės.

2.1.4. Procecos metodas

Hugo Proenca 2006 [11] pasiūlė dar vieną metodą rainelės segmentavimui. Jo blokinė diagrama pateikta 11 pav. Pagrindinė idėja čia – panaikinti aptikimo tikslumo priklausomybę nuo skirtingų nuotraukų savybių. Autorius to pasiekia segmentavimo proceso viduryje generuojant tarpinį, normalizuotą paveikslėlį, kurs vėliau „paduodamas“ kontūrų detektoriui. Kadangi toks tarpinis paveikslėlis vientisesnis, turintis mažiau intensyvumo skirtumų nei tikroji akies nuotrauka, palengvinamas kontūrų detektoriaus parametrų nustatymas kas lemia tikslesnių kontūrų žemėlapių sudarymą.



11 pav. Procecos metodo blokinė schema

Procecos metode pradinis etapas – *savybių išgavimas*. Jo metu iš kiekvieno paveikslėlio taško ištraukiamos trys reikšmės – taško eilutės ir stulpelio numeriai bei intensyvumo reikšmė. Vėliau, grupavimo algoritmas grupuoja paveikslėlio taškus ir priskiria kiekvieną jų tam tikrai grupei. Taip gaunamas tarpinis paveikslėlis, kuris vėliau naudojamas kontūrų išgavimui. Kaip jau minėta, kontūrų radimui naudojamas tarpinis paveikslėlis, pasak autoriaus, turi nemažą pranašumų prieš originalo naudojimą. Jo dėka ir vėlesnė segmentavimo proceso grandinėje - žiedinė Hough transformacija atliekama tiksliau. Dėl to, kaip parodyta autoriaus tyrimuose, smarkiai pagerėja segmentavimo tikslumas ir sumažėja priklausomybė nuo nuotraukos kokybės. Pakankamai gerų rezultatų pasiekama ir su prastesnėmis, triukšmingomis nuotraukomis.

2.1.5. Camuso ir Wildeso metodas

Jau minėtas R.P. Wildesas 2002 metais, praėjus penkeriems metams nuo pirmojo metodo aprašymo, kartu su T.A. Camusu, pristatė naują algoritmą, skirtą rasti akies rainelės kontūrus iš arti darytose nuotraukose [4]. Jis neturi beveik nieko bendra su ankstesniu Wildeso metodu, tačiau yra pakankamai artimas Daugmano, kadangi esminis jo metodo žingsnis panašus – ir čia rainelės kontūras aptinkamas ieškant parametrų maksimizuojančių funkciją (3).

$$\sum_{\theta=1}^n \left((n-1) \|g_{\theta,r}\| - \left(\sum_{\phi=\theta+1}^n \|g_{\theta,r} - g_{\phi,r}\| \right) - \frac{g_{\theta,r}}{n} \right) \quad (3)$$

Kur n - kintamojo θ polinėse koordinatėse reikšmių skaičius, kuris dabartinėje autoriaus realizacijoje lygus 8. $g_{\theta,r}$ -nuotraukos intensyvumo reikšmės spindulio kryptimi išvestinė.

Skirtingai nei anksčiau aprašytuose metoduose, čia tik akies rainelė laikoma ir modeliuojama kaip apskritimas. Norint padidinti tikslumą, akies vyzdys, kuris yra mažiau taisyklingo apskritimo formos nei rainelė, yra modeliuojamas kaip elipsė (4):

$$r'_p = \frac{r_p}{(1 + \varepsilon(1 + \cos(2(\phi + \theta))))} \quad (4),$$

kur r_p lygus pusei ilgosios elipsės ašies ilgio, ϕ - trumposios ašies kampas, r'_p - spindulio ilgis (nuo elipsės taško iki jos centro kampu $\phi + \theta$), o ε - ecentriškumo (angl. *Eccentricity*) parametras.

Pirmas etapas šiame metode – atspindžių, kurie yra labai didelis trikdys rainelės segmentavimo algoritmams, naikinimas. Atspindžiai nuotraukoje aptinkami ieškant itin aukštų intensyvumo reikšmių. Tam nustatomas parametras (riba), nuo kurio taškas laikomas atspindžio tašku. Savo realizacijoje autoriai naudoja reikšmę 250 iš intervalo [0,255]. Radus visus taškus už šio intensyvumo kriterijaus, jie užpildomi gretima esančių taškų (ne atspindžių) intensyvumo reikšmėmis.

Panaikinus atspindžius ieškomi kandidatai į rainelių centrus. Tai daroma ieškant nuotraukos taškų, kurie yra lokalieji minimumai mažesnio intensyvumo taškų rinkinyje. Šiam tikslui naudojama dar viena ribinė intensyvumo reikšmė, kuri dabar nustatoma ties 128 iš [0,255] intervalo. Jos dėka atrenkami nuotraukos taškai, kurie bent teoriškai gali būti rainelių centrais. Vėliau jie ir jų kaimyniniai taškai skenuojami ir nustatoma ar tikrinamasis taškas yra lokalusis minimumas (sau gretimoje 5x5 taškų srityje).

Atlikus nuotraukos prieš-apdorojimo veiksmus, galutiniai rezultatai ieškomi atrinktus taškus „paduodant“ aukščiau esančiam operatoriui (3).

Šis metodas itin tikslus taikant jį su geros kokybės kontrastingomis nuotraukomis, taip pat su nuotraukomis, kuriose maža atspindžių ar triukšmų. Panašiai kaip ir Daugmano metodas – su prastesnės kokybės nuotraukomis jis yra mažiau efektyvus.

2.2. METODŲ PALYGINIMAS

Šaltinyje [18] pateiktas trijų iš anksčiau aprašytų metodų palyginimas/įvertinimas gautas atlikus jų bandymus. Bandymai atlikti ir su standartiniais algoritmais ir su jų modifikacijomis, pritaikius paveikslėlių apdorojimo prieš „paduodant“ aptikimo algoritmui metodus. Trumpa rezultatų santrauka pateikiama 3 lentelė. Čia pirmasis stulpelis nurodo naudotą metodą, antrasis metodui taikytas modifikacijas (arba tai, kad naudotas standartinis metodas), trečiasis ir ketvirtasis – metodo tikslumo išraišką procentais (t.y. kiek % nuotraukų aptikimas buvo sėkmingas). Penktasis stulpelis parodo skirtumą tarp pirmos ir antros bandymų sesijos, o šeštasis kitą aktualų parametą – metodo veikimo spartą. Penktasis parametras šiuo atveju ne mažiau aktualus, kadangi jis parodo kaip smarkiai metodas yra priklausomas nuo nuotraukų kokybės.

Šie rezultatai gauti, po metodų testavimo atlikus jų gautų rezultatų analizę. T.y. visų apdorotų nuotraukų peržiūrą rankiniu būdu. Nepaisant to, kad Daugmano ir Camuso/Wildeso algoritmai nėra pirmi pagal tikslumą, tai nereiškia, kad sėkminga jų realizacija negalima. Metodo efektyvumas labai priklauso nuo to, kaip paruošiama nuotrauka prieš aptikimo algoritmo paleidimą, tai leido tikėtis, kad mano realizacijoje naudojamas mišrus Daugmano Camuso/Wildeso metodas tinkamai paruošus nuotraukas aptikimui, bus nemažiau efektyvus.

3 lentelė. Akies rainelės ir jos centro taško radimo metodų palyginimas^[18]

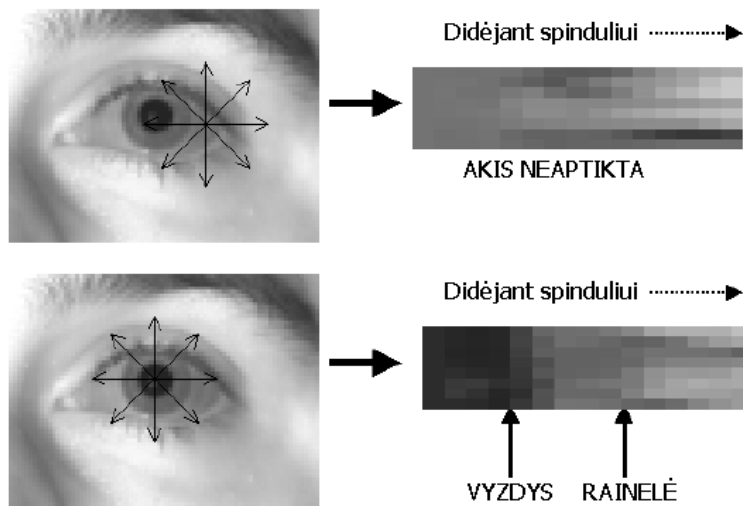
Metodas	Papildymai	Bandymas 1, %	Bandymas 2, %	Nuokrypis, %	Laikas, s
Daugmano	-	95.22 ± 0.015	88.23 ± 0.032	6.99	2.73
Daugmano	Histogramos suvienodinimas	95.79 ± 0.014	91.10 ± 0.028	4.69	3.01
Daugmano	Ribinių reikšmių prieš-apdorojimas	96.54 ± 0.013	95.32 ± 0.021	1.22	2.92
Wildeso	-	98.68 ± 0.008	96.68 ± 0.017	2.00	1.95
Wildeso	„Shen Castan“ kontūrų radimas	96.29 ± 0.013	95.47 ± 0.020	0.82	2.49
Wildeso	„Zero-Crossing“ kontūrų radimas	94.64 ± 0.016	92.76 ± 0.025	1.88	2.51
Camuso/Wildeso	-	96.78 ± 0.013	89.29 ± 0.030	7.49	3.12

2.3. SIŪLOMAS METODAS

Analizuojant aukščiau paminėtus metodus bei jų trūkumus galima tikėtis geresnių rezultatų pasiekti mišriu metodu, kuriame panaudotos stipriosios abiejų – Daugmano bei Camuso/Wildeso metodų savybės. Siūlomame metode visų pirma Camuso/Wildeso aprašytu būdu panaikinami atspindžiai nuotraukose bei ieškomi kandidatai į akių centrus, vėliau, jau Daugmano algoritmu, tikrinami anksčiau rasti kandidatai ir išrenkamas vienas laimėtojas. Tai atliekama skaičiuojant didžiausias išvestines pagal formulę (1). Siekiant didesnio tikslumo, akies vyzdys turėtų būti modeliuojamas kaip elipsė ir aprašomas taip:

$$r'_p = \frac{r_p}{(1 + \varepsilon(1 + \cos(2(\phi + \theta))))} \quad (3)$$

Dėl paprastumo ir greitesnio veikimo - rainelė, kaip ir Daugmano metode, laikoma apskritimo formos, o akies regionas reprezentuojamas polinėse koordinatėse (12 pav.).



12 pav. Akies reprezentacija polinėse koordinatėse

Siūlomu metodu bandomi spręsti visų aprašytų metodų trūkumai. Kaip rodo praktika, Daugmano metodas yra tinkamas bet kokiai rainelės atpažinimo problemai spręsti, o patobulinus jį naujomis Camuso/Wildeso idėjomis bei atpažinimo algoritmą papildžius savalaikiais nuotraukų prieš-apdorojimo algoritmais, galima pasiekti puikių rezultatų tiek veikimo greičio, tiek aptikimo tikslumo prasme. Siūlomo metodo realizacijos testavimas atliktas su dvejomis didžiausiomis akių rainelių duomenų bazėmis „CASIA“ (*Chinese Academy of Sciences*) ir „UBIRIS“ (*University of Beira*).

3. Realizacija – rainelės kontūro radimo programa

Darbo pradžioje išsikeltas tikslas - praktiškai realizuoti vieną iš rainelės segmentavimo metodų ir nustatyti kriterijus labiausiai įtakančius segmentavimo tikslumą. Kadangi vienas svarbiausių segmentavimui yra tikslus rainelės centro radimas, norėta išsiaiškinti jo įtaką visam segmentavimo procesui. Pilnas rainelės atpažinimas susideda iš grandinės veiksmų ir jei bent viena grandis joje veikia tai iškart paveikia galutinį rezultatą. Kai, kad pavyzdžiui – netikslus rainelės segmentavimas iškart gali lemti galutinio sistemos sprendimo klaidingumą, kadangi rainelės kodas bus sudarytas ne viena iš pačios rainelės, bet ir gretimų akies regionų.

Pagrindą realizacijai pasirinkti buvo nesunku, daugiausiai aprašytas, išbandytas ir realizuotas yra Daugmano metodas. Puikūs ir jo testavimo rezultatai [23] šaltinyje atliktame įvairių metodų palyginime. Iš tiesų, mano realizacijoje naudojamas metodas mišrus - kur Daugmano algoritmas yra tik pagrindas, tačiau jame pasinaudojama ir Camuso/Wildeso [4] aprašyto metodo pradine dalimi – kandidatų į rainelių centrų pozicijas ieškojimu. Visų pirma ieškomi galimi kandidatai būti rainelių centrais, atmetant tuos, kurie niekaip negali jais būti. Vėliau rastieji kandidatai „paduodami“ Daugmano integro-diferencialiniam operatoriui (1), kuris tokiu atveju turi dirbti jau su gerokai mažiau reikšmių.

3.1. Veikimas

Realizacija, atlikta naudojant „Mathworks Matlab 7.1“ programinę įrangą.

Jos rezultatas – pagrindinių rainelės regionų iš nuotraukos išskyrimas, rainelės bei vyzdžio centrų radimas, bei segmentuotos nuotraukos (su pažymėtais rainelės ir vyzdžio kontūrais) grąžinimas.

Pagrindinė programos įvestis – nuotraukos kurias reikia apdoroti;

Be jų, kaip įvesties duomenys naudojami šie, argumentai, kuriuos būtina nustatyti prieš paleidžiant pagrindinę programą:

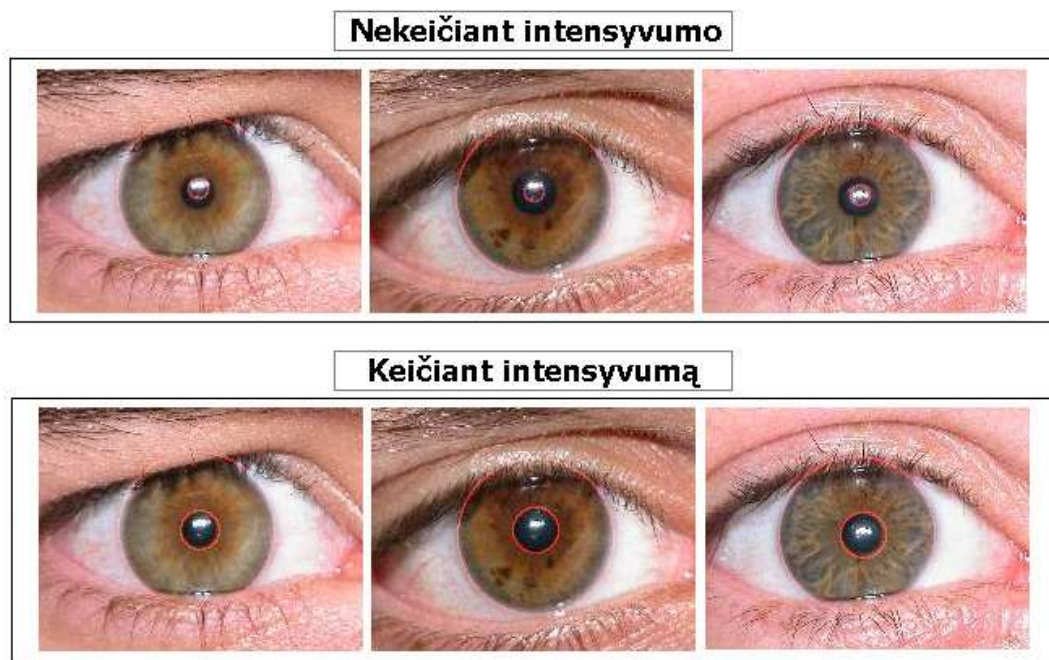
- *rmin – mažiausias galimas rainelės apskritimo spindulys*
- *max – didžiausias galimas rainelės apskritimo spindulys*

Juos reikia nustatyti priklausomai nuo turimų nuotraukų, ir pačių rainelių jose, dydžio. Kiti argumentai turi savo iš anksto nustatytas reikšmes, kurias esant reikalui galima koreguoti. Jei programos veikimo laikas yra prioritetas, o tikslumas tik antroje vietoje, yra įvestas operatorius mastelio mažinimo. Jo pagalba, nuotraukos prieš „paduodamos“ segmentavimo algoritmui yra

sumažinamos nustatytu dydžiu. Galutiniame rezultate – gražinamoje rainelės nuotraukoje su pažymėtais rainelės/vyzdžio kontūrais, nuotraukos dydis atstatomas į pradinį.

Vienas iš svarbesnių etapų norint tinkamai išskirti rainelės segmentus – atspindžių iš nuotraukos šalinimas. Akis turi natūralią savybę atspindėti šviesą, kas smarkiai apsunkina segmentavimą. Dažnai, kaip vienas iš akies regionų gali būti pažymėtas pats atspindys, o ne ieškomi – rainelė ar vyzdys. Šiam tikslui visų pirma panaudotos „Matlab“ funkcijos *imcomplement* ir *imfill*. Priklausomai nuo apdorojamų nuotraukų kokybės, kontrastingumo ir atspindžių kiekio, to gali užtekti arba ne. Su nuotraukoms iš *UBIRIS* [32] duomenų bazės to nepakanka. Itin žymūs atspindžiai ant akių vyzdžių reikalauja specialių priemonių.

Vienintelis iš išbandytų pasiteisinęs metodas – taškų su itin aukštomis intensyvumo reikšmėmis keitimas itin mažo intensyvumo reikšmėmis. Kadangi didžiausi atspindžiai rainelėse iš *UBIRIS* duomenų bazės visada yra ant vyzdžio ir komplikuoja būtent jo aptikimą (rainelės aptikimui jie didesnės įtakos neturėjo) toks intensyvumo keitimas puikiai veikė. Rezultatas toks, kad labai šviesūs taškai vyzdyje buvo pakeisti labai tamsiais (beveik juodais) taškais, kokie natūraliai būna vyzdyje.

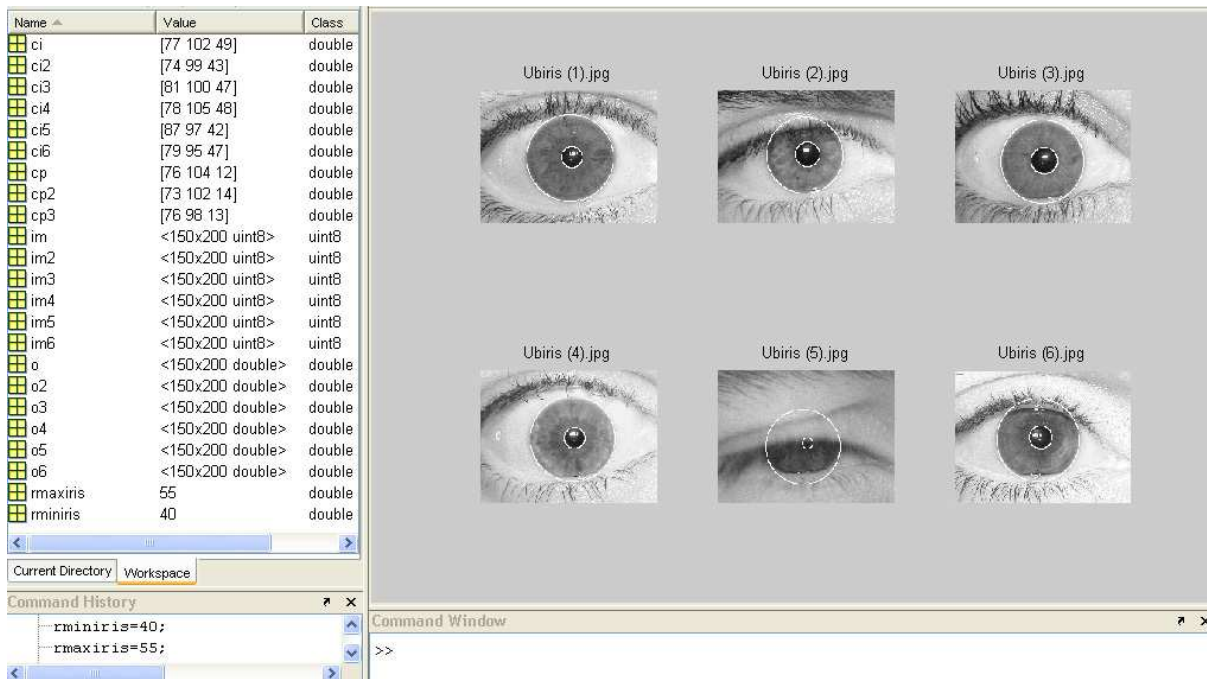


13 pav. Atspindžių naikinimo rezultatas

Pradinis rainelės segmentavimo etapas - kandidatų į rainelės centrus paieška, atliekama Camuso ir Wildeso [4] aprašytu būdu. Visų pirma nuotraukos taškai atfiltruojami pagal intensyvumą, t.y. išrenkami nuotraukos taškai, kurie neatitinka nustatyto intensyvumo kriterijaus ($I < 0.5$). Jis gali būti koreguojamas pagal situaciją, tačiau standartinė reikšmė nustatyta ties 0.5 (iš

intervalo nuo 0 iki 1, kur 0 reiškia tamsiausią, o 1 – šviesiausią tašką). Be to, atmetami visi taškai kurie niekaip negali būti rainelės centrais. Tai taškai esantys nuotraukos kraštuose, tokie, kurie yra arčiau krašto, nei kad nurodytas mažiausias įmanomas rainelės apskritimo spindulys (r_{min}).

Po šių filtravimų likę nuotraukos taškai tikrinami kaip galimi kandidatai į akies rainelės centro tašką. Iš pradžių taškas tikrinamas su gretimai esančiais, žiūrint ar jis yra lokalusis minimumas. Taškai nesantys lokaliaisiais minimumais savo artimiausioje aplinkoje - ištrinami.



14 pav. Programos rezultatų langas, kai saugoma ne kataloge

Sumažinus reikiamų tikrinti taškų skaičių, atrinktieji „paduodami“ Daugmano integro-diferencialiniam operatoriui (1):

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

Po akių rainelių ir vyzdžių aptikimo, į ekraną išvedamos nuotraukos, kuriose pažymėti rainelės ir vyzdžio kontūrai. Vyzdžio ir rainelės centrų koordinatės išsaugomos atmintyje. Jos taip pat, esant reikalui, gali būti išvestos į ekraną.

Kai nuotraukų, kurias reikia apdoroti, kiekis itin didelis – jų išvestis atliekama į kompiuterio katalogą.

3.1. REALIZACIJOS TOBULINIMO PLANAI

Pagrindinis dabartinės realizacijos trūkumas – „draugiškos“ vartotojo sąsajos nebuvimas, bei netobulas nuotraukų apdirbimas prieš „paduodant“ jas akių regionų aptikimo algoritmui. Šios problemos bus sprendžiamos tolimesnėje darbo eigoje.

Tolimesnė darbo eiga:

- Draugiškos vartotojo sąsajos sukūrimas
- Papildomų nuotraukų apdorojimo prieš „padavimą“ aptikimui, bandymas ir pritaikymas, aptikimo tikslumo optimizavimui
- Testavimas atmetant iš rainelių duomenų bazių atmetant netinkamos kokybės nuotraukas.

3.2. AKIŲ RAINELIŲ DUOMENŲ BAZĖS

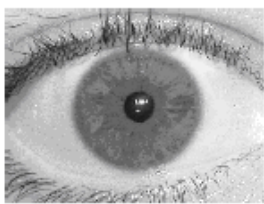
Bet kurio iš metodų realizacija neįmanoma be akių nuotraukų duomenų bazės testavimui ir efektyvumo įvertinimui. Bent kiek tikslesniems rezultatams gauti reikia atlikti bandymus su itin dideliu kiekiu skirtingų nuotraukų. Joms gauti reikia ne tik begalės laiko, bet ir specialios įrangos [28].



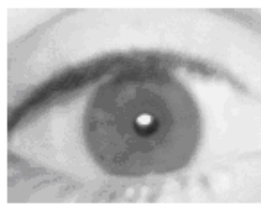
15 pav. Rainelių nuotraukos į „CASIA“ duomenų bazę patenka specialios įrangos dėka

Šiuo metu daugiau mažiau viešai prieinamos ir nemokamos yra šešios akių nuotraukų duomenų bazės:

- *MMU (Multimedia University)*
- *BATH (University of Bath)*
- *ICE (Iris Challenge Evaluation)*
- *WVU (West Virginia University)*
- *CASIA (Chinese Academy of Sciences)*
- *UBIRIS (University Of Beira)*



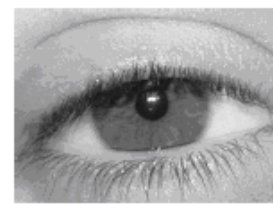
(a) *Geros kokybės*



(b) *Prastai sufokusuota*



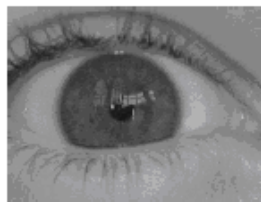
(c) *Rainelę dengia vokai*



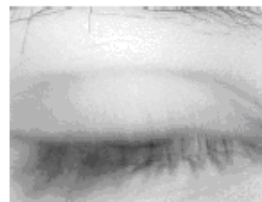
(d) *Rainelę smarkiai dengia vokai*



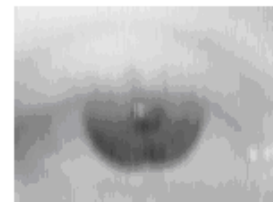
(e) *Stiprūs atspindžiai*



(f) *Stiprūs atspindžiai*



(g) *Sumirksėta*



(h) *Fotografuota judesyje*

16 pav. Nuotraukų iš „UBIRIS“ duomenų bazės pavyzdžiai^[11]

Mano realizacijos bandymai buvo atlikti su dviem labai skirtingomis, „UBIRIS“ ir „CASIA“ duomenų bazėmis. Geriausių rezultatų pasiekama buvo tik su kokybiškomis nuotraukomis, kuriose ne itin daug triukšmų, pakankamai geras kontrastingumas ir rainelė nedaug neuždengta akių vokais.

3.2.1. „UBIRIS“

„UBIRIS“ duomenų bazėje pateikiamos ne vien geros kokybės akių rainelių nuotraukos. Taip yra dėl to, kad būtų galima nustatyti metodų tikslumo priklausomybę nuo nuotraukų kokybės.

„UBIRIS“ techniniai duomenys:

- Nuotraukos darytos fotoaparatu: „Nikon E5700“
- Židinio nuotolis: 71 mm
- Išlaikymas: 1/30 sek.
- ISO jautrumas: 200
- Originalų rezoliucija: 2560x1704 taškų
- Pateikiamų parsisiuntimui, apdorotų nuotraukų rezoliucija ir spalvų reprezentacija:
 - 800 x 600 - 24 bit spalvos
 - 200 x 150 - 24 bit spalvos
 - 200 x 150 - juodai baltos
- Formatas: JPEG
- Rainelių nuotraukų skaičius: 1876
- Skirtingų rainelių skaičius: 241

Duomenų bazės kūrėjai pateikia tokį, joje esančių nuotraukų kokybės įvertinimą. Jis gautas atliekant nuotraukų peržiūra rankiniu būdu, kai kiekviena nuotrauka įvertinta pagal tris kriterijus.

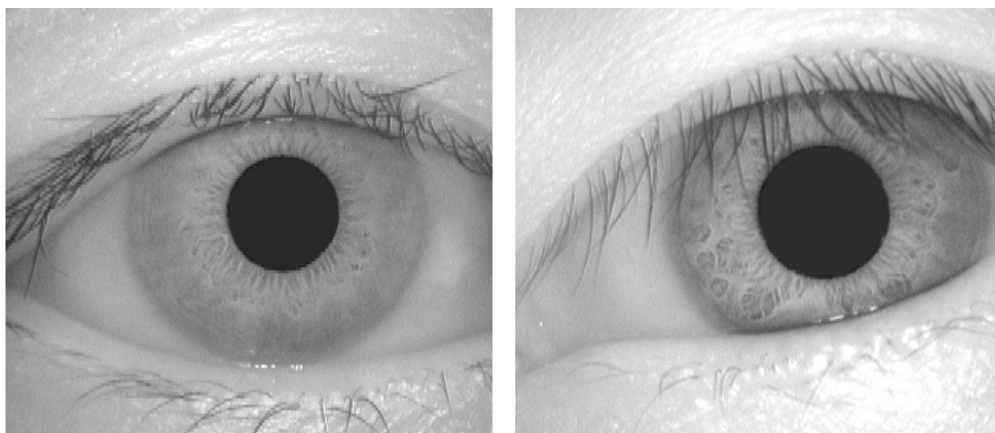
4 lentelė. Nuotraukų „UBIRIS“ duomenų bazėje kokybė

	Gera	Vidutiniškai	Blogai
Sufokusuota	73.83%	17.53%	8.63%
Atspindžiai	58.87%	36.78%	4.34%
Rainelė matoma	36.73%	47.83%	15.44%

3.2.2. „CASIA“

Kinijos Mokslių Akademijos Automatizavimo instituto rainelių duomenų bazė „CASIA“ sukurta visiškai kitu principu nei „UBIRIS“. Rainelių nuotraukos čia išgautos specialiai šiam tikslui sukonstruotomis kameromis su indra-raudonųjų spindulių apšvietimu. Nuotraukų kokybė yra gera arba labai gera, nėra prastai sufokusuotų, ar judesyje padarytų nuotraukų. Tačiau yra tokių, kur rainelė matoma ne visiškai (pridengta akių voku). Šis faktas leidžia išsiaiškinti metodų priklausomybę nuo ne visiško rainelės matomumo.

Duomenų bazėje 1512 rainelių nuotraukų, kuriose skirtingų rainelių – 108. Kiekviena rainelė nufotografuota septynis kartus, dvejose skirtingose fotografavimo sesijose. Nuotraukos, kaip ir „UBIRIS“ rinkinyje, yra pateikiamos jau apdorotos. Jose – labai artima akies nuotrauka su jau panaikintais vyzdžio atspindžiais. Pirmojoje duomenų bazės versijoje kūrėjai pateikia 320x280 rezoliucijos BMP formato nuotraukas.



17 pav. „CASIA“ rainelių pavyzdžiai

4. Testavimas, veikimo įvertinimas

Programos testavimas buvo atliekamas su nuotraukomis iš „UBIRIS“ ir „CASI“ duomenų bazių. Iš viso programa išbandyta su 3388 skirtingomis rainelių nuotraukomis. Bendras testavimo metu išsaugotų apdorotų nuotraukų skaičius – 27104 (po 8 bandymus su 1876 „UBIRIS“ ir 1512 „CASI“ nuotraukų). Bandymo metu segmentuotos ir išsaugotos nuotraukos buvo peržiūrimos rankiniu būdu tikrinant ar teisingai aptikti bei nuotraukoje pažymėti rainelė ir vyzdys. Tais atvejais, kai testavimo sesija buvo akivaizdžiai nesėkminga (neteisingų aptikimų buvo daugiau nei pusė), jos rezultatai buvo laikomi nepriimtinais ir kiekviena nuotrauka detaliai peržiūrima nebuvo. Tokių nesėkmingų ir jokių rezultatų nedavusių bandymų rezultatai čia nepateikiami.

Testavimo tikslai:

- Išsiaiškinti realizacijos tikslumą
- Išsiaiškinti, kaip rainelės segmentavimo procesą įtakoja nuotraukos mastelio mažinimas
 - Aptikimo tikslumo kriterijus
 - Aptikimo greičio kriterijus
- Išsiaiškinti kaip smarkiai naudojamas metodas yra priklausomas nuo nuotraukų kokybės
- Išsiaiškinti skirtingų nuotraukos prieš-apdorojimo metodų įtaką tikslumui. Nustatyti tinkamiausius.
- Išsiaiškinti atspindžių šalinimo metodo, kai keičiami taškai su didžiausiu intensyvumu, įtaką segmentavimo tikslumui

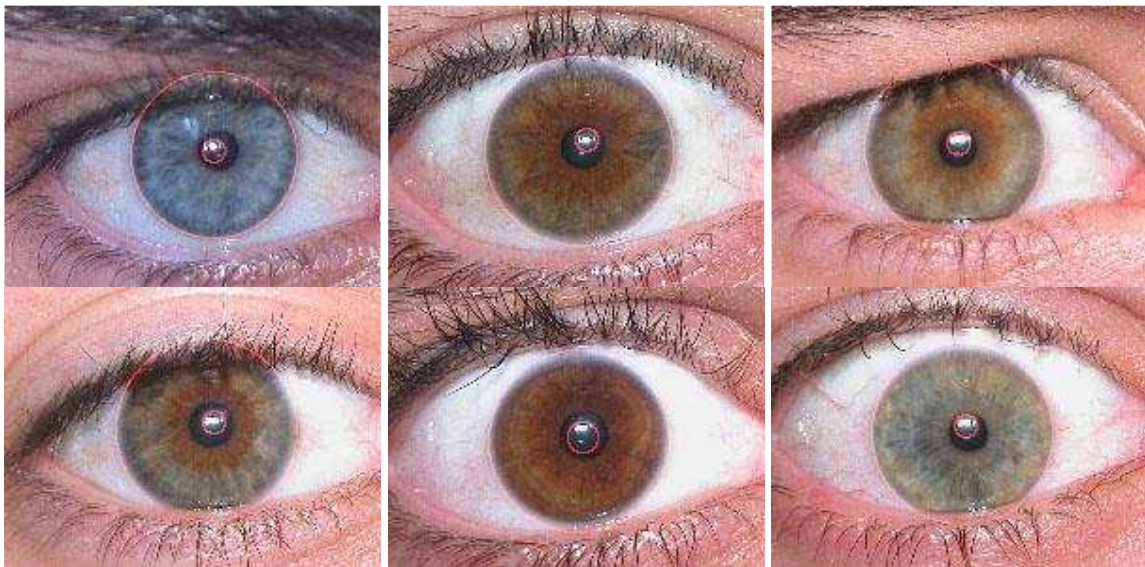
4.1. TESTAVIMAS SU RAINELĖMIS IŠ „UBIRIS“ DUOMENŲ BAZĖS

5 lentelė. Testavimo su nuotraukomis iš „UBIRIS“ duomenų bazės rezultatai

PARAMETRAI	BANDYMAS					
		1	2	3	4	5
	Duomenų bazė	UBIRIS	UBIRIS	UBIRIS	UBIRIS	UBIRIS
	Nuotraukų rezoliucija / formatas	200 x 150 JPEG	200 x 150 JPEG	200 x 150 JPEG	200 x 150 JPEG	200 x 150 JPEG
	Nuotraukų skaičius	1876	1876	1876	1876	1876
	Ribinė intensyvumo reikšmė	I<0.5	I<0.5	I<0.5	I<0.2	I<0.5
	Rmin	40	40	40	40	40
	Rmax	55	55	55	55	55
	Mastelis	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	Normalizavimo metodas	Hist. ištempimas	Hist. ištempimas	Hist. ištempimas	Hist. ištempimas	Hist. vienodinimas
	Atspindžių šalinimo metodas	Imfill	-	Imfill	Imfill	Imfill
Atspindžių šalinimo metodas II	I>0.95 -> I=0.05	-	I>0.95 -> I=0.05	I>0.95 -> I=0.05	I>0.95 -> I=0.05	
REZULTATAI	1-os nuotraukos apdorojimo trukmė	6,75 sek	1,8 sek	1,65 sek	1,5 sek	1,8 sek
	Tėisingų rainelės aptikimų sk.	1835	1837	1833	1833	<50%
	Neteisingų rainelės aptikimų sk. / %	41 / 2,19 %	39 / 2,08 %	43 / 2,29 %	43 / 2,29 %	>50%
	Tėisingų vyzdžio aptikimų sk.	1585	1472	1388	1456	<50%
	Neteisingų vyzdžio aptikimų sk. / %	15,51%	21,53%	26,01%	22,39%	>50%

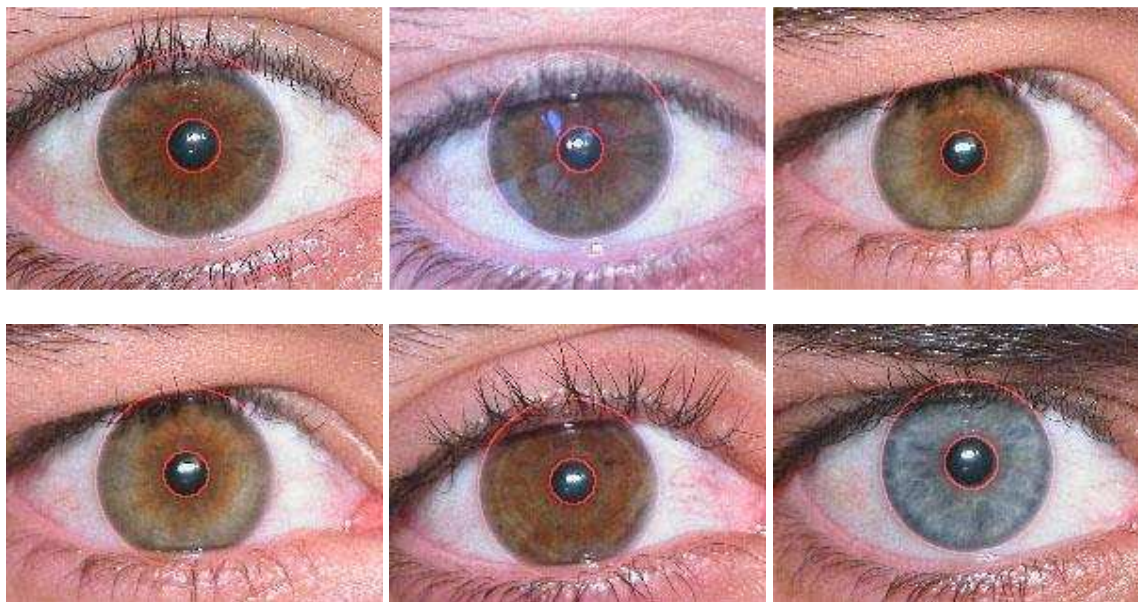
Testuojant programą su „UBIRIS“ rainelėmis išryškėjo realizacijos priklausomybė nuo prieš programą nustatomų reikšmių bei nuotraukos normalizavimo metodo pasirinkimo. Netikslus jų nustatymas galėdavo lemti visiškai nepriimtina jos veikimą (pvz. 5 lentelė, 5 bandymas).

„UBIRIS“ rainelės turi kelis didelius trūkumus. Jose gausu atspindžių, kuriuos naikinti ne taip paprasta, o paliekant – jie patys gali būti įvertinti kaip vienas iš akies regionų (dažniausiai vyzdys) 18 pav.



18 pav. Neteisingi aptikimai dėl atspindžių įtakos

Atspindžiai nuo traukose buvo šalinami naudojant kelias metodikas. Visų pirma, *Matlab* programos funkcija „*imfil*“, kuri tinkamų rezultatų nedavė. Pasiteisinusi idėja - atspindžių naikinimas keičiant itin intensyvius taškus visiškai neintensyviais. Tai davė šiokių tokių rezultatų, tačiau programos klaidingų aptikimų skaičius dar galėtų būti mažesnis. Kaip jau minėta, yra didelė priklausomybė nuo reikiamų nustatyti parametrų, taigi, kad norimą tikslumą reikia atidžiai išanalizuoti (rankiniu būdu) turimas nuotraukas ir parametrus keisti pagal jas.



19 pav. Atspindžių panaikinimas galutinėje nuotraukoje nematomas, tačiau efektas akivaizdus

Apibendrinant 5 lentelėje pateiktus bandymų rezultatus, galima teigti, kad mastelio mažinimas aptikimo tikslumui didelės įtakos neturi, tačiau turi milžiniškos įtakos programos veikimo greičiui. Nuotrauka sumažinus perpus – veikimo greitis padidėjo daugiau nei tris kartus. Atspindžių naikinimas tuo tarpu, atvirkščiai – greičio beveik neįtakoję, tačiau gerokai pagerino vyzdžio aptikimo tikslumą. Bene ryškiausiai matomas skirtumas rezultatuose, kai nuotraukos normalizavimui buvo pasirinktas ne histogramos ištempimas, o vienodinimas. Tokiu atveju rezultatai buvo nepriimtini (netikslių aptikimų daugiau nei 50%).

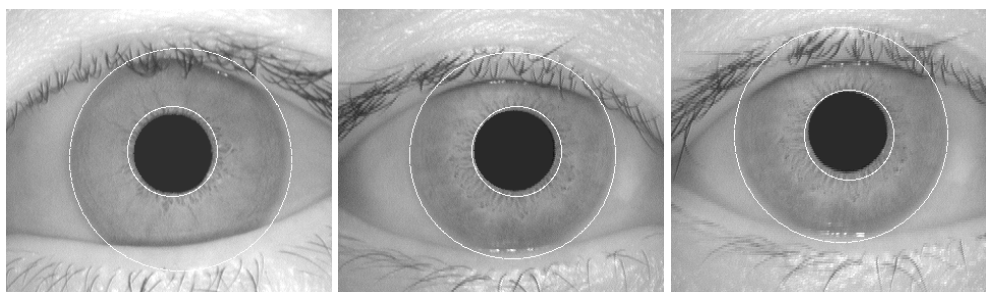
Aukščiausias su „*UBIRIS*“ rainelėmis pasiektas rainelės kontūro aptikimo tikslumas – 97,92%. Vyzdžio kontūro - 84.49%. Atsižvelgiant į tai, kad daugiau nei 15% duomenų bazėje esančių nuotraukų rainelė yra matoma blogai, dar 8,63% yra blogai sufokusuotos, o 4,34% su labai stipriais atspindžiais (4 lentelė), metodą ir jo realizaciją galima laikyti tiksliais.

4.2. TESTAVIMAS SU RAINELĖMIS IŠ „CASIA“ DUOMENŲ BAZĖS

6 lentelė. Testavimo su nuotraukomis iš „CASIA“ duomenų bazės rezultatai

PARAMETRAI	BANDYMAS					
		1	2	3	4	5
	Duomenų bazė	CASIA	CASIA	CASIA	CASIA	CASIA
	Nuotraukų rezoliucija / formatas	320 x 280 BMP	320 x 280 BMP	320 x 280 BMP	320 x 280 BMP	320 x 280 BMP
	Nuotraukų skaičius	1512	1512	1512	1512	1512
	Ribinė intensyvumo reikšmė	I<0.5	I<0.5	I<0.5	I<0.5	I<0.2
	Rmin	85	85	85	85	85
	Rmax	140	140	140	140	140
	Mastelis	0.5	0.25	0.25	0.5	0.5
	Normalizavimo metodas	Hist. vienodinimas	Hist. vienodinimas	Hist. vienodinimas	-	Hist. vienodinimas
	Atspindžių šalinimo metodas	Imfill	Imfill	-	-	Imfill
Atspindžių šalinimo metodas II	-	-	-	-	-	
REZULTATAI	1-os nuotraukos apdorojimo trukmė	11,4 sek	2,5 sek	2,4 sek	10,2 sek	10,2 sek
	Teisingų rainelės aptikimų sk.	1365	<50%	<50%	<50%	1368
	Neteisingų rainelės aptikimų sk. / %	147 / 9,72%	>50%	>50%	>50%	144 / 9,52%
	Teisingų vyzdžio aptikimų sk.	1325	<50%	<50%	<50%	1337
	Neteisingų vyzdžio aptikimų sk. / %	187 / 12,37%	>50%	>50%	>50%	175 / 11,57%

Eksperimentai su „CASIA“ duomenų bazės rainelėmis leido patikslinti kelias išvadas padarytas su „UBIRIS“. Mastelio keitimas ir čia pasirodė efektyvus laiko atžvilgiu – veikimo laikas sumažėjo daugiau nei keturis kartus. Tačiau skirtingai nei su „UBIRIS“ rainelėmis, čia jis smarkiai įtakojo aptikimo tikslumą. Naudojant keturis kartus sumažintą nuotrauką, rainelių aptikimo tikslumas beveik nepakito, o vyzdžių aptikimas nors ir nebuvo visiškai netikslus, tačiau dažniau nei kas antroje nuotraukoje bent keliais taškais „pro šalį“ – 20 pav.

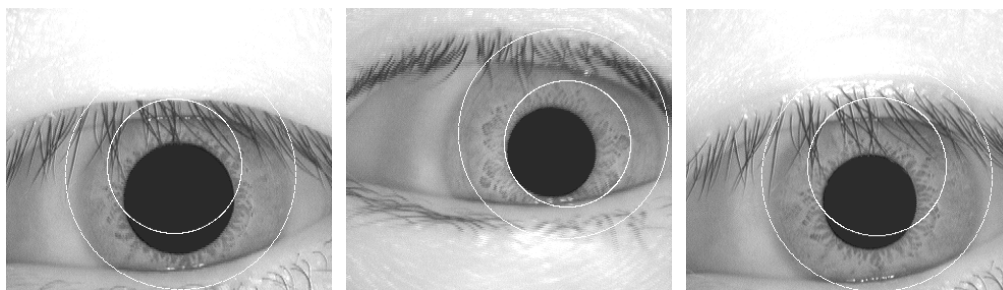


20 pav. Šiek tiek netikslūs aptikimai sumažinus mastelį

Kitaip nei su „UBIRIS“, „CASIA“ nuotraukose dažnai netinkamai buvo aptinkamos pačios rainelės. Tam įtakos turi tai, kad rainelės šioje duomenų bazėje yra dažniau pridengtos akių vokų ar blakstienų. Pastarosios, jei „UBIRIS“ nuotraukose visiškai nežymios, tai čia labai aiškiai matomos, kartais net dengiančios pusę akies.

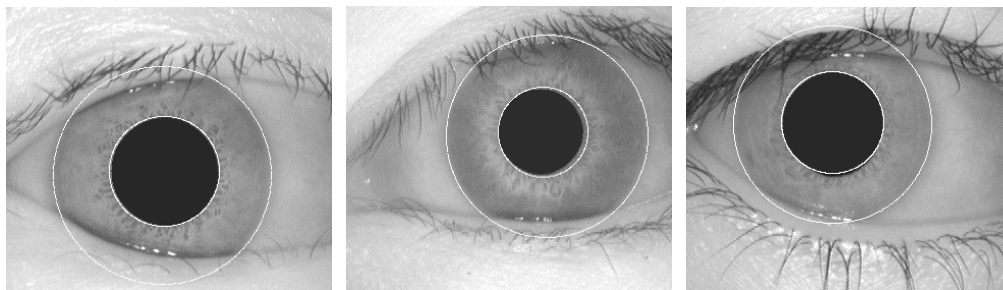
Išaiškėjo ir didelė programos veikimo greičio priklausomybė nuo nuotraukos rezoliucijos ir formato. Su *BMP* formato, beveik dvigubai didesnėmis nei „*UBIRIS*“ - 320 x 280 rezoliucijos, nuotraukomis, jis buvo ženkliai ilgesnis. Vienos nuotraukos apdorojimo laikas prieš apdorojimą sumažinant jos mastelį perpus, pasirodė beveik dvigubai ilgesnis nei su nemažinamomis (200 x 150) „*UBIRIS*“ nuotraukomis.

Aukščiausias pasiektas tikslumas su „*CASIA*“ – 90,48% rainelės kontūrai ir 88,43% vyzdžio kontūrai. Toks rezultatas, kadangi ženkliai besiskiriantis nuo „*UBIRIS*“, rodo, kad metodas stipriai priklausomas nuo nuotraukų su kuriomis jis taikomas. Mažesnę tikslumą didžiąją dalimi yra įtakojo jau aukščiau minėtos „*CASIA*“ nuotraukų savybės – akių vokų ir blakstienų dengimas.



21 pav. Neaptikimai dėl pridengtos rainelės

Tais atvejais, kai jis nebuvo žymus, rainelė ir vyzdys buvo aptinkami tinkamai.



22 pav. Kai rainelė matoma gerai, aptikimas tikslus

5. Išvados

Darbe atlikta rainelės kontūrų aptikimo metodų, skirtų rainelės atpažinimui analizė. Įsigilinus į populiariausiųjų – Daugmano, Wildeso, Camuso/Wildeso, Wildeso, Procecos ir Roche/Avillos metodus, nustatyti kiekvieno iš jų privalumai ir trūkumai, bei pasiūlytas naujas metodus, kuriame sujungiamos stipriausios Daugmano ir Camuso/Wildeso rainelių segmentavimo metodikos.

Naujasis metodas realizuotas praktikoje, naudojant „*Mathworks Matlab 7.1*“ programinę įrangą. Jo testavimas atliktas su 3388 skirtingomis nuotraukomis iš dviejų populiariausių rainelių duomenų bazių „*UBIRIS*“ ir „*CASIA*“. Atlikus 16 bandymų, kurių metu apdorota 27104 nuotraukų, nustatyta, kad :

1. Rainelės kontūrų aptikimo procesas smarkiai priklausomas nuo turimų rainelių nuotraukų kokybės. Prastai sufokusuotose, judesyje darytose nuotraukose, ar tokiose, kuriose akies rainelę ar vyzdį smarkiai dengia akies vokas ar blakstienos – tinkamas aptikimas beveik neįmanomas.
2. Aptikimo tikslumą ypač lemia nuotraukos paruošimas apdorojimui. Didelio tikslumo neįmanoma pasiekti naudojant tik esminius Daugmano dar 1993-iaisiais aprašytus principus. Būtinai jų normalizavimas (vienodinat, lyginant histogramą ir pan..) bei atspindžių jose šalinimas.
3. Nėra vieno būdo tinkamai paruošti nuotraukas rainelės kontūrų radimui. Skirtingu būdu darytoms nuotraukoms būtina parinkti ir skirtingus paruošimo būdus. Bandymų metu nustatyta, kad geriausių rezultatų su „*UBIRIS*“ rainelėmis duoda histogramos ištempimas bei atspindžių šalinimas keičiant nuotraukos taškų intensyvumo reikšmes. Su „*CASIA*“ – tik histogramos suvienodinimas.
4. Nuotraukos mastelio sumažinimas prieš „padavimą“ segmentavimo algoritmui yra galimas tik iki tam tikros ribos. Ją nustatyti galima tik bandymu su konkrečiomis turimomis nuotraukomis. Mano realizacijos bandymuose nuotraukos sumažinimas perpus, bent tris kartus pagreitino programos veikimą, o tikslumą lėmė ne taip žymiai.
5. Pasiūlytas metodas yra tikslus ir gali būti sėkmingai naudojamas su pakankamos kokybės, ryškiomis, kontrastingomis nuotraukomis, kuriose rainelės yra gerai matomos.

Literatūra

1. Adler F. H., Physiology of the eye: Clinical application, 1965.
2. Bowyer, K.W., Hollingsworth, K.P., Flynn, P.J., Image Understanding for Iris Biometrics: A survey, 2008, pp. 281-307.
3. CAMPADELLI P., LANZAROTTI R., LIPORI G. Eye localization: a survey, 2007.
4. Camus, T.A., Wildes, R.P., Reliable and fast eye finding in closeup images, 2004.
5. Daugman, J. How iris recognition works. IEEE Trans., 2004, pp. 21 - 30.
6. Daugman, J. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 15(11), 1993. pp. 1148-1161.
7. Delac K., Grgic M., Face Recognition Book. 2007.
8. Fan, W., Wang, Y.H., Tan, T.N., Video-Based Face Recognition Using Bayesian Inference Model, 2005.
9. Flom L., Safir A., Iris recognition system, JAV patentas 4,641,349, 1987.
10. Hamouz M., Kittler J., Kamarainen J.K., Paalanen P., Kälviäinen H., Matas J., Feature-based affine invariant localization of faces 2005.
11. Hugo Pedro Martins Carrico Proenca, Towards Non-Cooperative Biometric Iris Recognition 2006.
12. Jesorsky O., Kirchberg K.J., Frischholz R.W. Robust face detection using the hausdorff distance 2001.
13. Ma Y., Ding X., Wang Z., and Wang N., Robust precise eye location under probabilistic framework 2004.
14. Martin-Roche, D., Sanchez-Avila, C., Sanchez-Reillo, Iris recognition for biometric identification using dyadic wavelet transform zero-crossing 2002.
15. Niu Z., Shan S., Yan S., Chen X., Gao W., 2D Cascaded AdaBoost for Eye Localization. 2006.
16. Phillips J. P., Scruggs T. W., O'Toole A., Flynn P.J., Bowyer K.W., Schott C.L., Sharpe M. FRVT 2006 and ICE 2006 - Large-Scale Experimental Results, 2006.
17. Phillips P.J., Flynn P.J., Scruggs T., Bowyer K.W., Chang J., Hoffman K., Marques J., Min J., Worek W., Overview of the Face Recognition Grand Challenge 2005.

18. Proneca H., Alexandre L.A., Iris segmentation methodology for non-cooperative recognition 2006.
19. Rohen J. Morphology and pathology of the trabecular meshwork, 1961.
20. Tang X., Ou Z., Su T., Sun H., Zhao P., Robust Precise Eye Location by AdaBoost and SVM Techniques 2005.
21. Wang P., Green M., Ji Q., Wayman J., Automatic eye detection and its validation. 2005.
22. Wheeler, F.W. Perera, A.G.A., Abramovich, G., Yu, B., Tu, P.H., Stand-off Iris Recognition System, 2008.
23. Wildes, R.P., Iris recognition: an emerging biometric technology 1997.
24. Zhao W., Chellappa R., Phillips P.J., ir Rosenfeld A., Face recognition: A literature survey 2003.
25. Zhiwei Zhua, Qiang J. Robust real-time eye detection and tracking under variable lighting conditions and various face orientations. 2007.

Internetas:

26. Adsoftheworld tinklapis: http://adsoftheworld.com/media/ambient/lenovo_face_recognition
27. Asmeninis Johno Daugmano puslapis Kembridžo universiteto tinklapyje: <http://www.cl.cam.ac.uk/users/jgd1000>
28. “CASIA“ duomenų bazės puslapis: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>
29. Informacija apie histogramos ištempimą: <http://colmertech.com/support/help/pixamajig1/ImageHistogramStretch.htm>
30. JAV Nacionalinio Standartų ir Technologijų Instituto, ICE projekto tinklapis: <http://iris.nist.gov/ice/>
31. Jonaitis A. Straipsnis Akys nemeluoja, pirštai garantuoja (2 dalis). 2008. <http://www.elektronika.lt/articles/knowledge/10120>
32. UBIRIS v1 rainelių duomenų bazės puslapis: <http://iris.di.ubi.pt/ubiris1.html>