



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

KOMPIUTERIJOS IR RYŠIŲ TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

Ryšard Suboč

METODŲ PIRŠTŲ ATSPAUDAMS ATPAŽINTI ANALIZĖ IR TYRIMAS
RESEARCH OF FINGERPRINT RECOGNITION METHODS

Baigiamasis magistro darbas

Kompiuterių inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H69001

Kompiuterių technologijos specializacija

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2018



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
KOMPIUTERIJOS IR RYŠIŲ TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

Ryšard Suboč

METODŲ PIRŠTŲ ATSPAUDAMS ATPAŽINTI ANALIZĖ IR TYRIMAS
RESEARCH OF FINGERPRINT RECOGNITION METHODS

Baigiamasis magistro darbas

Kompiuterių inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H69001

Kompiuterių technologijų specializacija

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Nerijus Paulauskas
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

 2018-05-25
(Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. dr. Anželika Gaidienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

 2018-05-24
(Parašas) (Data)

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
KOMPIUTERIJOS IR RYŠIŲ TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

Elektronikos inžinerijos studijų kryptis
Kompiuterių inžinerijos studijų programa
Kompiuterių technologijų specializacija

TVIRTINU
Kompiuterijos ir ryšių technologijų katedros
vedėjas
prof. Algirdas Baškys
201 m. mėn. d.

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS
2016-10-03

Studentui (ei) **Ryšard Suboč**

(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema:

Metodų pirštų atspaudams atpažinti analizė ir tyrimas

(lietuvių kalba)

Research of Fingerprint Recognition Methods

(anglų kalba)

Patvirtinta 201 6 m. lapkričio mėn. 11 d. dekanų įsakymu Nr. 406el

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2018 m. birželio mėn. 01 d.

Darbo tikslas: Ištirti kaip pirštų atspaudų atpažinimo tikslumas priklauso nuo atspaudų nuskaitymo būdo, taikomo atpažinimo metodo, bei piršto odos paviršiaus būklės.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Apžvelgti pirštų atspaudų nuskaitymui taikomus būdus ir priemones.
2. Išanalizuoti požymius naudojamus pirštų atspaudams atpažinti.
3. Ištirti kaip piršto atspaudų atpažinimo tikslumas priklauso nuo atspaudų nuskaitymo būdo ir atpažinimui taikomo metodo.
4. Ištirti kaip atspaudų atpažinimo tikslumas priklauso nuo nuskaityto piršto atspaudų ploto.
5. Ištirti kaip atspaudų atpažinimo tikslumas priklauso nuo piršto odos paviršiaus būklės.
6. Išanalizuoti ir aprašyti gautus tyrimo rezultatus.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(vardas, pavardė, mokslinis laipsnis ir vardas)

Vadovas:

(parašas)

Užduotį gavau:

(studento parašas)

Doc. dr. Nerijus Paulauskas

(vardas, pavardė, mokslinis laipsnis ir vardas)

2016-05-28

(data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Elektronikos fakultetas
Kompiuterijos ir ryšių technologijų katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. 1
Data ..2018-05-25..

Antrosios pakopos studijų **Kompiuterių inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Pirštų atspaudų atpažinimo metodų analizė ir tyrimas**

Autorius **Ryšard Suboč**

Vadovas **Nerijus Paulauskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe tiriama pirštų atspaudų atpažinimo problema. Darbo teorinėje dalyje aprašomos technologijos pirštų atspaudams nuskaityti ir metodai pirštų atspaudams atpažinti. Tyrimams atlikti specialia programine įranga sugeneruotos dirbtinių pirštų atspaudų duomenų bazės. Tiriama dalyje, naudojant detalėmis pagrįstą pirštų atspaudų atpažinimo metodą, atliekami pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo tyrimai, kurie priklauso nuo pirštų atspaudų vaizdo kokybės, paviršiaus ploto, pasukimo kampo ir nuskaitymo būdo. Pateikiami pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo tyrimo rezultatai taikant du skirtingus pirštų atspaudų panašumo lygio nustatymo metodus. Darbo pabaigoje formuluojamos išvados, pateikiamas literatūros sąrašas. Darbo apimtis: 68 puslapiai be priedų, 54 iliustracijos, 8 lentelės ir 20 literatūros šaltinių. Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: Piršto atspaudas, pirštų atspaudų atpažinimas, biometrinė sistema, MCC metodas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Electronics
Department of Computer Science and Communications Technologies

ISBN ISSN
Copies No. 1
Date 2018-05-25

Master Degree Studies **Computer Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Research of Fingerprint Recognition Methods**

Author **Ryšard Suboč**

Academic supervisor **Nerijus Paulauskas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

Fingerprint recognition methods were investigated in the master thesis. The review section of the thesis describes fingerprint scanning techniques and methods for fingerprint recognition. To investigate fingerprints recognition accuracy databases of artificial fingerprints were created. The research section of thesis presents the results of fingerprints recognition accuracy depending on the quality of the fingerprints image, surface area, angle of rotation, and scan mode using minutiae based fingerprint recognition method. Additionally the results of the fingerprint recognition accuracy using two different methods for determining the degree of similarity of fingerprints are presented. At the end the results are summarized, references are presented. This paper contains 68 pages of text without appendices, 54 pictures, 8 tables and 20 references. Appendixes included.

Keywords: Fingerprint, fingerprint recognition, biometric system, MCC method.

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Ryšard Suboč, 20113256

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Kompiuterių inžinerija, KTfm-16

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2018 m. gegužės 25 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Pirštų atspaudų atpažinimo metodų analizė ir tyrimas“ patvirtintas 2016 m. lapkričio 11 d. dekanų potvarkiu Nr. 406el, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas doc. dr. Nerijus Paulauskas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).


(Parašas)

Ryšard Suboč
(Vardas ir pavardė)

TURINYS

IVADAS.....	12
Darbo aktualumas ir tikslas	12
Darbo uždaviniai	12
Naudoti tyrimo ir analizės metodai	12
Darbo struktūra.....	13
1. Pirštų atspaudų nuskaitymo technologijų apžvalga	14
1.1. Piršto atspaudų paviršiaus struktūra	14
1.2. Optiniai jutikliai.....	15
1.3. Kieto paviršiaus jutikliai.....	16
1.4. Ultragarso jutikliai	17
1.5. Skyriaus apibendrinimas.....	18
2. Metodų pirštų atspaudams atpažinti apžvalga.....	19
2.1. Detalėmis pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas	19
2.2. „Minutia Cylinder-Code“ pirštų atspaudų atpažinimo metodas.....	22
2.3. Kauburėlių požymiais pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas	26
2.4. Skyriaus apibendrinimas.....	29
3. Testavimo duomenų atranka	30
4. Detalėmis pagrįsto pirštų atspaudų atpažinimo metodo algoritmas	32
4.1. Algoritmo struktūrinė schema	33
4.2. Skyriaus apibendrinimas.....	34
5. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo piršto odos paviršiaus būklės	35
5.1. Duomenų bazių paruošimas.....	35
5.2. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo kriterijus	36
5.3. Pirminis piršto atspaudų vaizdo apdorojimas.....	38
5.4. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo tyrimas	40
5.5. Atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo pirminio vaizdo apdorojimo parametrų	42
5.6. Pirštų atspaudų atpažinimo metodo automatinio verčių parinkimo realizavimas	45
5.7. Skyriaus apibendrinimas.....	46
6. Pirštų atspaudų panašumo lygio apskaičiavimo metodų palyginimas	48
6.1. MCC metodo parametrai ir panašumo lygio apskaičiavimas.....	48
6.2. MCC metodo panašumo lygio tyrimas.....	49
6.3. Metodų palyginimas	53
6.4. Skyriaus apibendrinimas.....	54
7. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo piršto atspaudų ploto	55
7.1. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo tyrimas	55
7.2. Skyriaus apibendrinimas.....	56
8. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo piršto atspaudų nuskaitymo būdo.....	57
8.1. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo tyrimas	57
8.2. Skyriaus apibendrinimas.....	60
9. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo nuskaityto piršto atspaudų pasukimo kampo	61
9.1. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo tyrimas	61
9.2. Skyriaus apibendrinimas.....	64
DARBO APIBENDRINIMAS.....	65
IŠVADOS.....	65
LITERATŪRA.....	67
PRIEDAI	69
A priedas. MCC metodo parametrai ir jų vertės [9].....	69

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Piršto paviršiaus struktūra	14
1.2 pav. Šviesos prasiskverbimo gylis	15
1.3 pav. Šviesos atspindėjimas nuo piršto atspaudų paviršiaus.....	15
1.4 pav. Visiško vidinio atspindžio technologija	16
1.5 pav. Talpinis jutiklis.....	17
1.6 pav. Ultragarso jutiklis	17
2.1 pav. Detalės parametrai: a) kauburėlio pabaiga, b) kauburėlio susijungimas.....	19
2.2 pav. Piršto atspaudų vaizdas po skaitmeninimo (a) ir pustonis vaizdas (b).....	20
2.3 pav. 3×3 dydžio langas: a) kauburėlių pabaiga, b) kauburėlių susijungimas.....	20
2.4 pav. Grafinis vietinės struktūros, susietos su detalėmis, atvaizdavimas: a) cilindras su uždaru kubu, b) padalintas kubas į atskiras ląsteles, c) $\Delta S \times \Delta S \times \Delta D$ dydžio ląstelė	23
2.5 pav. Cilindro dalis, susieta su detale m	24
2.6 pav. Grafinis cilindro atvaizdavimas: a) detalės, b) ląstelės vertės: šviesesnės vietos atvaizduoja aukštesnes vertes.....	24
2.7 pav. Cilindrai C_a ir C_b	25
2.8 pav. Dvejetainio formato cilindrai C_a ir C_b	25
2.9 pav. Kauburėlių taškai.....	26
2.10 pav. Kauburėlių struktūra: a) nutrūkimas, b) susijungimas, c) galimi sąryšiai tarp kauburėlių.....	27
3.1 pav. Kryptinis vaizdas	31
3.2 pav. Vaizdo tankinimas	31
3.3 pav. Kauburėlių poveikslas	31
3.4 pav. Jutiklio pasirinkimas.....	31
3.5 pav. Triukšmo sukūrimas	31
4.1 pav. Programos kodo algoritmo eiga.....	32
4.2 pav. Algoritmo struktūrinė schema	33
5.1 pav. Pirštų atspaudų ryškumo lygiai: a) didžiausias, b) vidutinis, c) mažiausias	35
5.2 pav. Pirštų atspaudų detalės, skirtingiems ryškumo lygiams: a) didžiausiam, b) vidutiniam, c) mažiausiam	36
5.3 pav. Ryšys tarp FNMR, FMR ir EER	37
5.4 pav. Piršto atspaudų vaizdo pirminis apdorojimas.....	38
5.5 pav. Piršto atspaudų vaizdo pirminis apdorojimas: a) pradinis vaizdas, b) normalizuotas vaizdas, c) orientacinis vaizdas, d) dažninis vaizdas, e) filtravimas, f) apdorotas vaizdas	39
5.6 pav. Skeletizuotas vaizdas.....	40

5.7 pav. FMR ir FNMR duomenų bazės MY2017_DB1 grafikas	40
5.8 pav. FMR ir FNMR duomenų bazės MY2017_DB2 grafikas	41
5.9 pav. FMR ir FNMR duomenų bazės MY2017_DB3 grafikas	41
5.10 pav. Klaidos tikimybių palyginimo diagrama, esant skirtingiems bloko dydžio ir ryškumo lygiams.....	43
5.11 pav. Klaidos tikimybių palyginimo diagrama, kai slenkstinė vertė yra 0,15	44
5.12 pav. Klaidos tikimybių palyginimo diagrama, kai slenkstinė vertė yra 0,2	45
5.13 pav. Klaidos tikimybių palyginimo diagrama, esant skirtingam nustatymui	46
6.1 pav. Klaidos lygio palyginimas, kai $N_S = 8$	49
6.2 pav. Klaidos lygio palyginimas, kai $N_S = 16$	50
6.3 pav. Klaidos lygio palyginimas naudojant optinį jutiklį, kai $N_S = 8$	51
6.4 pav. Klaidos lygio palyginimas naudojant optinį jutiklį, kai $N_S = 16$	51
6.5 pav. Klaidos lygio palyginimas naudojant talpinį jutiklį, kai $N_S = 8$	52
6.6 pav. Klaidos lygio palyginimas naudojant talpinį jutiklį, kai $N_S = 16$	52
6.7 pav. Panašumo lygio apskaičiavimo metodų palyginimas	53
7.1 pav. Skirtingų pirštų atspaudų išskirtos detalės: a) 35 detalės, b) 95 detalės.....	55
7.2 pav. Piršto atspaudų panašumo lygio priklausomybė nuo ploto	56
8.1 pav. Nuskaityti pirštų atspaudai: a) „V300“, b) „100 SC“, c) „FX2000“, d) „FingerChip FCD4B14CB“	57
8.2 pav. Nuskaitytų atspaudų išskirtos detalės: a) „V300“, b) „100 SC“, c) „FX2000“, d) „FingerChip FCD4B14CB“	58
8.3 pav. Bandymų su skirtingais jutikliais rezultatų palyginimas.....	58
8.4 pav. Bandymų su skirtingais jutikliais ir automatinį parametrų nustatymu rezultatų palyginimas	59
9.1 pav. Piršto atspaudai su skirtingais nuskaitymo kampais: a) 0° , b) 30° , c) -30°	61
9.2 pav. Piršto atspaudai ir jo požymiai su skirtingais nuskaitymo kampais: a) 0° , b) 30° , c) -30°	61
9.3 pav. Antrojo piršto atspaudai ir jo požymiai su skirtingais nuskaitymo kampais: a) 0° , b) 30° , c) -30°	62
9.4 pav. Grafinis klaidos lygio palyginimas, esant skirtingiems pasukimo kampams.....	63
9.5 pav. Grafinis klaidos lygio palyginimas, esant skirtingiems pasukimo kampams, taikant automatinį parametrų nustatymą.....	64

LENTELIŲ SĄRAŠAS

5.1 lentelė. EER lygis esant skirtingiems ryškumo lygiams	42
5.2 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingiems bloko dydžiams.....	43
5.3 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingoms slenkstinėms vertėms.....	44
6.1 lentelė. Tyrimo metu keičiamų parametrų vertės.....	48
8.1 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingiems jutikliams	58
8.2 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingiems jutikliams, taikant automatinį parametrų nustatymą	59
9.1 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingiems pasukimo kampams	62
9.2 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingiems pasukimo kampams, taikant automatinį parametrų nustatymą	63

SUTRUMPINIMAI

3D (angl. <i>three-dimensional</i>)	trimatis
BMP (angl. <i>BitMap Picture</i>)	bitų sekos formato vaizdas
CCD (angl. <i>Charge-Coupled Device</i>)	krūvio sąsajos įtaisas
CMOS (angl. <i>Complementary Metal-Oxide Semiconductor</i>)	komplementarus metalo-oksido puslaidininkis (KMOP)
CRP (angl. <i>Candidate Ridge Pairs</i>)	kandidatuojančios kauburėlių poros
DPI (angl. <i>Dots Per Inch</i>)	taškai viename colyje
FTIR (angl. <i>Frustrated Total Internal Reflection</i>)	visiškas vidinis atspindys
FVC (angl. <i>Fingerprint Verification Competition</i>)	pirštų atspaudų autentiškumo patvirtinimo įvertis
MCC (angl. <i>Minutia Cylinder-Code</i>)	detalių cilindro kodas

IVADAS

Darbo aktualumas ir tikslas

Šiuolaikiniame pasaulyje, kai kiekviena technologija sparčiai tobulėja, atsiranda vis didesnis saugumo poreikis. Vienas iš patikimesnių saugumo užtikrinimo būdų – asmens tapatumo nustatymas ir atpažinimas. Didžiojoje Britanijoje 1893 m. „Home Ministry Office“ buvo priimta, kad dvi asmenybės negali turėti vienodų piršto atspaudų. Remiantis šiuo faktu buvo kuriamos biometrinės sistemos, kuriose žmogaus tapatumui nustatyti naudojami pirštų atspaudai [1]. Asmens tapatumui nustatyti ir atpažinti gali būti naudojamos ir kitos biometrinės sistemos, kurios nuskaito žmogaus fiziologines savybes (pvz.: veidas, akies rainelė, kalba, eiseną). Šiuo metu asmens tapatumui nustatyti pirštų atspaudai naudojami daugelyje sričių, pvz.: išmaniuosiuose telefonuose, praėjimo kontrolėse, seifuose ir t. t. Biometrinės sistemos, kuriose naudojami pirštų atspaudai, yra priimtinesnės žmogui, kadangi šios sistemos nesukelia diskomforto. Naudojant biometrines sistemas, kur yra nuskaitoma veido fiziologija, asmeniui reikia išlikti rimtam keletą sekundžių. Akies rainelės nuskaitymo atveju asmeniui reikia arti prisitarti prie nuskaitymo įrenginio, kas sukelia diskomforto jausmą.

Darbo tikslas – apžvelgti taikomas pirštų atspaudų atpažinimo technologijas ir metodus, ištirti vieną pasirinktą pirštų atspaudų atpažinimo metodą.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti keliama šie uždaviniai:

- Apžvelgti pirštų atspaudams nuskaityti taikomus būdus ir priemones;
- Išanalizuoti požymius, naudojamus pirštų atspaudams atpažinti;
- Ištirti, kaip piršto atspaudų atpažinimo tikslumas priklauso nuo:
 - atspaudų nuskaitymo būdo;
 - atpažinti taikomo metodo;
 - piršto odos paviršiaus būklės;
 - nuskaityto piršto atspaudų ploto;
 - nuskaityto piršto atspaudų pasukimo kampo.

Naudoti tyrimo ir analizės metodai

Literatūros analizės metodas buvo taikomas analizuojant pirštų atspaudų nuskaitymo technologijas, atpažinimo metodus ir juose taikomus algoritmus. Mokslinės literatūros analizė suteikė žinių atliekant mokslinius tyrimus.

Eksperimentinis tyrimo metodas buvo taikomas nustatant skirtingų pirštų atspaudų atpažinimo metodo parametrų įtaką atliekamiems tyrimams. Taikant eksperimentinį metodą, gauti tyrimų rezultatai buvo palyginti.

Darbo struktūra

Pirmame darbo skyriuje apžvelgiamos ir palyginamos pirštų atspaudų nuskaitymo technologijos: optiniai jutikliai, kieto paviršiaus jutikliai ir ultragarso jutikliai. Atlikus pirštų atspaudų nuskaitymo technologijų palyginimą, nustatyti jų privalumai ir trūkumai.

Antrame darbo skyriuje apžvelgiami pirštų atspaudams atpažinti taikomi metodai: detalėmis pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas, „Minutia Cylinder-Code“ (MCC) metodas ir kauburėlių savybėmis pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas. Atliekant metodų apžvalgą, nustatyti jų privalumai ir trūkumai.

Trečiame darbo skyriuje atrenkami testavimo duomenys. Testavimo duomenis sudaro pirštų atspaudų duomenų bazės, sugeneruotos programine įranga.

Ketvirtame darbo skyriuje pateikiamas detalėmis pagrįsto pirštų atspaudų atpažinimo metodo algoritmas. Šiame skyriuje aptariami pagrindiniai algoritmo etapai.

Penktame darbo skyriuje tiriama piršto atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo piršto odos paviršiaus būklės. Pirštų atspaudų atpažinimo metodo tikslumui nustatyti naudojamos dvi pagrindinės biometrinės sistemos egzistuojančios klaidos: klaidingai nesutampantis lygis FNMR (angl. *false non-match rate*) ir klaidingai sutampantis lygis FMR (angl. *false match rate*). Šių klaidų susikirtimo taške (kai jos yra lygios) gaunamas klaidos lygis, pagal kurį galima spręsti apie pirštų atspaudų atpažinimo metodo tikslumą. Tyrimams atlikti naudojami atspaudai iš dirbtinai sugeneruotų ir iš oficialių pirštų atspaudų duomenų bazių.

Šeštame darbo skyriuje tiriama piršto atspaudų panašumo lygio apskaičiavimo metodai: detalėmis pagrįstas metodas ir „Minutia Cylinder-Code“ metodas.

Septintame darbo skyriuje tiriama piršto atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo piršto atspaudų ploto. Tyrimui sugeneruoti du skirtingi piršto atspaudai. Keičiant pirštų atspaudų paviršiaus plotą buvo skaičiuojamas panašumo lygis.

Aštuntame darbo skyriuje tiriama piršto atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo piršto atspaudų nuskaitymo būdo. Tiriama nuskaitymo būdai: optiniai jutikliai ir kieto paviršiaus jutikliai. Tyrimui naudojamos oficialios pirštų atspaudų duomenų bazės.

Devintame darbo skyriuje tiriama piršto atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo piršto atspaudų pasukimo kampo. Šiam tyrimui sugeneruotos trys pirštų atspaudų duomenų bazės su skirtingais pasukimo kampais.

Darbo pabaigoje atliekamas apibendrinimas ir formuluojamos išvados.

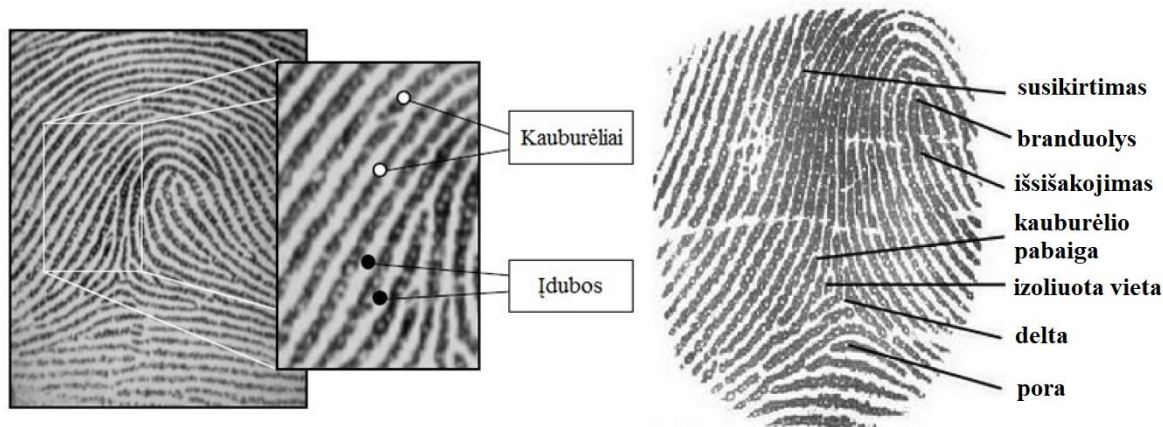
1. Pirštų atspaudų nuskaitymo technologijų apžvalga

Šiame skyriuje bus aptarta piršto atspaudų paviršiaus struktūra ir apžvelgtos trys skirtingos pirštų atspaudų nuskaitymo technologijos, išskirti jų privalumai ir trūkumai. Svarbiausia pirštų atspaudų nuskaitymo dalis yra jutiklis. Jutiklis yra viena iš komponentų dalių, kurioje formuojamas piršto atspaudų vaizdas. Visus jutiklius galima suskirstyti į tris pogrupius: optinius, kieto paviršiaus ir ultragarso jutiklius.

Kiekviena iš šių technologijų šakų turi dar po keletą technologijų, todėl bus apžvelgta kiekvienos šakos po vieną labiausiai paplitusią technologiją.

1.1. Piršto atspaudų paviršiaus struktūra

Visų pirma, norint išanalizuoti pirštų atspaudų nuskaitymo technologijas ir metodus reikia susipažinti su piršto atspaudų paviršiaus struktūra. Piršto paviršius yra netolygus, jis sudarytas iš kauburėlių (iškilimų) ir įdubų. Piršto atspaudų paveiksluose kauburėliai yra atvaizduojami tamsiomis linijomis, o įdubos – šviesiomis linijomis (žr. 1.1 pav.). Mažiausias kauburėlių plotis gali būti 100 μm , didžiausias iki 300 μm . Kauburėlių ir įdubų sekos periodas yra maždaug 500 μm pločio [1].



1.1 pav. Piršto paviršiaus struktūra [1]

Įvairūs kauburėlių ir įdubų sąryšis ir jų krypties variacija sukuria unikalią struktūrą, kurią galima apibrėžti kaip piršto atspaudų požymiai. Požymiai gali būti skirstomi į: kauburėlių susikirtimas, atspaudų branduolys, kauburėlių išsišakojimas, kauburėlio pabaiga, izoliuota vieta, delta, pora (žr. 1.1 pav.).

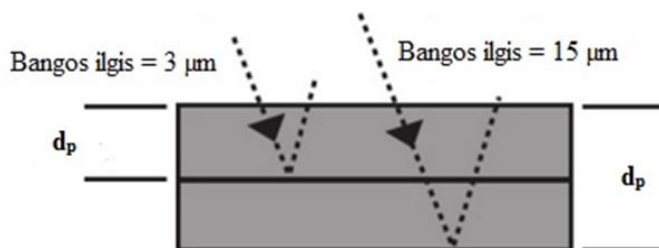
Taigi naudojamos technologijos ir atpažinimo metodai turi būti tikslūs siekiant tinkamai apdoroti piršto atspaudų paviršių ir išskiriant minėtus požymius.

1.2. Optiniai jutikliai

Naudojant optinius jutiklius, pirštų nuskaitymo technologijas galima suskirstyti į: FTIR, FTIR su atskiromis prizmėmis, optines skaidulas, elektrooptinį, tiesioginio nuskaitymo [1]. Plačiau bus apžvelgta pirmoji technologija, kadangi ji yra plačiausiai naudojama tarp optinių jutiklių.

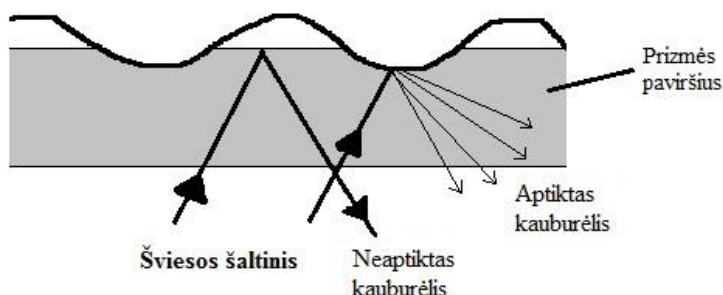
Kai signalas, šiuo atveju šviesos spinduliai, patenka į terpę su tam tikru lūžio rodikliu, pavyzdžiui, prizmę su tam tikru kritimo kampu, ir išeina į kitą terpę su kitoku lūžio rodikliu, tai beveik visa šviesos šaltinio energija bus atspindėta tuo pačiu kampu kaip kritimo kampas. Tačiau toks reiškinys galimas tik tuo atveju, jeigu niekas netrukdo šviesos šaltiniui [2].

Optiniame jutiklyje naudojama stiklinė prizmė. Šviesa į prizmę prasiskverbia iki tam tikro gylio. Paprastai prasiskverbimo gylis būna nuo 8 iki 12 μm . Šviesos prasiskverbimo gylis priklauso nuo daugelio faktorių, tačiau didžiausią įtaką turi šviesos bangos ilgis [2] (žr. 1.2 pav.).

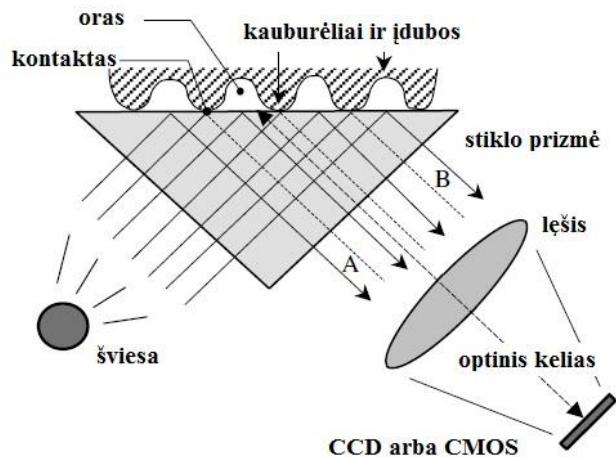


1.2 pav. Šviesos prasiskverbimo gylis [2]

Kai pirštas priliečia prizmės paviršių, tai šviesa atsispindi nuo piršto atspaudų įdubų (ten, kur oro tarpas). Tačiau šviesai patekus į piršto atspaudų kauburėlius, ji išsibarsto. Tokiu atveju atspindžio kampu sugrąžinama tik dalis energijos [2] (žr. 1.3 pav.).



1.3 pav. Šviesos atspindėjimas nuo piršto atspaudų paviršiaus



1.4 pav. Visiško vidinio atspindžio technologija [1]

Atspindėję šviesos spinduliai sufokusuojami lęšyje ir nukreipiami į CCD arba CMOS vaizdo jutiklio (žr. 1.4 pav.) [1].

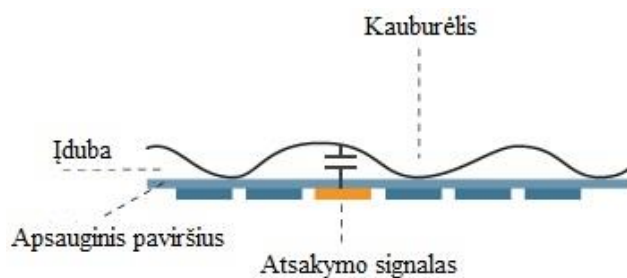
Optinių jutiklių vaizdo kokybę gali lemti daug aplinkos faktų. Tai galėtų būti išsibarstę šviesos spinduliai nuo kito paviršiaus arba nuo likusių pirštų atspaudų. Kiti faktoriai, kurie lemia vaizdo kokybę yra riebalai, purvas, kondensatas, prakaitas ar jutiklio paviršiaus įbrėžimai.

Optinių jutiklių trūkumas yra toks, kad lyginant su kitomis technologijomis, optinius jutiklius nesudėtinga apgauti naudojant netikrus pirštų atspaudus.

1.3. Kieto paviršiaus jutikliai

Kieto paviršiaus jutikliai buvo sukurti siekiant sumažinti piršto nuskaitymo sistemos dydį ir kainą. Pasak A. K. Jains, vienas iš didžiausių šių jutiklių privalumų – nereikia jokių optinių jutiklių, pirštas tiesiogiai gali liestis su jutiklio pagrindu ir fizinė informacija konvertuojama į elektrinius signalus [1]. Yra keturios fizinės informacijos konvertavimo technologijos: talpinė, terminė, elektrinio lauko ir pjezoelektrinė. Plačiau bus apžvelgta kieto paviršiaus talpinė jutiklių technologija, kuri yra labiausiai paplitusi.

Jutiklis susideda iš mažų kondensatoriaus plokštelių ir kiekviena plokštelė turi savo elektros grandinę. Piršto paviršiui prisilietus prie jutiklio plokštelės susikuria labai silpnas elektros signalas, pagal kurį sukuriamas šablonas tarp piršto kauburėlių (arba įdubų) ir jutiklio paviršiaus [2]. Piršto kauburėliai ir įdubos sukuria elektros signalus (žr. 1.5 pav.). Matuojant elektrinį lauką, atstumas tarp piršto paviršiaus ir jutiklio paviršiaus turi būti labai mažas, kad užtikrintų didesnę tikslumą [1]. Naudojant nedidelius elektros signalus, jutiklis matuoja šablono talpą visame paviršiuje. Išmatuotos elektros signalo vertės jutiklyje yra paverčiamos į skaitmeninius signalus ir siunčiamos į mikroprocesorių [2, 3].



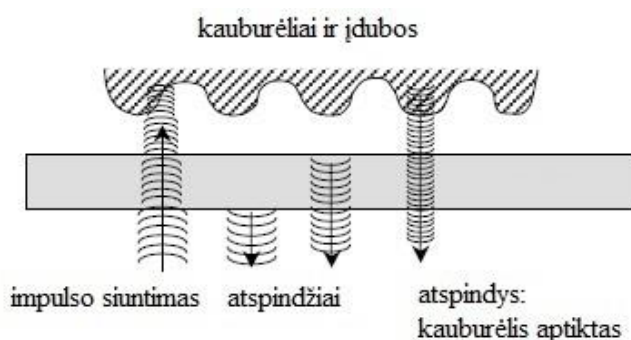
1.5 pav. Talpinis jutiklis [3]

Kritinis talpinių jutiklių komponentas yra paviršiaus danga. Dangą, pagamintą iš silicio, reikia saugoti nuo įvairių cheminių medžiagų (pvz., druskų), kurios susidaro esant prakaituotam piršto paviršiui, bet šie jutikliai yra atsparesni esant užterštam paviršiui, negu optiniai jutikliai. Tačiau yra vienas trūkumas – gali susidaryti elektros iškrova piršto galiuke ir pakenkti jutikliui [1].

Talpinius jutiklius sudėtinga apgauti panaudojus aukštos kokybės atspaudų nuotraukas. Tačiau apgavimas tampa labiau įgyvendinamas panaudojus išpresuotą piršto atspaudą formą [4].

1.4. Ultragarso jutikliai

Šis būdas yra pagrįstas akustinio signalo siuntimu link piršto galiuko ir atsispindėjusio signalo (aido) užfiksavimu (1.6 pav.). Atsispindėjęs signalas naudojamas apskaičiuoti piršto atspaudą vaizdo atstumą ir grublėtą piršto struktūrą. Ultragarso jutiklis turi du komponentus: siųstuvą, kuris generuoja trumpus akustinius signalus, ir imtuvą, kuris aptinka atsispindėjusius nuo piršto paviršiaus impulsų atsakymus [1].



1.6 pav. Ultragarso jutiklis [1]

Toliau ultragarso jutiklių veikimas bus nagrinėjamas plačiau. Vaizdo gavimas ultragarsiniais signalais įmanomas dėl šių signalų atsispindėjimo ir perdavimo koeficiento, kuris priklauso nuo akustinio impedanso. Akustinis impedansas apibūdinamas kaip medžiagos tankio (ρ_0) ir fazinio greičio (c_0) produktas [2].

Akustinis impedansas išreiškiamas taip:

$$Z = \rho_0 \cdot c_0 \quad (1.1)$$

Kai ultragarsinės bangos iš 1 terpės su akustiniu impedansu Z_1 patenka į 2 terpę su akustiniu impedansu Z_2 , į imtuvą atsispindi akustinė energija, kuri apibūrinama taip:

$$R = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1) \quad (1.2)$$

Ultragarsinių bangų atspindys stebimas imtuve laiko momentu (t), kuris priklauso nuo atstumo (D) tarp atspindinčios terpės, imtuvo ir ultragarso plėtimosi greičio (c_0) terpėje. Kad būtų gautas geriausias kontrastas, atspindžio koeficientas išilgai piršto paviršiaus turi reikšmingai skirtis esant piršto atspaudų kauburėliams ir įduboms. J. K. Schneideris pateikia apskaičiuotus atspindžio koeficientus: atspindys nuo kauburėlių – $R = 23,2 \%$; atspindys nuo įdubų – $R = 99,97 \%$ [2]. Tokie autoriaus gauti rezultatai patvirtina tai, kad piršto atspaudų įdubos beveik visiškai atspindi ultragarsines bangas, o kauburėliai jas išsklaido [3].

Lyginant su optiniais ir talpiniais jutikliais, ultragarsiniuose jutikliuose piršto odos vaizdas nuskaitomas už jutiklio ekrano, todėl paviršiaus užterštumas ir įbrėžimai neturi įtakos atspaudui nuskaityti.

1.5. Skyriaus apibendrinimas

Optiniuose jutikliuose kauburėlių ir įdubų padėtis nustatoma iš atsispindėjusių šviesos spindulių. Tačiau dėl išsibarsčiusių šviesos spindulių nuo kito paviršiaus arba nuo likusių pirštų atspaudų gali atsirasti nemažai klaidų.

Talpiniuose jutikliuose naudojamos laidininkų plokštelės. Piršto kauburėliai ir įdubos sukuria skirtingus elektrinius signalus. Tačiau galimas toks atvejis, kai jutiklis yra pažeidžiamas iškvėjos piršto galiuke.

Ultragarso jutikliuose naudojami akustiniai signalai. Lyginant su optiniais ir talpiniais jutikliais, ultragarso jutikliuose piršto odos vaizdas nuskaitomas už jutiklio ekrano, todėl paviršiaus užterštumas ir įbrėžimai neturi įtakos atspaudui nuskaityti.

2. Metodų pirštų atspaudams atpažinti apžvalga

Šiame skyriuje apžvelgiami trys pirštų atspaudams atpažinti skirti metodai: detalėmis pagrįstas metodas, MCC metodas ir kauburėlių požymiais pagrįstas metodas. Apžvalgos tikslas yra nustatyti kiekvieno metodo ypatumus, išskirti jų privalumas bei trūkumus. Atlikus apžvalgą bus pasirinktas vienas metodas su kuriuo tolimesnėje darbo eigoje bus atlikti tyrimai.

2.1. Detalėmis pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas

Detalėmis (angl. *minutiae*) pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas yra populiariausia technologija naudojama atspaudų atpažinimui. Šis metodas remiasi tuo, kad atspaudų kauburėlio ypatumai vadinami detalėmis. Labiausiai žinomi kauburėlių ypatumai: kauburėlio pabaiga ir kauburėlio susijungimas. Detalės išskiriamos iš dviejų atspaudų šablonų ir saugomos dvimačiame taškų pavidale. Šis metodas susideda iš išlyginimų radimo tarp šablono ir smulkių detalių nustatymo, ko pasekoje gaunamas didžiausias smulkių detalių porų skaičius [1].

Paprastai kiekviena atspaudų detalė m_i yra apibūdinama keturiais parametrais [5]:

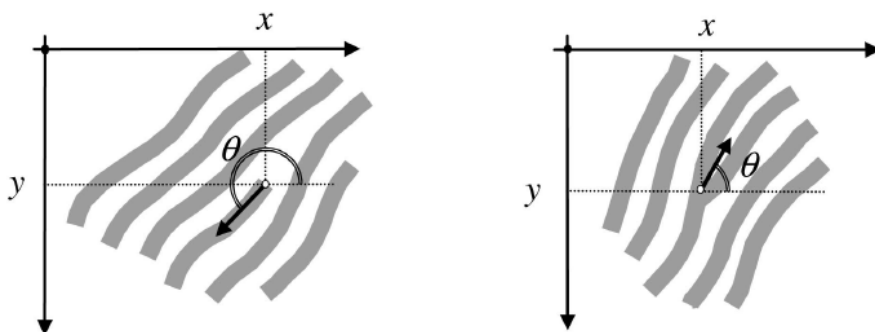
$$m_i = (x_i, y_i, \theta_i, t_i) \quad (2.1)$$

x_i, y_i – detalės taško koordinatės,

θ_i – detalės kryptis nuo kauburėlio orientacijos,

t_i – detalės taško tipas (kauburėlio pabaiga arba kauburėlių susijungimas).

Detalės taško pozicija, tai kauburėlio arba įdubos kryptis skaičiuojama x ašyje (žr. 2.1 pav.) [5].

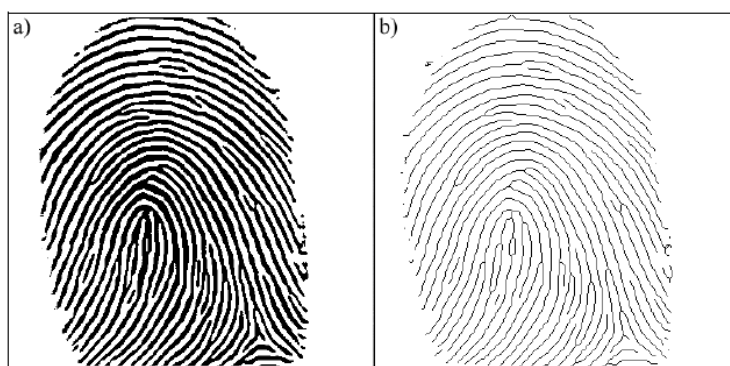


2.1 pav. Detalės parametrai: a) kauburėlio pabaiga, b) kauburėlių susijungimas [5]

Detalių gavimui gali būti naudojama keletas būdų, vienas labiausiai paplitęs ir paprasčiausias yra paremtas skaitmenizavimu ir kauburėlių suglaudinimo etapu, jis vadinamas kauburėlių glaudinimo metodu. Tačiau, dėl atsirandančių klaidų atliekant suglaudinimą galimas ir kitas būdas – detalių gavimas tiesiogiai iš pustonio vaizdo, jis vadinamas pustonio metodu [5].

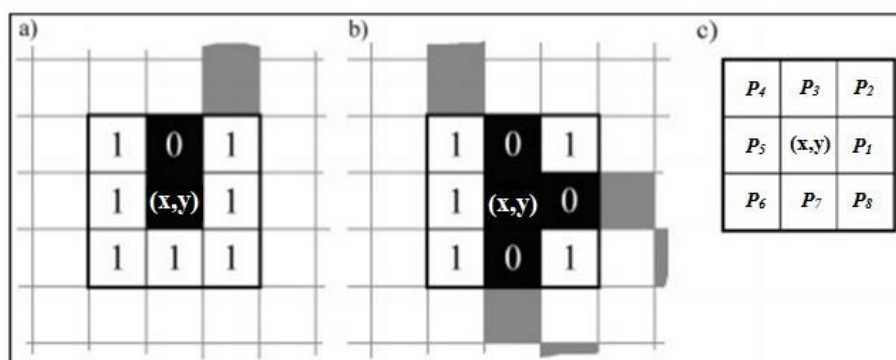
Kauburėlių glaudinimo metodas

Labiausiai paplitęs detalių gavimo būdas – numerių susikirtimas (angl. *CN – Crossing Number*). Prieš gaunant detales, dvejetainis kauburėlių vaizdas turi būti apdorotas. Pirmiausiai atliekamas atspaudų vaizdo skaitmeninimas, todėl kauburėlių plotis gaunamas vieno pikselio pločio (žr. 2.2 pav.) [6]. Kitaip tariant, skaitmeninimas yra vaizdo konvertavimas į 8 bitų pustonį vaizdą.



2.2 pav. Piršto atspaudų vaizdas po skaitmeninimo (a) ir pustonio vaizdas (b) [7]

Detalių taškai nustatomi skenuojant artimiausius pikselius suglaudintame kauburėlių paveiksle, naudojant 3×3 dydžio langą (žr. 2.3 pav.).



2.3 pav. 3×3 dydžio langas: a) kauburėlių pabaiga, b) kauburėlių susijungimas [6]

Pagal 3×3 dydžio langą apskaičiuojama CN vertė, kuri atitinka pusę skirtumo tarp gretimų pikselių p_i ir p_{i+1} [6]:

$$CN_{(x,y)} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^8 |p_i - p_{i+1}|, p_1 = p_9 \quad (2.2)$$

Pagal apskaičiuotą CN vertę galima suklasifikuoti kauburėlio pikselį kaip kauburėlio pabaigą, susijungimą arba detalės taško nebuvimą. Atitinkamos CN vertės: 0 – izoliuotas taškas, 1 – kauburėlio pabaiga, 2 – besitęsiantis kauburėlis, 3 – susijungimas, 4 – susikirtimas [6].

Pagrindinė detalių gavimo problema yra tokia, kad jos ne visuomet atitinka tikrąsias reikšmes atspaudų paveiksle. Tokie atvejai būna dėl nepageidaujamų spindulių, pertraukų ir skylių.

Pustonio metodas

Šiame metode detalės išgaunamos tiesiai iš pustonio paveikslo be skaitmenizavimo ir suglaudinimo. Toks būdas naudojamas dėl kelių priežasčių:

- tobulinimo algoritmai reikalauja daug laiko,
- galimas informacijos praradimas skaitmenizavimo metu,
- netinkami rezultatai, kai apdorojamas žemos kokybės vaizdas [8].

Taigi šis metodas neatlieka vaizdo skaitmenizavimo ir jo suglaudinimo. Metodo esmė yra tokia, kad palaipsniui sekama kauburėlių linijomis pustonio paveiksle atsižvelgiant į atspaudų krypties vaizdą. Pradinio taško nustatymui naudojamas tinklėlis, kuris yra uždedamas ant pustonio vaizdo. Nuo kiekvieno pradinio taško programos algoritmas pradeda sekti palei kauburėlio linijas iki jų pabaigos arba susikirtimo su kita linija. Toks kauburėlių aptikimas skirtas ištirti kiekvieną jų liniją vieną kartą ir nustatyti susikirtimą tarp šių linijų [8].

Atitikimo rezultatai

Geros kokybės piršto atspaudų paveiksle yra nuo 70 iki 80 detalių taškų, mažos kokybės paveiksle jų skaičius daug mažesnis (maždaug 20–30).

Detalėmis pagrįstas metodas grąžina sutampančių detalių skaičių iš dviejų užklausų ir jį naudoja apskaičiuojant sutapimo lygį. Pagal medicininius reikalavimus, kai dviejų atspaudų detalių skaičius nėra mažesnis negu 12, laikoma, kad šis atspaudas yra to paties piršto [5].

Atitikimo algoritmas lygina dviejų detalių rinkinius: šabloną $T = \{m_1, m_2, \dots, m_j\}$ gauta iš kontrolinio atspaudų ir $I = \{m_1, m_2, \dots, m_i\}$ gauta iš užklausos. Rezultatas grąžina sutapimo lygį $S(T, I)$. Detalės m_i ir m_j laikomos sutampančiomis tik tuo atveju, jeigu jų pozicija ir kryptis yra mažesni už toleruojamą atstumą tarp jų [5]:

$$sd(m_i, m_j) = 1 \Leftrightarrow \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq r_0, \quad (2.3)$$

$$dd(m_i, m_j) = 1 \Leftrightarrow \min(|\theta_i - \theta_j|, 360 - |\theta_i - \theta_j|) \leq \theta_0, \quad (2.4)$$

čia x_i, x_j, y_i, y_j – detalės taško koordinatės; θ_i – detalės kryptis.

Taigi detalėms gauti gali būti taikomas numerių sukirtimas. Naudojant numerių sukirtimo metodą reikalingas pirminis vaizdo apdorojimas, kurio metu atliekamas vaizdo skaitmenizavimas. Egzistuoja vienas detalėmis pagrįsto metodo trūkumas – gaunant detales pasitaiko klaidų.

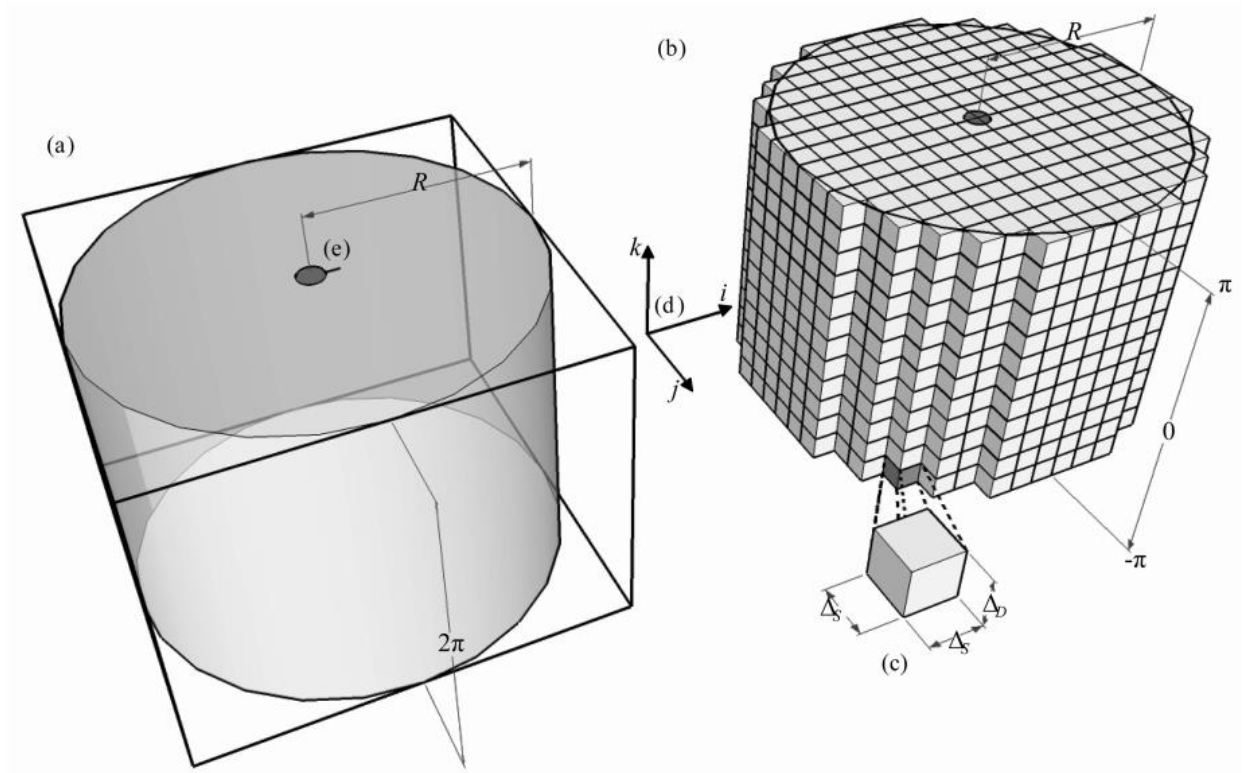
2.2. „Minutia Cylinder-Code“ pirštų atspaudų atpažinimo metodas

„Minutia Cylinder-Code“ (MCC) – tai nauja pateikimo forma, paremta 3D duomenų struktūra (vadinama cilindrais), kuri sukurta iš detalių atstumų ir kampų. Cilindrai gali būti kuriami pradedant nuo privalomų savybių aprašomų standarte ISO/IEC 19794-2 (2005). Išskiriami pagrindiniai šio metodo privalumai:

- MCC yra fiksuoto spindulio metodas, todėl toleruoja trūkstamas ir suklustotas detales;
- skirtingai nuo tradicinių fiksuoto spindulio technikų, MCC remiasi fiksuoto ilgio kodavimu kiekvienai detalei, todėl vietinių struktūrų panašumo apskaičiavimas yra labai paprastas;
- vietiniai iškraipymai ir nedidelės savybių gavimo klaidos yra toleruojamos dėl kodavimo etape atliekamo išlyginimo;
- MCC efektyviai dirba su iškraipytomis atspaudų dalimis, kuriose detalėmis paremti metodai dažnai nurodo klaidingas detales;
- bitais orientuotas kodavimas leidžia cilindrus atitikimą įgyvendinti tiksliai ir greitai sumažinant loginių operacijų seką [9].

Vietinės struktūros

MCC susieja vietinę struktūrą su kiekviena detale. Ši struktūra koduoja erdvinį ir kryptinį santykį tarp detalių ir patogiai gali būti pateikiamas kaip cilindras, kuriuo pagrindas ir aukštis yra susiję su erdvine ir kryptine informacija (žr. 2.4 pav.) [9].



2.4 pav. Grafinis vietinės struktūros, susietos su detalėmis, atvaizdavimas: a) cilindras su uždaru kubu, b) padalintas kubas į atskiras ląsteles, c) $\Delta_S \times \Delta_S \times \Delta_D$ dydžio ląstelė [9]

$T = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ yra detalių šablonas, o kiekviena detalė aprašoma taip: $m_i = (x_m, y_m, \theta_m)$, kur x_m ir y_m yra detalės koordinatės, θ_m – detalės kryptis.

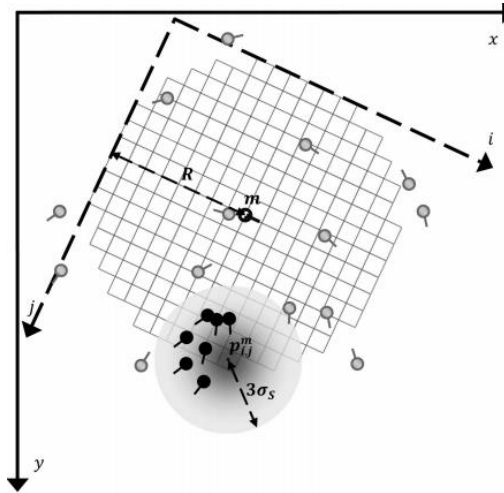
Vietinė struktūra, susieta su detale m , yra pateikiama cilindro pavidalu su spinduliu R ir aukščiu 2π , kurio pagrindas yra detalės centre (žr. 2.4 a) pav.). Cilindras yra kubo viduje, kurio pagrindas išlygintas atsižvelgiant į detalės kryptį θ_m .

Kubas padalinamas į $N_C = N_S \times N_S \times N_D$ ląsteles. Kiekviena ląstelė yra mažas kubas, kurio pagrindo dydis yra $\Delta_S \times \Delta_S$, aukštis – Δ_D (žr. 2.4 b) pav.).

Kiekviena ląstelė gali būti unikalčiai identifikuota trimis indeksais (i, j, k) , kurie žymi jos poziciją kube, esančiame cilindre. Kiekvienai ląstelei (i, j, k) skaitinė vertė $C_m(i, j, k)$ yra apskaičiuojama kaupiant kiekvienos kaimynystėje $N_{p_{ij}^m}$ esančios detalės m_t įnašą:

$$N_{p_{ij}^m} = \{m_t \in T; m_t \neq m, d_S(m_t, p_{ij}^m) \leq 3\sigma_S\} \quad (2.5)$$

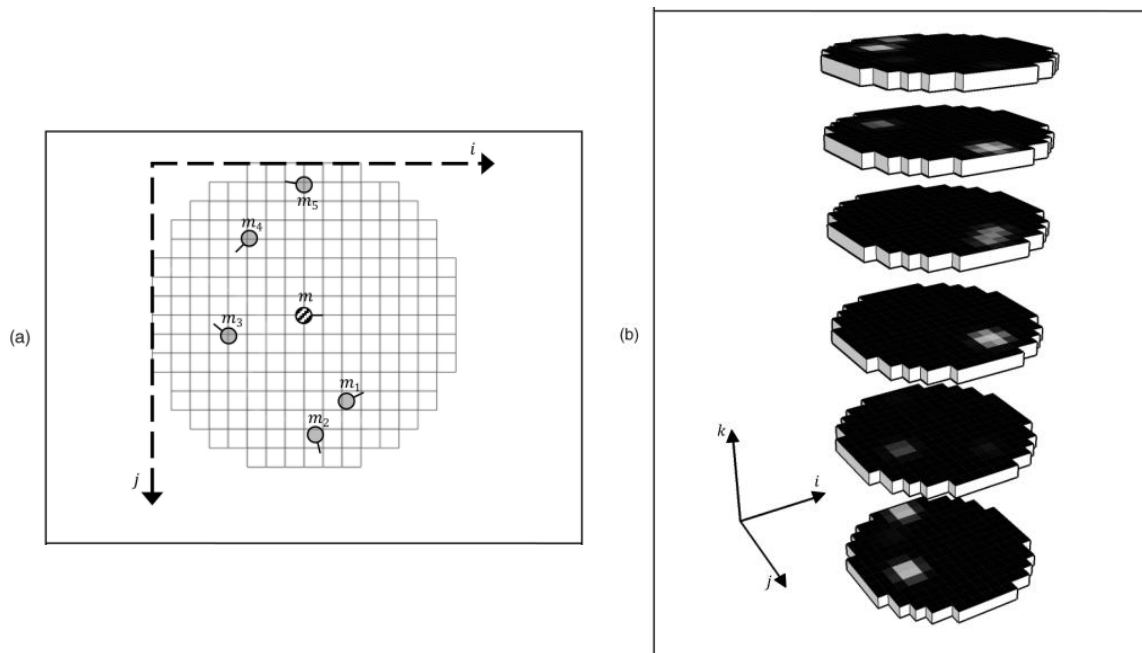
2.5 formulėje $3\sigma_s$ yra kaimynystės spindulys, $d_s(m, p)$ yra euklido atstumas tarp detalės m ir taško p (žr. 2.5 pav.).



2.5 pav. Cilindro dalis, susieta su detale m

Paprastai tinkamos detalės $C_m(i, j, k)$ vertė nusako tikimybę surasti detalę šalia p_{ij}^m su krypties skirtumu atsižvelgiant į m . Ši tikimybė gaunama sumuojant visų kaimynystėje esančių detalių įnašus.

2.6 paveiksle pavaizduotas detalės ir cilindro sąryšis su penkiomis kaimyninėmis detalėmis [9].



2.6 pav. Grafinis cilindro atvaizdavimas: a) detalės, b) ląstelės vertės: šviesesnės vietos atvaizduoja aukštesnes vertes [9]

Cilindro rinkinio sukūrimas

Cilindro rinkinys, gautas iš detalių šablono T , aprašomas taip:

$$CS = \{C_m | C_m \text{ is not invalid}, m \in T\},$$

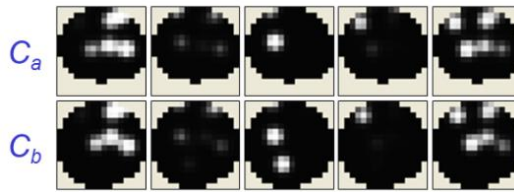
čia C_m yra cilindro sąryšis su detale m su $C_m(i, j, k)$ vertėmis [9].

Vietinio panašumo matavimas

Naudojant vietinių struktūrų charakteristikas, dviejų cilindrų C_a ir C_b (žr. 2.6 pav.) panašumas gali būti nustatytas naudojant vektorinę koreliacinę įvertį [10]:

$$\gamma(a, b) = 1 - \frac{\|c_{a|b} - c_{b|a}\|}{\|c_{a|b}\| + \|c_{b|a}\|}, \quad (2.6)$$

čia c_a ir c_b yra vektoriai gauti atitinkamai iš cilindrų C_a ir C_b .



2.7 pav. Cilindrai C_a ir C_b [10]

Bitų pavidalo realizacija

Vietinių struktūrų charakteristikos ir panašumo matavimas rodo, kad MCC yra tinkamas bitų pavidalo realizacijai. Cilindrai gali būti pakeisti į dvejetainius vektorius naudojant 2.7 funkciją, jų vaizdas parodytas 2.8 paveiksle [10].

$$\gamma(a, b) = 1 - \frac{\|c_{a|b}^{XOR} c_{b|a}\|}{\|c_{a|b}\| + \|c_{b|a}\|} \quad (2.7)$$



2.8 pav. Dvejetainio formato cilindrai C_a ir C_b [10]

C. Raffaello teigimu, MCC yra tikslesnis už tuos metodus, kuriuose naudojamos tik piršto atspaudų detalės. MCC taip pat yra greitas ir nesudėtingai koduojamas aparatinėje įrangoje [9].

2.3. Kauburėlių požymiais pagrįstas piršto atspaudų atpažinimo metodas

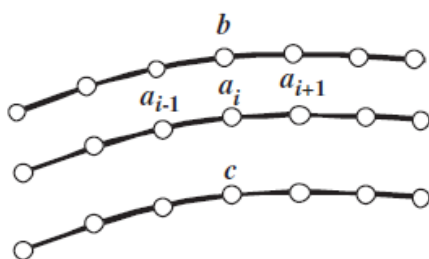
Prastos kokybės piršto atspaudų vaizde detalių išskyrimas yra sudėtingas. Kauburėlių vaizdo požymiai (pvz.: kauburėlių forma, tekstūros informacija) gali būti išskirti patikimiau negu detalių metodu. Iš esmės detalių atitikimo metodas gali būti suvokiamas kaip kauburėlių požymiais pagrįsto atitikimo metodo pogrupis, kadangi pikselių intensyvumas ir detalių pozicija yra vienas iš piršto atspaudų kauburėlių požymių [1].

F. Jianjiango kauburėlių požymiais pagrįstas metodas susideda iš trijų etapų: pirminio apdorojimo, išlyginimo ir atitikimo. Pirminiam apdorojimui naudojami dviejų tipų atspaudų požymiai: detalių ir kauburėlių.

Detalių išskyrimo metoduose piršto atspaudų vaizde pasitaiko triukšmų ir netobulumų esant sudėtingoms struktūroms, tokioms kaip kilpos, užraitai, tiltai. Norint sudaryti nesudėtingas kauburėlių struktūras ir algoritmus, yra atliekamos išryškinančios procedūros. Pirmą, susilieję kauburėliai yra atjungiami ties sutartiniu tašku. Antra, kauburėlių išsišakojimas yra traktuojamas kaip trijų kauburėlių susijungimas. Trečia, trumpi kauburėliai yra pašalinami.

Siekiant gauti nedidelį apskaičiuotų taškų sąrašą, apdorotame kauburėlių vaizde kiekvienas kauburėlis apskaičiuojamas pastovaus dydžio intervale. Kauburėliai viename piršto atspaudė pateikiami tokiu pavidalu: $SP = \left\{ \left\{ (x_{i,j}, y_{i,j}, s_{i,j}) \right\}_{j=1}^{nr_i} \right\}_{i=1}^{Nr}$, kur $x_{i,j}$ ir $y_{i,j}$ yra j -tojo taško i -tojo kauburėlio koordinatės, Nr – kauburėlių kiekis, nr_i – i -tojo kauburėlio taškų kiekis, $s_{i,j}$ taškų atitikimo statusas.

Kauburėlių sąryšiai yra labai svarbūs kauburėlių atitikimui. Jianjiangas naudoja sąryšį tarp gretimų kauburėlių taškų, kadangi kiekvienas kauburėlis yra pateikiamas kaip taškų rinkinys (žr. 2.9 pav.) [11].



2.9 pav. Kauburėlių taškai [11]

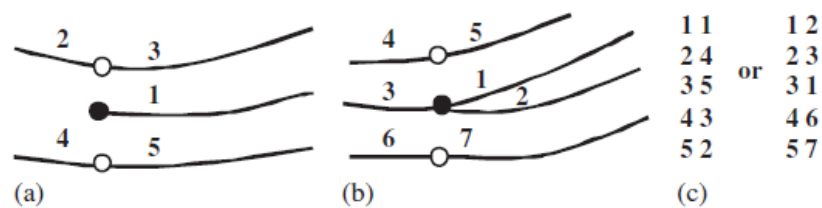
Kauburėlio a_i taške brėžiama linijos atkarpa per šio taško vidurį kauburėlio trajektorijos kryptimi. Kiekvienoje kauburėlio pusėje esantis taškas, kuris yra artimiausias a_i taškui, yra laikomas jam kaimyniniu. Šie kaimyniniai taškai suskirstomi į esančius kairėje arba dešinėje kaimyninius taškus, tikrinant jų padėtį judant trajektorija $a_{i-1} \rightarrow a_i \rightarrow a_{i+1}$ [11].

Sąryšį tarp gretimų kauburėlių taškų naudoja ir X. Xiaohuias. Jo taikomame metode sąryšio taškai nustato, ar tai bus viršutinis, ar apatinis kaimyninis kauburėlis. Jeigu vidurinio kauburėlio atžvilgiu antrojo kauburėlio sąryšio taškas yra kairėjo pusėje, tuomet antrasis kauburėlis bus apibrėžiamas kaip viršutinis kaimyninis kauburėlis, priešingu atveju – apatinis kaimyninis kauburėlis [12].

Atlikus pirminį atspaudų apdorojimą atliekamas išlyginimo etapas. Išlyginimo etapas atliekamas siekiant atkurti pakeitimus tarp dviejų piršto atspaudų. Po šio veiksmo atitikimo paieška supaprastėja.

Jianjiangas išlyginimui naudoja vienos detalės ir kelių susijusių kauburėlių struktūrą. Struktūros panašumas ir kitų struktūrų poros yra sujungiamos siekiant išmatuoti geriausias struktūros poras [11].

Struktūroje kiekvienas požymis suskirstomas į nutrūkimą arba susijungimą skaičiuojant kauburėlių kiekį 3×3 dydžio lange, kurio centras yra šis požymis. Jeigu kauburėlių kiekis lygus 1, požymis yra nutrūkimas, jeigu 3 – susijungimas. Esant nutrūkimui, prie vieno kauburėlio pridedami du gretimi kauburėliai (žr. 2.10 a) pav.). Esant susijungimui, prie trijų kauburėlių pridedami du gretimi kauburėliai (žr. 2.10 b) pav.).



2.10 pav. Kauburėlių struktūra: a) nutrūkimas, b) susijungimas, c) galimi sąryšiai tarp kauburėlių [11]

Struktūros panašumo žingsnyje reikia gauti dvejetainį sprendimą esant struktūrų sutapimui. Tarkime $p_{1,1}$ ir $p_{2,1}$ yra pirmo ir antro kauburėlio pradžios taškai, o $p_{1,2}$ ir $p_{2,2}$ yra pirmo ir antro kauburėlio pabaigos taškai, tuomet panašumo laipsnio apskaičiavimo formulė bus tokia:

$$sr = 1 - |d_1 - d_2| / \max(d_1, d_2), \quad (2.8)$$

čia d_1 – euklido atstumas tarp $p_{1,1}$ ir $p_{2,1}$, d_2 – euklido atstumas tarp $p_{1,2}$ ir $p_{2,2}$ (i – asis taškas skaičiuojamas nuo $p_{2,1}$ iki trumpesnio kauburėlio).

n kauburėlių porų panašumo laipsnis yra apskaičiuojamas struktūrų poroms. Dvi struktūros laikomos sutampančiomis, jeigu jos atitinka tokias sąlygas [11]:

$$\begin{cases} sr_i > \sigma_1, \forall i \in [1, 2, \dots, n], \\ (1/n) \sum_{i=1}^n sr_i > \sigma_2, \end{cases}, \quad (2.9)$$

čia σ_1 ir σ_2 yra slenkstis, $\sigma_1 < \sigma_2$.

X. Xiaohuias pateikia dviejų kauburėlių kreivių panašumo išmatavimą. Šiame išmatavime taip pat yra apibrėžiama kauburėlio pradžia ir pabaiga. Kauburėlio kreivės kreivumas γ yra apskaičiuojamas taip:

$$\gamma = \int_{P_m}^{P_n} |d^2 f|, \quad (2.10)$$

čia P_m yra kauburėlio f pradžios taškas, P_n yra kauburėlio f pabaigos taškas. P_m ir P_n gali būti kauburėlio pabaiga, išsišakojimas arba nukirtimo taškas.

Kauburėlių kreivės laikomos vienodos, jeigu atitinka tokias sąlygas:

$$\begin{cases} |(d_2 - d_1) / d_2| \leq th_1, \\ |\zeta = 1 - |(1 - \kappa) / (1 + \kappa)| \cdot |(\gamma f_1 - \gamma f_2) / (\gamma f_1 + \gamma f_2)|| \geq th_2 \end{cases}, \quad (2.11)$$

čia d_1 yra pirmojo kauburėlio ilgis, d_2 – antrojo kauburėlio ilgis; κ - pirmojo ir antrojo kauburėlių stiprumas, kuris apibrėžiamas taip: $\kappa = d_1 / d_2$ [12].

Kauburėlių požymiais pagrįsto metodo paskutinis etapas yra atitikimas. Atitikimo etapas susideda iš keleto atskirų etapų.

Pirmiausiai atliekamas CRP generavimas. CRP visada išrenkami iš sutampančių kauburėlių arba sutampančių detalių.

CRP iš sutampančių detalių gaunamas skirtingomis sąlygomis. Pirmoji sąlyga, kai atitikimo etapas pradedamas nuo detalių porų CRP yra generuojamas iš detalių. Antroji sąlyga, kai naujos detalės sutampa atliekant atitikimo procesą. CRP, sugeneruotas iš sutampančių detalių, visada turi aukštesnį prioritetą negu CRP iš sutampančių kauburėlių.

CRP iš sutampančių kauburėlių gaunamas iš sutampančių kauburėlių porų (2.12 formulė) ir pakeitimų, su kuriais šie du kauburėliai sutapo.

$$\left\{ (SP_1(r_1, p_{1,i}), SP_2(r_2, p_{2,i})) \right\}_{i=1}^N \quad (2.12)$$

CRP atitikimas – dviejų kauburėlių palyginimo užduotis, kurioje reikia surasti pačias ilgiausias bendras kreives. Kai kauburėlių poros sutampa, tikrinami dviejų porų pabaigos taškai sutampančioms detalėms [7].

Siekiant įvertinti dviejų atspaudų panašumo laipsnį, skaičiuojamas atitikimo laipsnis, kuriame reikia įvertinti tik persidengiančias sritis. Atitikimo laipsnio apskaičiavimo formulė:

$$score = \lambda \cdot s_m + (1 - \lambda) \cdot s_r = \lambda \frac{m_m^2}{M_m \cdot N_m} \min\left(1, \frac{m_m}{T_m}\right) + (1 - \lambda) \frac{m_r^2}{M_r \cdot N_r} \min\left(1, \frac{m_r}{T_r}\right), \quad (2.13)$$

čia λ ($0 \leq \lambda \leq 1$) naudojamas siekiant įvertinti detalių ir kauburėlių atitikimo rezultatą. M_m ir M_r yra pirmojo atspaudų, N_m ir N_r yra antrojo atspaudų detalių ir atrinktų taškų skaičius. m_m ir m_r yra sutampančių detalių ir taškų skaičius. T_m ir T_r yra sutampančių detalių ir taškų slenkstinės vertės. Visos šios vertės yra apskaičiuojamos atspaudų persidengimo vietose.

Jianjiango teigimu, kauburėlių požymiais pagrįstu metodu gaunami geresni rezultatai, negu išgaunant piršto atspaudų detalių savybes.

Kauburėlių savybių išskyrimas laiko atžvilgiu nėra pranašesnis. Pasak Jianjiango, piršto atspaudų detalių savybių išskyrimo trukmė yra maždaug 10 ms, o kauburėlių – 90 ms.

Taigi kauburėlių savybėmis pagrįstas metodas yra tikslesnis, negu detalėmis pagrįstas metodas, tačiau jis reikalauja daugiau laiko [11].

2.4. Skyriaus apibendrinimas

Detalėmis pagrįsto pirštų atspaudų atpažinimo metode naudojami išskirtiniai atspaudų taškai. Šio metodo privalumas yra nesudėtingi skaičiavimai, tačiau yra trūkumas – detalių išskyrimas gali įvelti nemažai klaidų.

MCC paremtas pirštų atspaudų atpažinimo metodas naudoja vietinę struktūrą, kuri koduoja erdvinį ir kryptinį santykį tarp detalių, kuris patogiai gali būti pateikiamas kaip cilindras. MCC galima realizuoti dvejetainiu pavidalu, kas leidžia cilindro atitikimą įgyvendinti tiksliai ir greitai, sumažinant loginių operacijų seką.

Kauburėlių požymiais pagrįstame atpažinimo metode veiksmai atliekami su pustonio vaizdu. Taip pat šiame metode naudojami sąryšiai tarp kauburėlių. Šio metodo privalumai yra kauburėlių požymių išskyrimo patikimumas – jis yra didesnis negu vien tik detalėmis paremtas metodas. Tačiau šis metodas reikalauja daugiau laiko lyginant su detalėmis pagrįstu metodu.

Darbo tyrimams atlikti pasirinktas detalėmis pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas.

3. Testavimo duomenų atranka

Testavimo duomenis sudaro skirtingos pirštų atspaudų duomenų bazės. Duomenų bazės buvo sugeneruotos remiantis tarptautiniu pirštų atspaudų autentiškumo patikrinimo įverčiu FVC. FVC – tai tarptautinis įvertinimas, orientuotas į pirštų atspaudų atpažinimo ir autentiškumo patikrinimo programinę įrangą. Kiekviena FVC pirštų atspaudų duomenų bazė yra sudaryta iš keturių skirtingų duomenų bazių. Trys duomenų bazes sudaro skirtingais jutikliais nuskaityti pirštų atspaudai, vieną duomenų bazę sudaro programine įranga sugeneruoti pirštų atspaudai [13].

Tyrimams naudojama „Biometric System Laboratory, DISI – University of Bologna“ pateikta programinė įranga „SfinGe“ [14]. „SfinGe“ leidžia pagal vartotojo pasirinktus parametrus sugeneruoti dirbtinius pirštų atspaudus. Dirbtinių pirštų atspaudų naudojimas tyrimams pasirinktas dėl to, kad atspaudų skenavimas jutikliais užima nemažai laiko, be to skirtingų jutiklių naudojimas yra gana brangus.

Viena duomenų bazė yra sudaryta iš dešimties pirštų, kiekvienam pirštui aštuoni skirtingi atspaudai, todėl iš viso vienoje duomenų bazėje yra aštuoniasdešimt pirštų atspaudų. Visi pirštų atspaudai yra pateikiami BMP formatu 24 bitų RGB paletėje. Piršto atspaudų raiška yra 288×384 arba 500 DPI. Tyrimo dalyje, kurioje reikia ištirti piršto atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybę nuo nuskaityto piršto atspaudų ploto, duomenų bazę sudaro dešimt vieno piršto atspaudų.

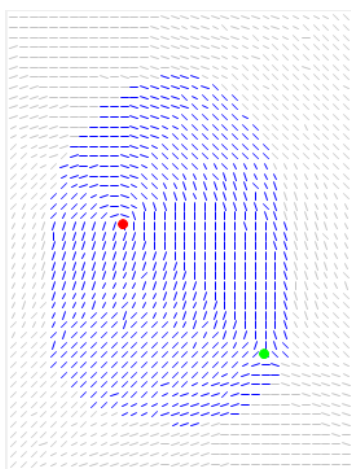
Pirštų atspaudų generavimas

Dirbtinių pirštų atspaudų generavimo eiga naudojant programinę įrangą „SfinGe“ susideda iš pagrindinių žingsnių:

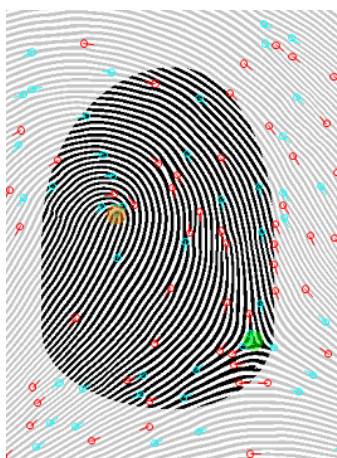
- 1) kryptinio vaizdo generavimas;
- 2) vaizdo tankinimas;
- 3) kauburėlių paveikslo generavimas;
- 4) vaizdo triukšmo sukūrimas ir atvaizdavimas. [14]

Generuojant kryptinį vaizdą yra pasirenkami piršto atspaudų požymių taškai, atspaudų klasė (arka, kairinė kilpa, dešininė kilpa, užraitas, palapinės formos arka) ir branduolys arba delta (žr. 3.1 pav.). Tankinant vaizdą nustatomas kauburėlių tankis ir jų nutrūkimų ir išsišakojimų kiekis (žr. 3.2 pav.). Generuojant kauburėlių paveikslą yra keletas žingsnių: įbrėžimų sukūrimas, slėgimo ir drėgnumo nustatymas, atspaudų paslinkimas ir odos elastingumas (žr. 3.3 pav.). Sukuriant triukšmą nustatomas kauburėlių ir įdubų ryškumo lygis bei jų įbrėžimas (žr. 3.4 pav.).

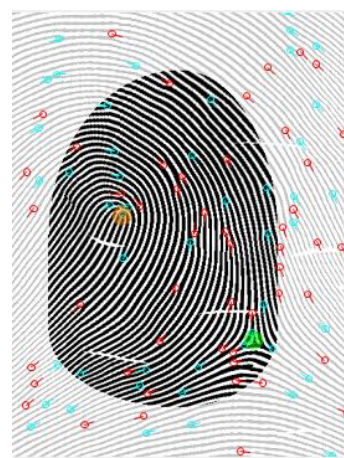
Atlikus visus šiuos etapus, galima pasirinkti kokių jutikliu nuskenuotas piršto atspaudas – talpinį, optinį arba be jutiklio pasirinkimo (žr. 3.5 pav.). Taip pat yra nustatomas atspaudų kontrastas ir ryškumo lygis. Žemiau pateiktuose paveiksluose atvaizduojamas piršto atspaudų generavimas.



3.1 pav. Kryptinis vaizdas



3.2 pav. Vaizdo tankinimas



3.3 pav. Kauburėlių paveikslas



3.5 pav. Triukšmo sukūrimas

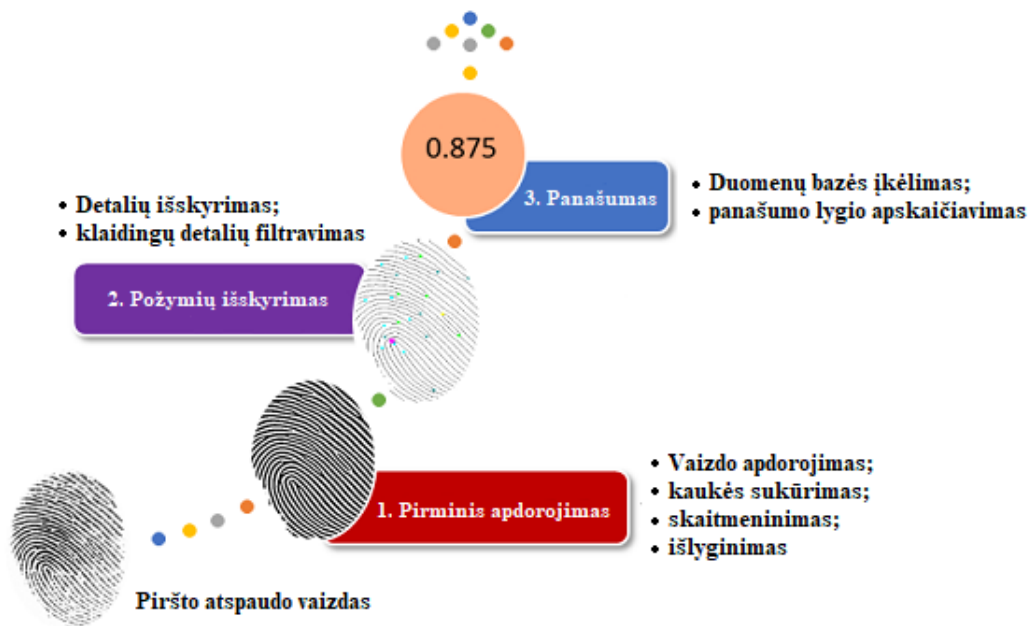


3.4 pav. Jutiklio pasirinkimas

4. Detalėmis pagrįsto pirštų atspaudų atpažinimo metodo algoritmas

Šiame skyriuje apžvelgiamas tyrimams naudojamo detalėmis pagrįsto pirštų atspaudų atpažinimo metodo algoritmas, taip pat aptariamos pagrindinės šio algoritmo dalys ir atliekamos funkcijos. Pirštų atspaudų atpažinimo metodas yra realizuotas „Matlab“ programine įranga. Visas programos kodas yra paimtas iš laisvai prieinamos „Mathworks“ duomenų bazės [15].

Metodo programos kodo algoritmo vaizdinis pateikimas yra pavaizduotas 4.1 paveiksle.

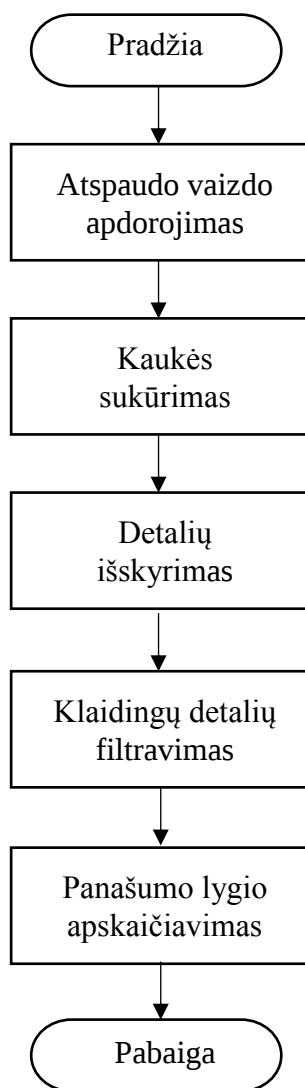


4.1 pav. Programos kodo algoritmo eiga [15]

Kaip matyti 4.1 pav., programos kodas susideda iš: pirminio vaizdo apdorojimo, požymių išskyrimo ir panašumo apskaičiavimo. Kiekvienas iš šių žingsnių yra suskirstytas į keleta etapų. 4.1 skyriuje pateikta metodo algoritmo struktūrinė schema ir aptarti pagrindiniai žingsniai ir jų etapai.

4.1. Algoritmo struktūrinė schema

Pirminio vaizdo apdorojimo žingsnį galima išskaidyti į šiuos etapus: atspaudų vaizdo apdorojimas ir kaukės sukūrimas. Požymių išskyrimas susideda iš: detalių išskyrimo ir klaidingų detalių filtravimo. Paskutiniame žingsnyje pagrindinis etapas yra panašumo lygio apskaičiavimas. Algoritmo struktūrinė schema, susidedanti iš išvardintų etapų, pavaizduota 4.2 paveiksle.



4.2 pav. Algoritmo struktūrinė schema

Pirmajame algoritmo žingsnyje, kai yra atliekamas atspaudų vaizdo apdorojimas, yra atliekamos filtravimo procedūros naudojant greitąją Furjė transformaciją. Atlikus filtravimą, atliekamas vaizdo normalizavimas, kuriuo metu identifikuojami atspaudų kauburėlių regionai. Šiame žingsnyje yra nurodomi pagrindiniai parametrai: bloko dydis ir slenkstinė vertė. Pirmasis žingsnis yra labai svarbus, kadangi metodo tikslumas tiesiogiai priklauso nuo atspaudų vaizdo kokybės.

Antrajame žingsnyje yra atliekamas kaukės sukūrimas. Kaukė susideda iš suklasifikuotų atspaudų vaizdo blokų į atpažintą arba neatpažintą bloką.

Trečiajame žingsnyje yra atliekamas detalių išskyrimas. Detalės yra išskiriamos naudojant numerių susikirtimo metodą (CN), kuriame atspaudas yra padalinamas į 3×3 dydžio blokus ir kiekviename bloke randamas atspaudų požymis.

Ketvirtajame žingsnyje atliekamas klaidingų detalių filtravimas. Filtravimas atliekamas dėl to, kad išskiriant detales atsiranda klaidų.

Paskutiniame žingsnyje yra atliekamas panašumo lygio apskaičiavimas tarp apdoroto atspaudų išskirtų požymių ir duomenų bazėje esančio atspaudų požymių.

4.2. Skyriaus apibendrinimas

Detalėmis pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas susideda ir pagrindinių dalių: pirminio apdorojimo, požymių išskyrimo ir panašumo apskaičiavimo. Kiekviena dalis turi atskirus etapus. Vienas iš svarbesnių etapų yra atspaudų vaizdo apdorojimas, kadangi tik su aukštos kokybės vaizdais galima pasiekti aukštą metodo tikslumą.

5. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo piršto odos paviršiaus būklės

Šiame skyriuje tiriama kaip detalėmis pagrįsto pirštų atspaudų atpažinimo metodo tikslumas priklauso nuo odos paviršiaus būklės. Odos paviršiaus būklę nusako kauburėlių ryškumo ir iškraipymų lygis. Siekiant atlikti šį tyrimą, pirmiausiai buvo sugeneruotos trys pirštų atspaudų duomenų bazės, kiekviena iš jų su skirtingu kauburėlių ryškumo lygiu. Ryškumo lygiai suskirstyti į trys grupes: didžiausias ryškumas, vidutinis ryškumas ir mažiausias ryškumas. Ryškumo lygis neturi konkrečios skaitinės vertės, kadangi pirštų atspaudų generavimo programinė įranga pateikia ryškumo lygio keitimo skalę be skaitinių verčių.

5.1. Duomenų bazių paruošimas

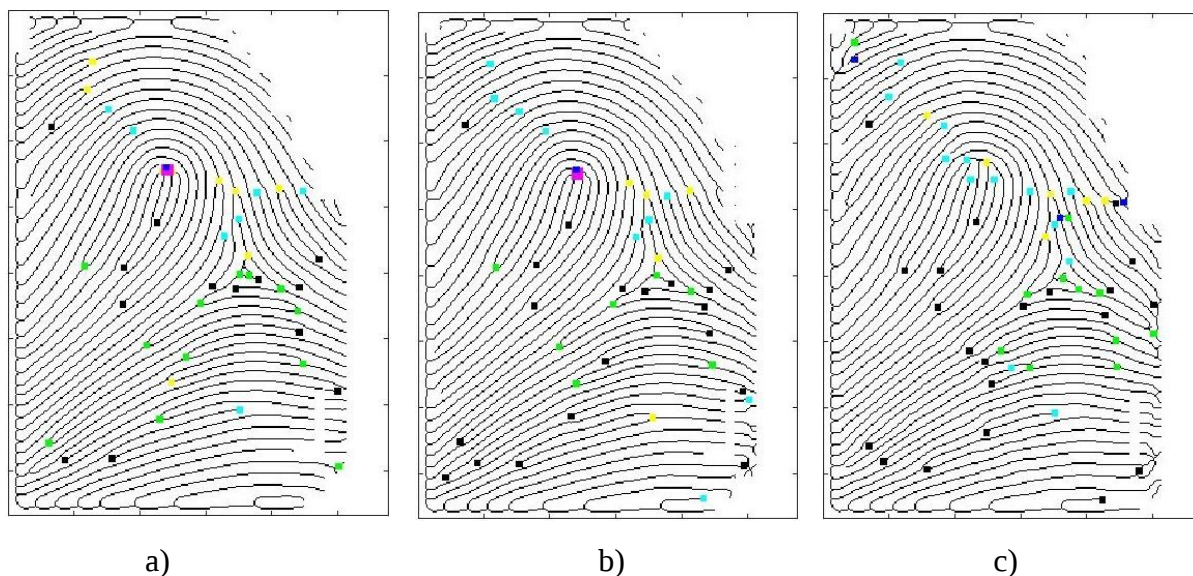
Tyrimo metu naudojant detalėmis pagrįstą pirštų atspaudų atpažinimo metodą iš trijų atspaudų duomenų bazių su skirtingais pirštų atspaudų ryškumo lygiais buvo išskirti jų požymiai ir išsaugoti į detalių duomenų bazes. Duomenų bazėms buvo suteikti tokie pavadinimai: MY2017_DB1, sudaryta iš pirštų atspaudų detalių su didžiausiu ryškumo lygiu, MY2017_DB2 su vidutiniu ryškumo lygiu ir MY2017_DB3 su mažiausiu ryškumo lygiu.

5.1 paveiksle pavaizduoti pirštų atspaudai, priklausantys skirtingoms duomenų bazėms.



5.1 pav. Pirštų atspaudų ryškumo lygiai: a) didžiausias, b) vidutinis, c) mažiausias

Pirštų atspaudų detalių duomenų bazė yra sudaryta iš detalių koordinacių, detalių tipo, detalių krypties. Išskirtų detalių pavyzdys esant skirtingam atspaudų ryškumo lygiui pavaizduotas 5.2 paveiksle. Tiriant pirštų atspaudų atpažinimo tikslumą atliekamas surastų detalių palyginimas.



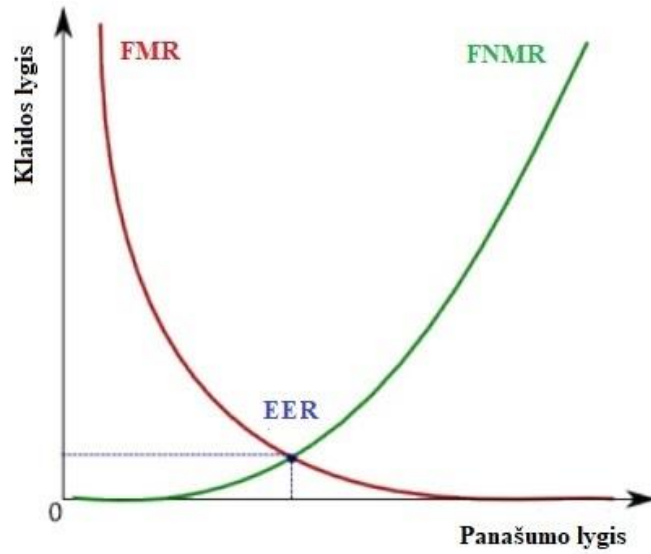
5.2 pav. Pirštų atspaudų detalės, skirtingiems ryškumo lygiams: a) didžiausiam, b) vidutiniam, c) mažiausiam

5.2. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo kriterijus

Biometrinėse sistemose egzistuoja dviejų tipų klaidos. Pirmą klaidą gaunama atliekant palyginimą tarp dviejų vienodų objektų, tačiau palyginimo rezultatas gaunamas toks, tarsi du lyginami objektai būtų skirtingi. Ši klaida vadinama klaidingai nesutampančia (angl. *false non-match*). Šios klaidos santykis vadinamas klaidingai nesutampantis lygis FNMR (angl. *false non-match rate*) arba klaidingai atmestas lygis FRR (angl. *false reject rate*).

Antrą klaidą gaunama atliekant palyginimą tarp dviejų skirtingų objektų, tačiau palyginimo rezultatas gaunamas toks, tarsi du lyginami objektai būtų vienodi. Ši klaida vadinama klaidingai sutampančia (angl. *false match*). Šios klaidos santykis vadinamas klaidingai sutampantis lygis FMR (angl. *false match rate*) arba klaidingai priimtas lygis FAR (angl. *false accept rate*).

Klaidos lygis EER (angl. *Equal Error Rate*) yra objektyvus kriterijus atliekamų testavimų klasifikavimui. EER apibrėžia sankirtos tašką tarp FNMR ir FMR kreivių kaip atmetimo ribos funkciją. Kitaip tariant, EER yra vertė, kai FNMR yra lygus FMR (žr. 5.3 pav.) [16, 17].



5.3 pav. Ryšys tarp FNMR, FMR ir EER [16]

FNMR ir FMR apskaičiavimo formulės:

$$FNMR(th) = \sum_{n=0}^{th-1} p_B(n), \quad th = 1, 2, 3, \dots, K, \quad (5.1)$$

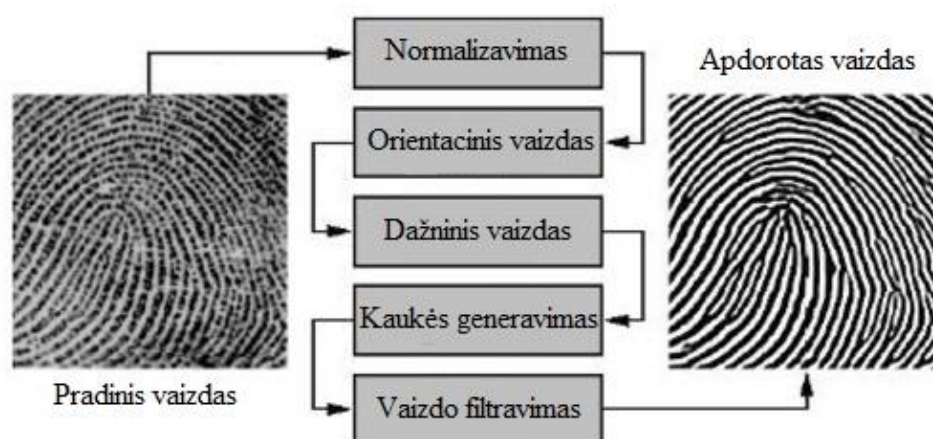
$$FMR(th) = 1 - \sum_{n=0}^{th-1} p_N(n), \quad th = 1, 2, 3, \dots, K, \quad (5.2)$$

čia th – ribinė vertė; n – panašumo lygis; p_B – atpažinti asmenys; p_N – neatpažinti asmenys.

p_B apibrėžiamas kaip santykis tarp matavimo kiekio su panašumo lygiu n atpažintiems asmenims ir bendro matavimo kiekio atpažintiems asmenims. p_N apibrėžiamas kaip santykis tarp matavimo kiekio su panašumo lygiu n neatpažintiems asmenims ir bendro matavimo kiekio neatpažintiems asmenims [16].

5.3. Pirminis piršto atspaudų vaizdo apdorojimas

Siekiant gauti kuo didesnę pirštų atspaudų atpažinimo metodo efektyvumą, reikia užtikrinti aukštą atspaudų vaizdų kokybę. Tai atlikti būtina, kadangi pradiniam atspaudų vaizde gali būti įvairaus triukšmo: vaizdo susiliejimų, netolygumų, skylių, dėmių. Triukšmas gali pakenti išskiriant detales, aptinkant kauburėlius ir įdubas. Šiuo tikslu yra atliekamas pirminis pirštų atspaudų vaizdo apdorojimas. Minėtas procesas susideda iš keletos etapų. Procesą eiliškumas pavaizduotas 5.4 paveiksle.

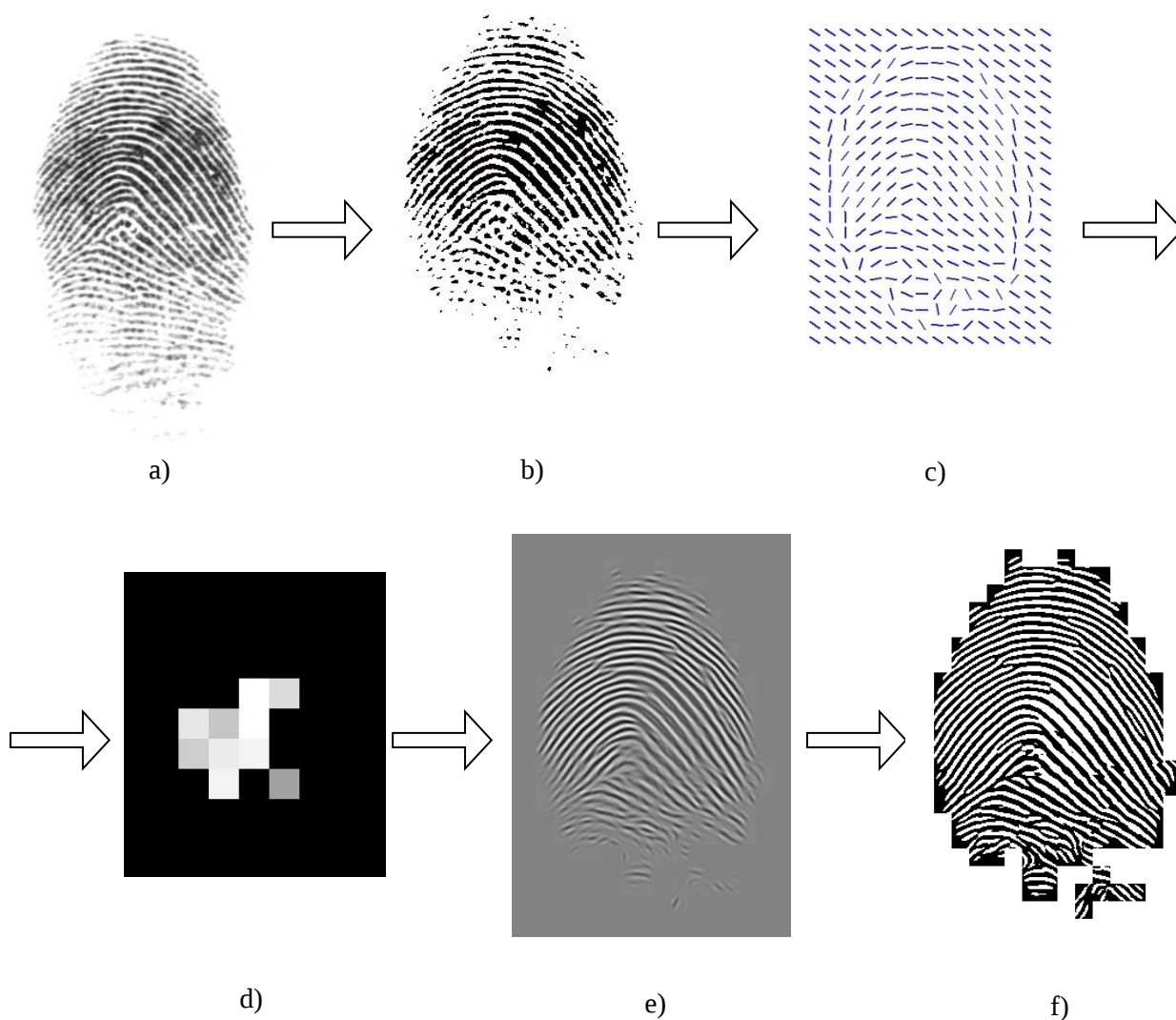


5.4 pav. Piršto atspaudų vaizdo pirminis apdorojimas [18]

Atspaudų vaizdo pirminio apdorojimo procesas susideda iš tokių etapų:

1. Normalizavimas. Tai svarbus tobulinimo metodas atvaizdo kontrasto atstatymui. Pradinis atspaudų vaizdas po normalizavimo, savyje turi vidutinę reikšmę ir apskaičiuotą dispersiją.
2. Orientacinio vaizdo apskaičiavimas. Šis žingsnis atliekamas po vaizdo normalizavimo ir gaunamas kauburėlių ir įdubų krypties vaizdas. Krypties vaizdas perteikia kauburėlių kryptį kiekviename pikselio.
3. Dažninio vaizdo apskaičiavimas. Dažninis vaizdas apskaičiuojamas turint normalizuotą ir orientacinį vaizdą. Šis vaizdas parodo kauburėlių ir įdubų skaičių vienam sekcijos ilgiui.
4. Kaukės apskaičiavimas. Kaukės sritis gaunama iš normalizuoto atspaudų vaizdo klasifikuojant kiekvieną bloką į atpažintą arba neatpažintą bloką. Kaukė nusako pikselio kategoriją. Galimos pikselio kategorijos: nei kauburėlis, nei įduba (neatpažintas) arba kauburėlis ir įduba (atpažintas).
5. Vaizdo filtravimas. Naudojant įvairius filtravimo algoritmus, gaunamas padidintos kokybės piršto atspaudų vaizdas [18].

5.5 paveiksle pateiktas piršto atspaudų vaizdo pirminis apdorojimas. Visų etapų seka atlikta naudojant „Matlab“ programinę įrangą. Funkcijos, atliekančios aprašytus apdorojimo etapus, buvo paimtos iš pateiktų pavyzdžių [19].



5.5 pav. Piršto atspaudų vaizdo pirminis apdorojimas: a) pradinis vaizdas, b) normalizuotas vaizdas, c) orientacinis vaizdas, d) dažninis vaizdas, e) filtravimas, f) apdorotas vaizdas

Atlikus pirminį pirštų atspaudų vaizdo apdorojimą atliekamos kitos procedūros. Pirmiausiai apdorotas vaizdas turi būti paverstas į dvejetainį formatą. Dvejetainio formato vaizde, kauburėliai nuo įdubų atskiriami patikimiau. Dažniausiai vaizdo pavertimui į dvejetainį formatą naudojamas ribinės vertės metodas. Apskaičiuojama piršto atspaudų ribinė vertė ir atspaudų atvaizdavimui naudojami tie pikseliai, kurių vertė yra didesnė už apskaičiuotą ribinę vertę.

Turint dvejetainio formato vaizdą, jis turi būti skeletizuojamas, tai yra kauburėlių plotis turi atitikti vieną pikselį (žr. 5.6 pav.). Atlikus pirminį piršto atspaudų vaizdo apdorojimą ir jį pavertus į dvejetainį formatą, galima išskirti piršto atspaudų požymius.

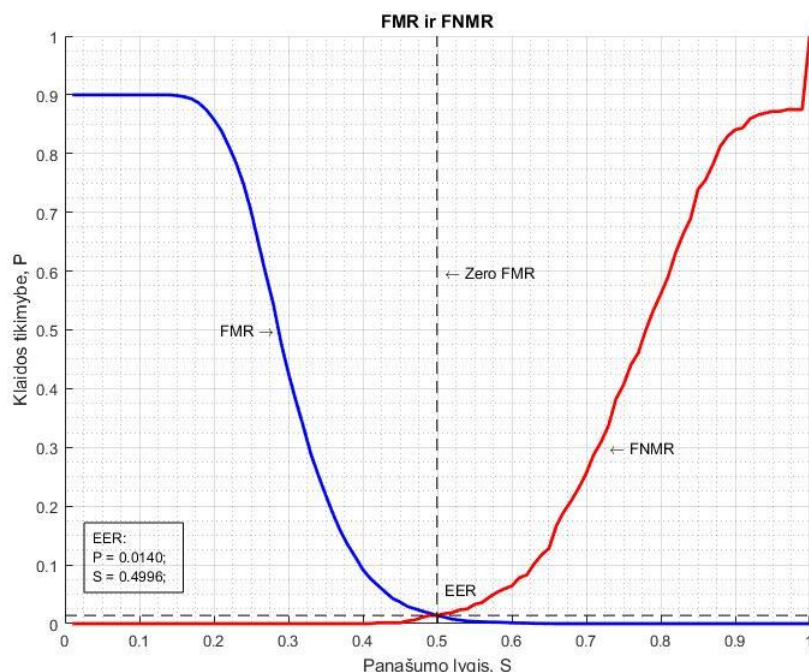


5.6 pav. Skeletizuotas vaizdas

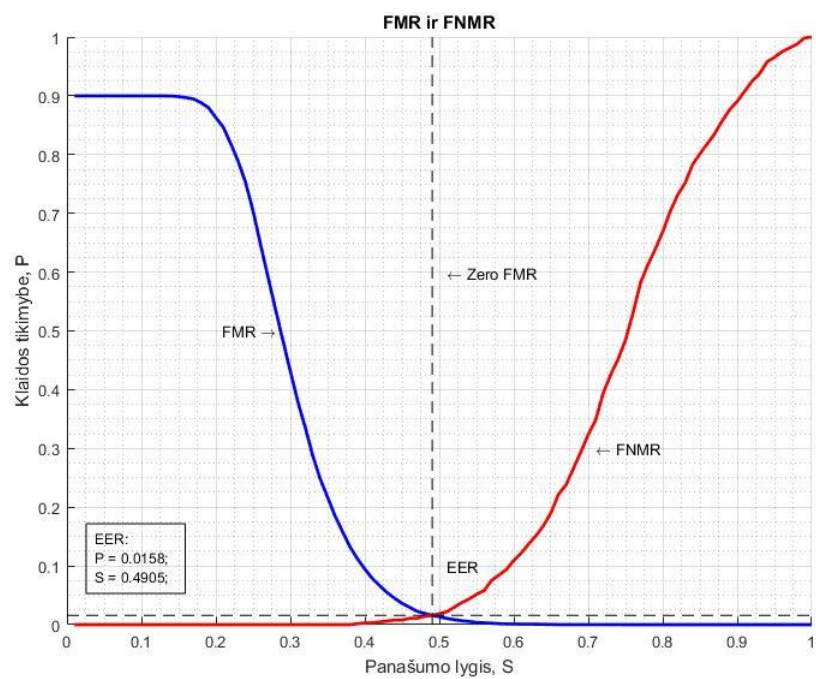
5.4. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo tyrimas

Tyrimo metu visi duomenų bazių rezultatai buvo lyginami su MY2017_DB1 duomenų baze, kurios ryškumo lygis yra didžiausias. Rezultatai pateikti žemiau esančiuose paveiksluose.

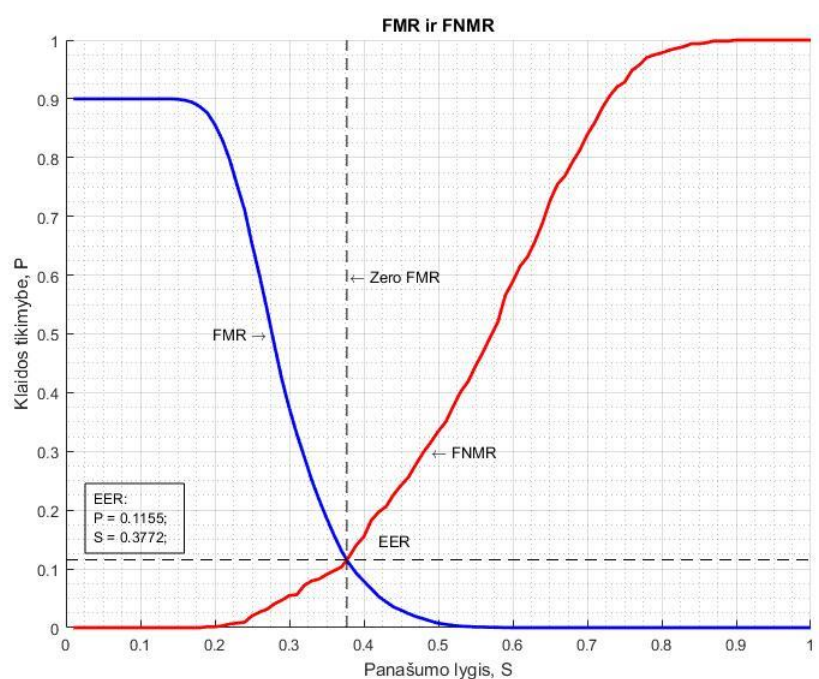
Pirmame paveiksle (žr. 5.7 pav.) pateiktas FMR ir FNMR grafikas, atvaizduojantis pirmosios duomenų bazės atspaudų atpažinimo rezultatus. Antrame paveiksle (žr. 5.8 pav.) pateiktas FMR ir FNMR grafikas, atvaizduojantis atspaudų atpažinimo rezultatų palyginimą tarp pirmosios ir antrosios duomenų bazių, 5.9 paveiksle – tarp pirmosios ir trečiosios duomenų bazių.



5.7 pav. FMR ir FNMR duomenų bazės MY2017_DB1 grafikas



5.8 pav. FMR ir FNMR duomenų bazės MY2017_DB2 grafikas



5.9 pav. FMR ir FNMR duomenų bazės MY2017_DB3 grafikas

EER lygis nustatytas FMR ir FNMR susikirtimo taške, ordinačių ašyje P . Bandymo rezultatai pateikti 5.1 lentelėje.

5.1 lentelė. EER lygis esant skirtingiems ryškumo lygiams

Duomenų bazė	EER
MY2017_DB1	0,0140
MY2017_DB2	0,0158
MY2017_DB3	0,1155

Iš 5.1 lentelėje pateiktų bandymo rezultatų matoma, kad antros duomenų bazės klaidos lygis, lyginant su pirmąją duomenų baze, padidėjo nežymiai – 0,002. Trečios duomenų bazės klaidų lygis padidėjo iki 0,1155.

Galima teigti, kad detalėmis pagrįsto atspaudų atpažinimo metodo tikslumas smarkiai sumažėja esant mažam atspaudų vaizdo ryškumui. Atsižvelgiant į tai, kitas tyrimo žingsnis bus išsiaiškinti, kaip kinta metodo tikslumas keičiant pirminio vaizdo apdorojimo parametrus.

5.5. Atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo pirminio vaizdo apdorojimo parametrų

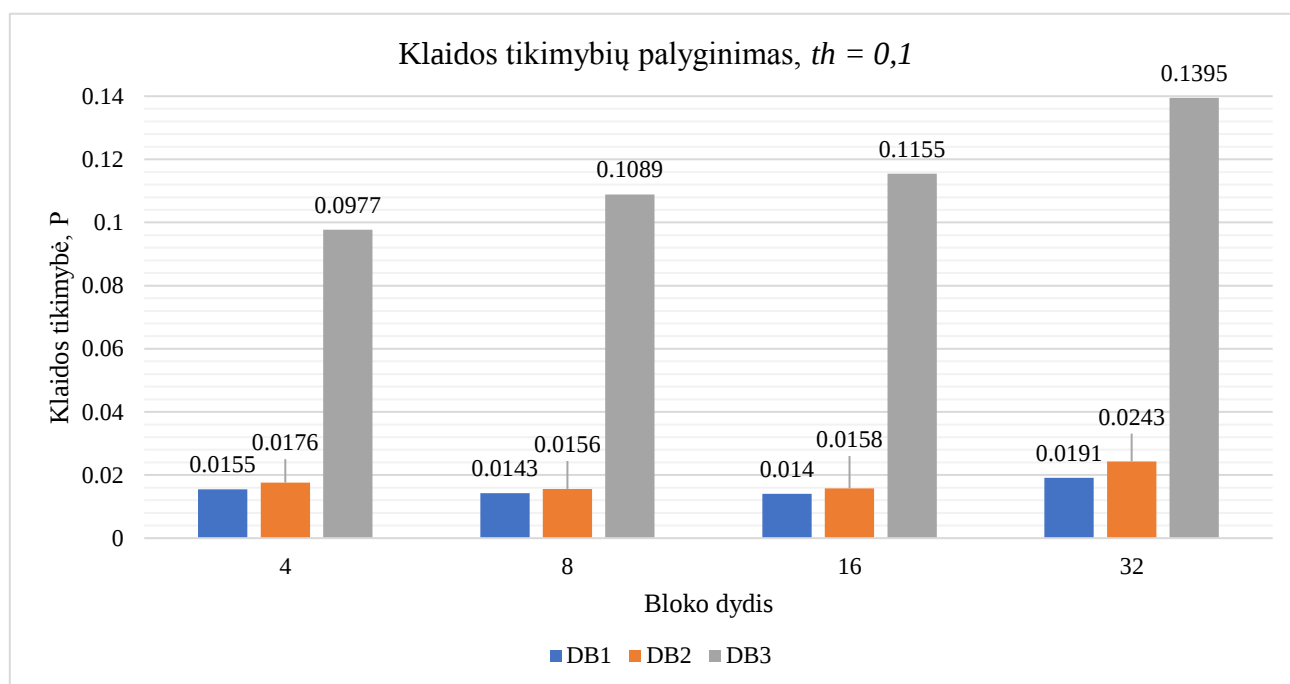
Pirminio vaizdo apdorojimo žingsnyje pirmiausiai atliekamas vaizdo filtravimas. Filtruotas vaizdas normalizuojamas ir suskaidomas į atitinkamo dydžio blokus. Šiame etape siekiama nustatyti, kokią įtaką daro vaizdo normalizavimo ir jo suskaidymo į blokus žingsnyje naudojami parametrai. Pagrindiniai parametrai: bloko dydis (*blksz*) ir standartinio nuokrypio slenkstinė vertė (*th*).

Algoritmui, kuris atlieka minėtą procedūrą, reikalingi šie parametrai: atspaudų vaizdas, bloko dydis, slenkstinė vertė. Algoritmas suskaido vaizdą į norimo dydžio blokus ir kiekviename iš jų apskaičiuoja standartinį nuokrypį. Jeigu standartinis nuokrypis tame regione yra didesnis už nurodytą slenkstinę vertę, tuomet jis laikomas piršto atspaudų dalimi. Atspaudų vaizdo raiškiai esant 500 DPI, bloko dydis numatytas 16, slenkstinė vertė 0,1. Bandymo metu keičiami abu parametrai.

Pirmiausiai siekiama nustatyti metodo tikslumo priklausomybę nuo skirtingo bloko dydžio. Šiam bandymui buvo sugeneruotos tokios pačios struktūros duomenų bazės kaip ir ankstesniame bandyme, tačiau papildomai buvo keičiamas bloko dydis, o slenkstinė vertė išliko pastovi – 0,1. Duomenų bazės ir jų gauti rezultatai yra pateikiami 5.2 lentelėje. Kaip 5.4 tiriamojo darbo punkte, EER lygis buvo nustatomas FMR ir FNMR susikirtimo taške.

5.2 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingiems bloko dydžiams

Duomenų bazė	Bloko dydis	Ryškumo lygis	EER
DB1_BLOCK_4	4	didžiausias	0,0155
DB2_BLOCK_4	4	vidutinis	0,0176
DB3_BLOCK_4	4	mažiausias	0,0977
DB1_BLOCK_8	8	didžiausias	0,0143
DB2_BLOCK_8	8	vidutinis	0,0156
DB3_BLOCK_8	8	mažiausias	0,1089
DB1_BLOCK_16	16	didžiausias	0,0140
DB2_BLOCK_16	16	vidutinis	0,0158
DB3_BLOCK_16	16	mažiausias	0,1155
DB1_BLOCK_32	32	didžiausias	0,0191
DB2_BLOCK_32	32	vidutinis	0,0243
DB3_BLOCK_32	32	mažiausias	0,1395



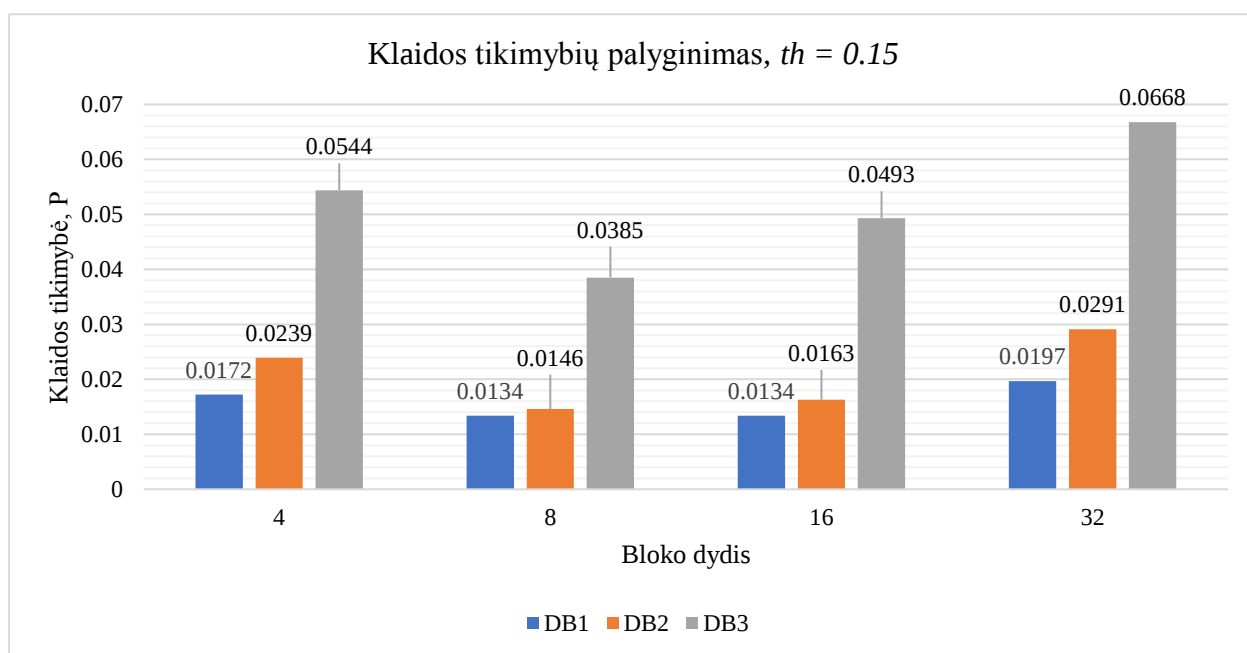
5.10 pav. Klaidos tikimybių palyginimo diagrama, esant skirtingiems bloko dydžio ir ryškumo lygiams

Klaidos tikimybių diagramoje (žr. 5.10 pav.) matyti, kad klaidos tikimybė ženkliai padidėja esant mažiausiam ryškumo lygiui. Pavyzdžiui, kai bloko dydis yra 4, klaidos lygis esant didžiausiam atspaudų ryškumui – 0,0155, mažiausiam ryškumui – 0,0977. Žemiausias klaidos lygis esant mažiausiam ryškumo lygiui buvo gautas naudojant vaizdo suskaidymą į 4×4 dydžio blokus. Esant didžiausiam ryškumo lygiui, žemiausias klaidos lygis buvo pasiektas naudojant numatytą bloko reikšmę 16.

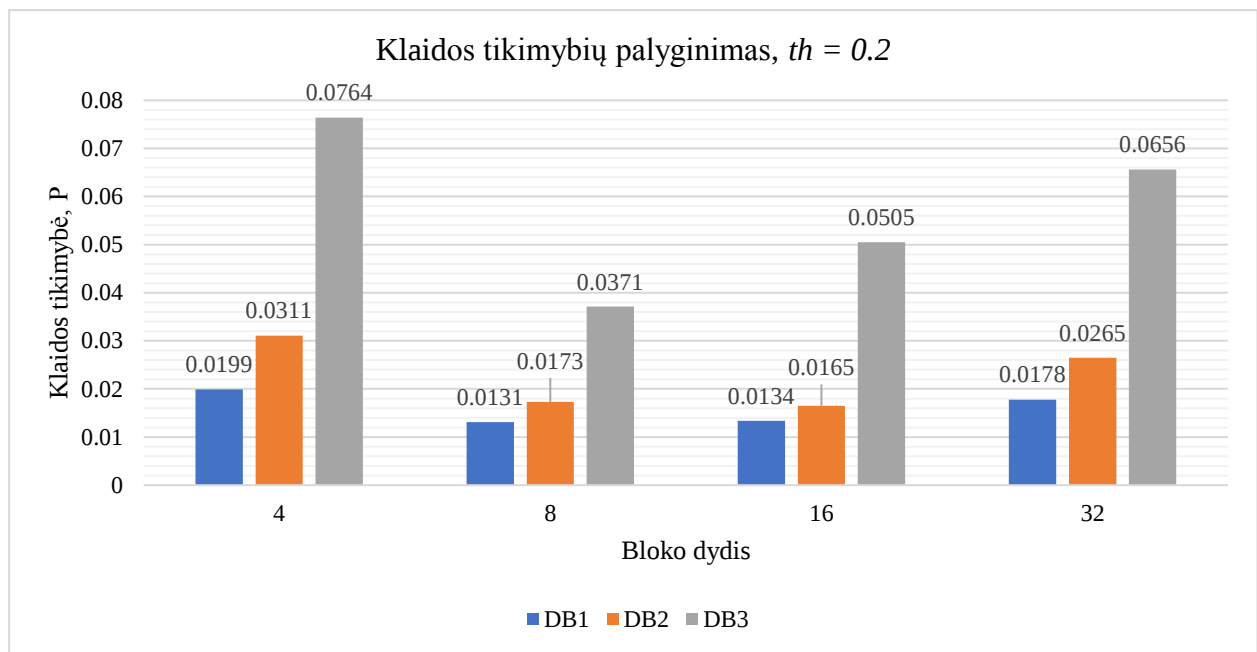
Kitame bandymo etape buvo siekiama nustatyti metodo tikslumo priklausomybę nuo skirtingos slenkstinės vertės. Duomenų bazės ir jų gauti rezultatai esant skirtingoms slenkstinėms vertėms (kai $th = 0,15$ ir $th = 0,2$) yra pateikiami 5.3 lentelėje.

5.3 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingoms slenkstinėms vertėms

Duomenų bazė	Bloko dydis	Ryškumo lygis	EER	
			$th = 0,15$	$th = 0,2$
DB1_BLOCK_4	4	didžiausias	0,0172	0,0199
DB2_BLOCK_4	4	vidutinis	0,0239	0,0311
DB3_BLOCK_4	4	mažiausias	0,0544	0,0764
DB1_BLOCK_8	8	didžiausias	0,0134	0,0131
DB2_BLOCK_8	8	vidutinis	0,0146	0,0173
DB3_BLOCK_8	8	mažiausias	0,0385	0,0371
DB1_BLOCK_16	16	didžiausias	0,0134	0,0134
DB2_BLOCK_16	16	vidutinis	0,0163	0,0165
DB3_BLOCK_16	16	mažiausias	0,0493	0,0505
DB1_BLOCK_32	32	didžiausias	0,0197	0,0178
DB2_BLOCK_32	32	vidutinis	0,0291	0,0265
DB3_BLOCK_32	32	mažiausias	0,0668	0,0656



5.11 pav. Klaidos tikimybių palyginimo diagrama, kai slenkstinė vertė yra 0,15



5.12 pav. Klaidos tikimybių palyginimo diagrama, kai slenkstinė vertė yra 0,2

Lyginant su pirmuoju bandymu, kai buvo keičiamas bloko dydis, o slenkstinė vertė išliko pastovi – 0,1, gautos klaidos tikimybių vertės yra žymiai mažesnės esant mažiausiam atspaudų ryškumo lygiui. Pavyzdžiui, pirmajame bandyme mažiausią EER lygį, taip pat ir aukščiausią tikslumą, pavyko gauti naudojant bloko dydį 4, EER buvo lygus 0,0977. Pakeitus slenkstinę vertę į 0,15, mažiausią EER lygį pavyko gauti naudojant bloko dydį 8, jis buvo lygus 0,0385 (žr. 5.11 pav.). Paskutiniame bandyme pakeitus slenkstinę vertę į 0,2, mažiausią EER lygį pavyko gauti taip pat naudojant bloko dydį 8, jis buvo lygus 0,0371 (žr. 5.12 pav.).

Galima teigti, kad parinkus tinkamiausius pirminio vaizdo apdorojimo etapo parametrus galima pasiekti mažesnę klaidos lygį EER ir užtikrinti didesnę tikslumą. Pirštų atspaudų atpažinimo metodas, priklausomai nuo atspaudų vaizdo kokybės, turėtų automatiškai parinkti tiek bloko, tiek slenkstinės vertės dydžius. Kitame žingsnyje bus realizuotas automatinis minėtų verčių parinkimas pagal gautus rezultatus.

5.6. Pirštų atspaudų atpažinimo metodo automatinio verčių parinkimo realizavimas

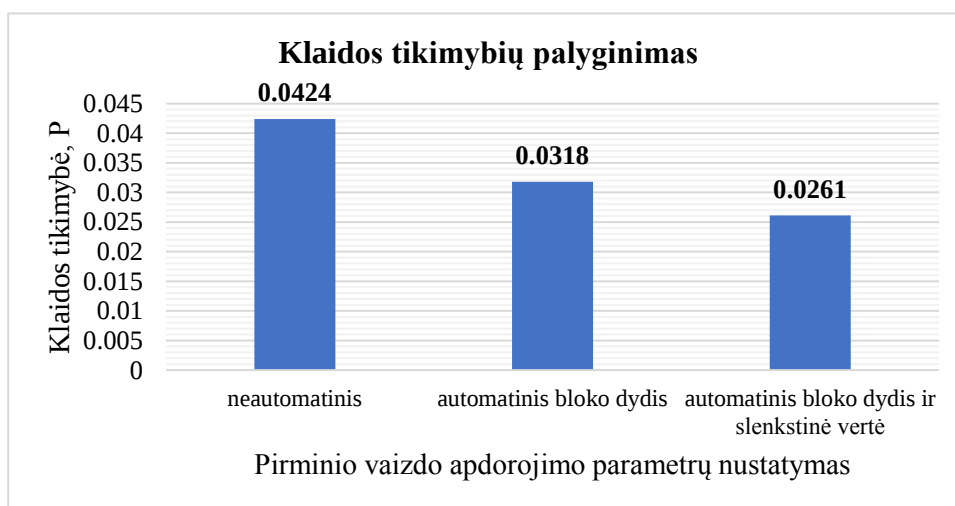
Šiam bandymui sukurta duomenų bazė, kurią sudaro mažiausio, vidutinio ir didžiausio ryškumo lygio pirštų atspaudai. Tokia duomenų bazė naudojama siekiant nustatyti automatinio verčių parinkimo efektyvumą. Atsižvelgiant į piršto atspaudų kokybę, pirštų atspaudų atpažinimo metodas, turi savarankiškai nustatyti tinkamus parametrus (bloko dydį, slenkstinę vertę) prieš atliekant pirminį vaizdo apdorojimą.

Pirmiausiai buvo nustatyta, koks yra metodo atpažinimo klaidos lygis naudojant numatytus parametrus, t. y. bloko dydį 16, slenkstinę vertę 0,1.

Antrame etape įvykdytas automatinis bloko dydžio nustatymas. Šiuo atveju, esant mažiausiam ryškumo lygiui, bloko dydis bus nustatomas 4, kitais atvejais 16.

Paskutiniame etape įvykdytas automatinis bloko dydžio ir slenkstinės vertės nustatymas. Šiuo atveju, esant mažiausiam ryškumo lygiui, bloko dydis bus nustatomas 8, o slenkstinė vertė 0,2.

Bandymo rezultatai palyginti 5.10 paveikslo diagramoje. Naudojant numatytus pirminio vaizdo apdorojimo etapo parametrus gautas EER yra lygus 0,0424. Įvykdžius tik automatinį bloko dydžio nustatymą gautas mažesnis EER dydis – 0,0318. Įvykdžius automatinį bloko dydžio ir slenkstinės vertės nustatymą, EER pavyko sumažinti iki 0,0261 (žr. 5.13 pav.).



5.13 pav. Klaidos tikimybių palyginimo diagrama, esant skirtingam nustatymui

Paskutinio bandymo rezultatai parodė, kad parinkus tinkamiausius pirminio vaizdo apdorojimo etapo parametrus, galima pasiekti mažesnę metodo atpažinimo klaidos lygį, tuo užtikrinant didesnę metodo tikslumą.

5.7. Skyriaus apibendrinimas

Pirmame tyrimo etape siekiant nustatyti metodo tikslumo priklausomybę nuo atspaudų paviršiaus būklės buvo gauta, kad esant mažiausiam atspaudų ryškumo lygiui metodo tikslumas smarkiai sumažėja – klaidos lygis nuo 0,0140 padidėjo iki 0,1155.

Turint pirmo etapo rezultatus, antrame etape buvo siekiama nustatyti kaip galima būtų padidinti šio metodo tikslumą. Šiuo atveju buvo keičiami pirminio vaizdo apdorojimo parametrai: bloko dydis

ir slenkstinę vertę. Nustatyta, kad keičiant tik bloko dydį, esant mažiausiam atspaudų vaizdo ryškumo lygiui reikia taikyti bloko dydį 4×4 .

Kitame etape tiriant kaip kinta metodo tikslumo priklausomybė nuo atspaudų paviršiaus būklės, keičiant bloko dydį ir slenkstinę vertę, geriausi rezultatai buvo gauti naudojant bloko dydį 8×8 ir slenkstinę vertę 0,2.

Paskutiniame etape buvo realizuotas automatinis pirminio vaizdo apdorojimo etapo parametrų pasirinkimas. Esant automatiniam bloko dydžio ir slenkstinės vertės nustatymui, metodo klaidos lygis sumažėjo nuo 0,0424 iki 0,0261.

6. Pirštų atspaudų panašumo lygio apskaičiavimo metodų palyginimas

Šiame skyriuje lyginami du skirtingi pirštų atspaudų panašumo lygio nustatymo metodai. Abu metodai naudoja piršto atspaudų išskirtas detales. Pirmasis panašumo lygio nustatymo metodas yra detalėmis pagrįstas panašumas, kuris aprašytas 2.1 skyriuje. Šis metodas atlieka detalių šablonų palyginimą naudojant 2.3 ir 2.4 formules skaičiuojant atstumą tarp detalių. Antrasis metodas aptartas 2.2 skyriuje, jo pavadinimas yra MCC. Šiame metode yra naudojami cilindrai, kuriuose yra užkoduotas erdvinis ir kryptinis santykis tarp detalių. Panašumo lygis yra nustatomas taikant vietinio panašumo matavimą pagal 2.2 skyriuje pateikiamą 2.8 formulę.

Šiam tyrimui naudojama dirbtinai sugeneruotų pirštų atspaudų duomenų bazė, kurią sudaro mažiausio, vidutinio ir didžiausio ryškumo lygio pirštų atspaudai aptarti 5.6 skyriuje. Tyrimams skirti pirštų atspaudų požymiai išskirti detalėmis pagrįstu pirštų atspaudų atpažinimo metodu.

MCC metodo tyrimui atlikti naudojama atvirojo kodo programa „Minutia Cylinder-Code SDK“ [20]. Detalėmis grįstu panašumo lygio apskaičiavimo metodui rezultatai paimti iš 5.6 skyriaus, kadangi šis metodas buvo naudojamas ankstesniuose bandymuose.

6.1. MCC metodo parametrai ir panašumo lygio apskaičiavimas

MCC metode yra daug skirtingų parametrų, nuo kurių priklauso panašumo lygio rezultatas. Pagrindiniai parametrai, kurie naudojami MCC metodo autoriaus tyrimuose, pateikiami A priedo lentelėje [20]. Šio tyrimo metu yra keičiami du parametrai: cilindro spindulys R (pikseliais) ir ląstelių kiekis N_S . Bandymams pasirinktos vertės yra pateikiamos 6.1 lentelėje.

6.1 lentelė. Tyrimo metu keičiamų parametrų vertės

$N_S = 8$	$N_S = 16$
R = 40	
R = 50	
R = 60	
R = 70	
R = 80	
R = 90	
R = 100	

Atliekant dviejų pirštų atspaudų palyginimą, pirmiausiai iš išskirtų piršto atspaudų detalių pagal pasirinktus parametrus yra sukuriamas šablonas. Šablonų sukūrimui buvo naudojama šio metodo

pateikta „Matlab“ funkcija *MccEnroller*. Funkcijai kaip parametrus reikia perduoti piršto atspaudų išskirtų detalių failą, šablono pavadinimą, metodo parametrus ir rezultatų pranešimo failą. Žemiau yra pateikiamas šios funkcijos naudojimo pavyzdys:

```
MccEnroller(Minutiae.txt, MccTemplate.txt, 'EnrollParam.xml', 'Results.txt')
```

Prieš atliekant dviejų šablonų palyginimą yra nustatomi panašumo radimo funkcijos parametrai. Šių parametrų nustatymas yra pateikiamas žemiau esančioje programos kodo dalyje:

```
BioLab.Biometrics.Mcc.Sdk.MccSdk.SetMccMatchParameters('MatchParam.xml')
```

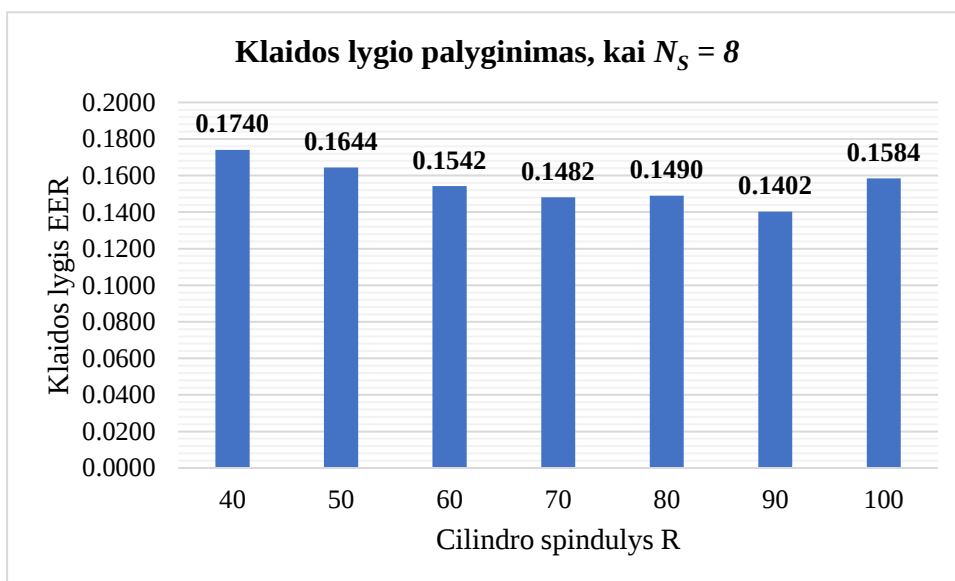
Nustačius visus reikalingus parametrus, atliekamas panašumo lygio apskaičiavimas naudojant žemiau pateiktą komandą:

```
BioLab.Biometrics.Mcc.Sdk.MccSdk.MatchMccTemplates(template1, template2)
```

6.2. MCC metodo panašumo lygio tyrimas

MCC metodo panašumo lygio tyrimo rezultatai pateikiami klaidos lygiu EER iš FMR ir FNMR grafikų.

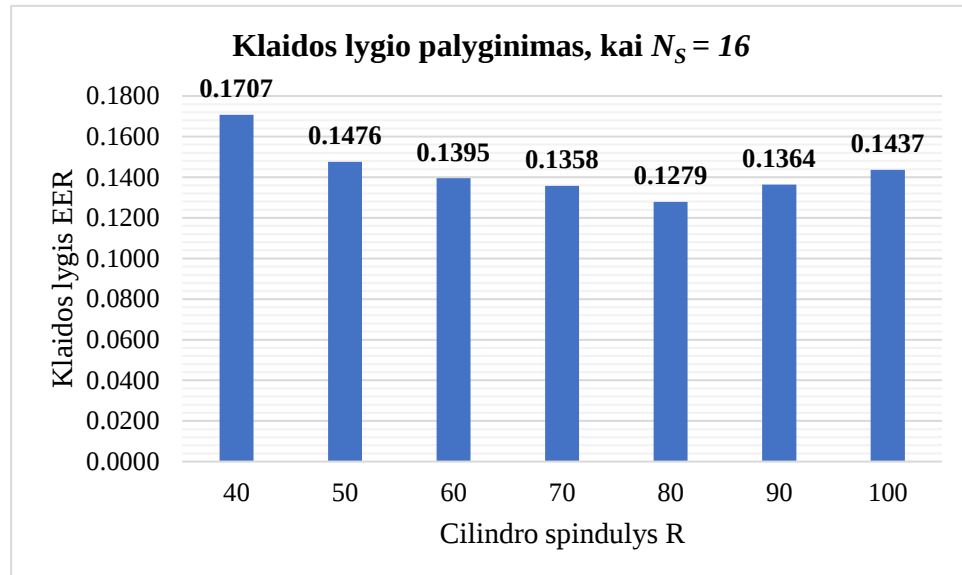
Pirmiausiai bandymai buvo atlikti, kai $N_S = 8$.



6.1 pav. Klaidos lygio palyginimas, kai $N_S = 8$

6.1 paveiksle matyti, kad didinant cilindro spindulį klaidos lygis mažėja. Mažiausias klaidos lygis gautas, kai cilindro spindulys (R) buvo lygus 90 pikselių – $EER = 0,1402$. Padidinus cilindro spindulį iki 100, klaidos lygis vėl padidėjo.

Kitame bandyme ląstelių kiekis N_S buvo padidintas iki 16.



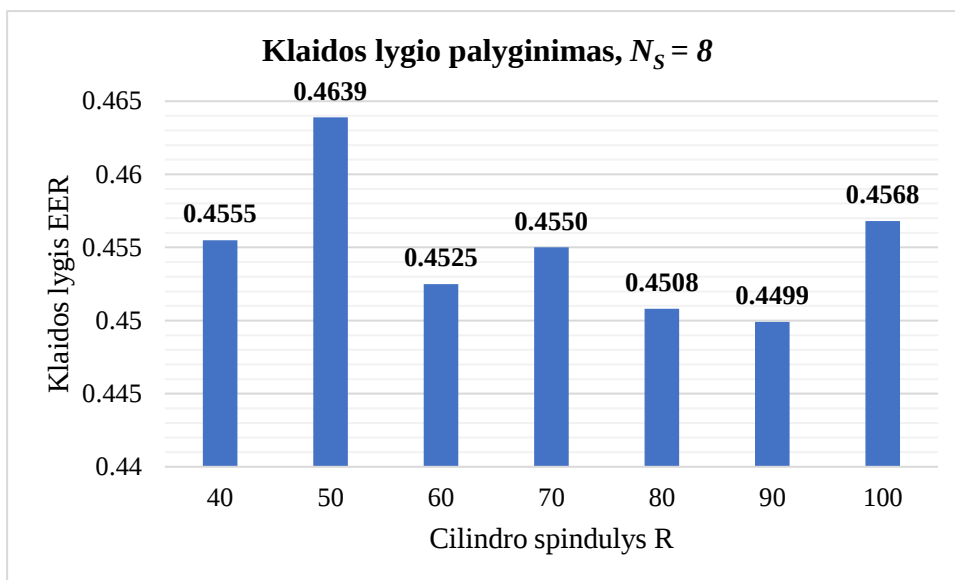
6.2 pav. Klaidos lygio palyginimas, kai $N_S = 16$

6.2 paveiksle matyti, kad didinant cilindro spindulį, klaidos lygis mažėja kaip ir ankstesniame bandyme. Mažiausias klaidos lygis gautas, kai cilindro spindulys buvo lygus 80 pikselių – $EER = 0,1279$. Toliau didinus cilindro spindulį klaidos lygis vėl pradėjo didėti.

Atlikus šiuos du bandymus gauta, kad geriausias rezultatas šiai duomenų bazei užtikrinamas, kai ląstelių kiekis yra 16 ir cilindro spindulis 80 ($N_S = 16$, $R = 80$).

Bandymai pakartoti su oficialios duomenų bazės FVC2002 antrąja duomenų baze DB2, kurioje pirštų atspaudai yra nuskaityti naudojant optinį jutiklį „FX2000“ ir su trečiąja duomenų baze DB3, kurioje pirštų atspaudai yra nuskaityti naudojant talpinį jutiklį „100 SC“.

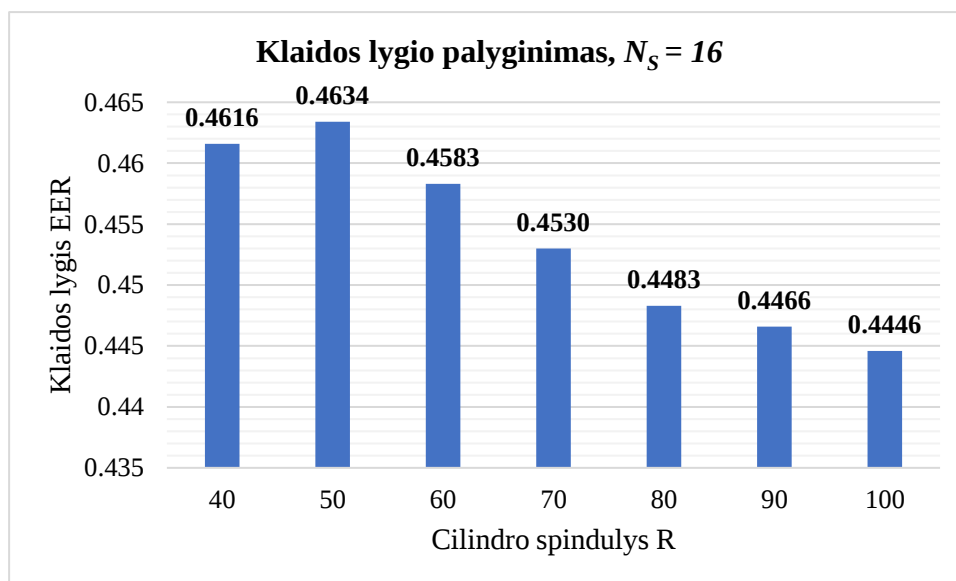
Pirmiausiai bandymai atlikti su FVC2002 DB2 duomenų baze, kai $N_S = 8$. Bandymo rezultatai yra pateikiami 6.3 paveiksle.



6.3 pav. Klaidos lygio palyginimas naudojant optinį jutiklį, kai $N_s = 8$

6.3 paveiksle matyti, kad didinant cilindro spindulį klaidos lygis kito nepastoviai. Mažiausias klaidos lygis gautas, kai cilindro spindulys (R) buvo lygus 90 pikselių – $EER = 0,4499$.

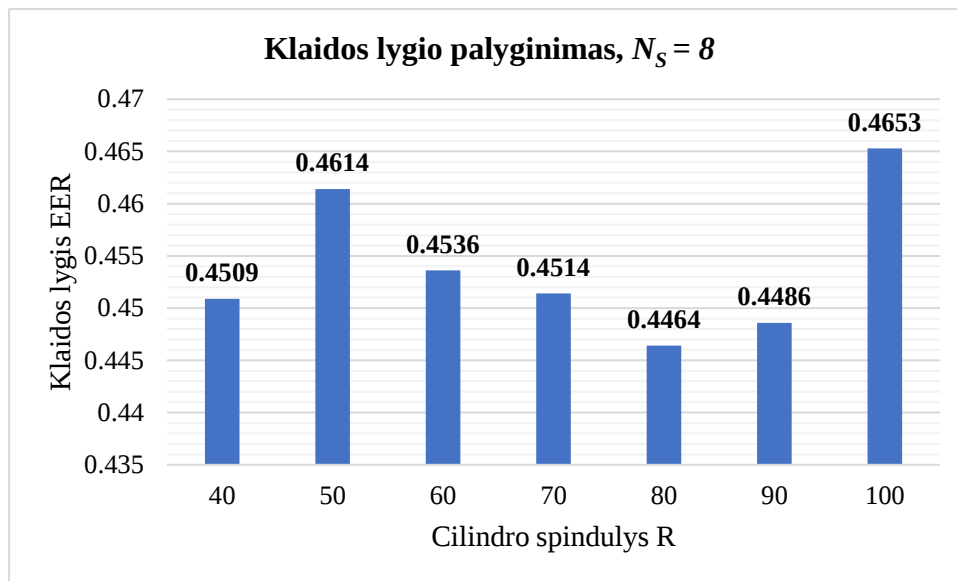
Kitas bandymas buvo atliekamas, kai $N_s = 16$ (žr. 6.4 pav.)



6.4 pav. Klaidos lygio palyginimas naudojant optinį jutiklį, kai $N_s = 16$

6.4 paveiksle matyti, kad didinant cilindro spindulį klaidos lygis pradžioje padidėjo, tačiau toliau didinant spindulį klaidos lygis pastoviai mažėjo. Mažiausias klaidos lygis buvo gautas naudojant cilindro spindulį (R) 100 pikselių, $EER = 0,4446$.

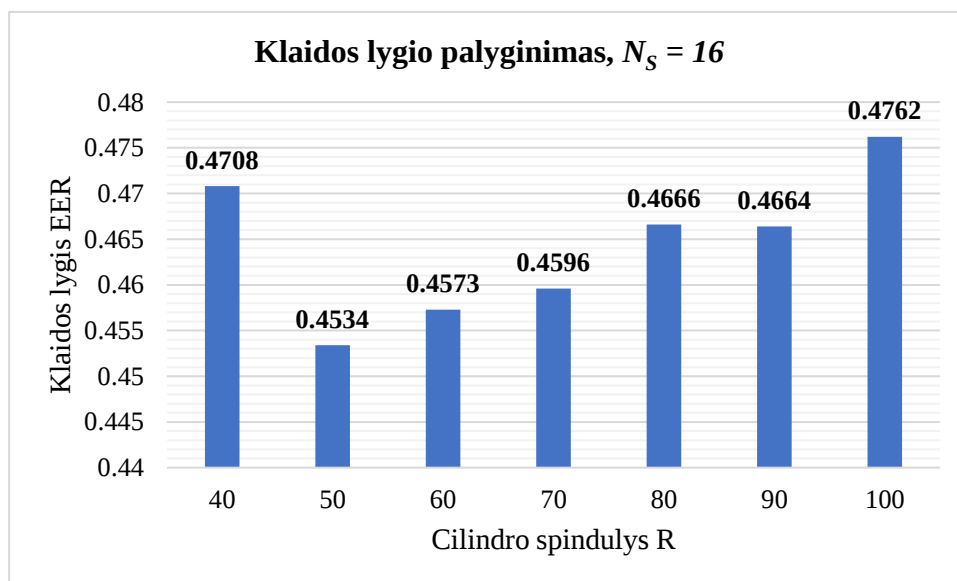
Bandymai buvo atlikti su FVC2002 DB3 duomenų baze, kai $N_S = 8$. Bandymo rezultatai yra pateikiami 6.5 paveiksle.



6.5 pav. Klaidos lygio palyginimas naudojant talpinį jutiklį, kai $N_S = 8$

Iš 6.5 paveikslo matoma, kad didinant cilindro spindulį klaidos lygis kito nepastoviai kaip ir optinio jutiklio atveju, kai $N_S = 8$. Mažiausias klaidos lygis gautas kai cilindro spindulys (R) buvo lygus 80 pikselių – $EER = 0,4464$.

Kitas bandymas buvo atliekamas, kai $N_S = 16$ (žr. 6.6 pav.)



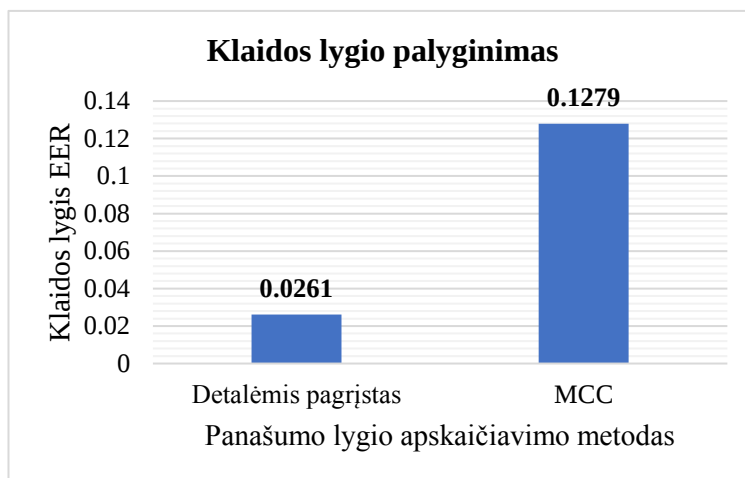
6.6 pav. Klaidos lygio palyginimas naudojant talpinį jutiklį, kai $N_S = 16$

6.6 paveiksle matyti, kad didinant cilindro spindulį mažiausias klaidos lygis buvo gautas kai cilindro spindulys (R) buvo lygus 50 pikselių – $EER = 0,4534$. Toliau didinant cilindro spindulį klaidos lygis didėjo, tačiau ties $R = 90$ sumažėjo. Padidinus cilindro spindulį iki 100, klaidos lygis padidėjo.

Optiniu jutikliu nuskaitytais pirštų atspaudais mažiausias klaidos lygis buvo gautas kai ląstelių kiekis buvo lygus 16 ir cilindro spindulys buvo 100 pikselių ($N_S = 16, R = 100$). Talpiniu jutikliu nuskaitytais pirštų atspaudais mažiausias klaidos lygis buvo gautas kai ląstelių kiekis buvo lygus 8 ir cilindro spindulys buvo 80 pikselių ($N_S = 8, R = 80$).

6.3. Metodų palyginimas

Pirmojo metodo panašumo lygio apskaičiavimo rezultatai paimti iš 5.6 skyriaus, kai buvo realizuotas detalėmis pagrįsto pirštų atspaudų atpažinimo metodo automatinis bloko dydžio ir slenkstinės vertės nustatymas. Antrojo metodo geriausias rezultatas paimtas iš prieš tai atlikto bandymo naudojant dirbtinai sugeneruotų pirštų atspaudų duomenų bazę. Dviejų metodų palyginimas pateiktas 6.7 paveiksle.



6.7 pav. Panašumo lygio apskaičiavimo metodų palyginimas

Lyginant du metodus gauta, kad naudojant detalėmis pagrįstą panašumo apskaičiavimą, užtikrinamas mažesnis klaidos lygis negu MCC metode, kuriame naudojama cilindro struktūra. Pirmajame metode gautas klaidos lygis – $EER = 0,0261$, antrajame metode gautas klaidos lygis – $EER = 0,1279$. Galima teigti, kad tokių rezultatų galima buvo tikėtis, kadangi pirmasis metodas (detalėmis pagrįstą panašumas) yra naudojamas detalėmis pagrįstame pirštų atspaudų atpažinimo metode.

6.4. Skyriaus apibendrinimas

Pirmiausiai atlikus MCC metodo panašumo lygio apskaičiavimo bandymus nustatyta, kad skirtingoms pirštų atspaudų duomenų bazėms turi būti naudojami skirtingi parametrai. Dirbtinai sugeneruotų pirštų atspaudų duomenų bazei parametrai turi būti tokie: $N_S = 16$, $R = 80$. Optiniu jutikliu „FX2000“ nuskaitytų pirštų atspaudų duomenų bazės parametrai turi būti tokie: $N_S = 16$, $R = 100$. Talpiniu jutikliu „100 SC“ nuskaitytų pirštų atspaudų duomenų bazės parametrai turi būti tokie: $N_S = 8$, $R = 80$.

Palyginus du skirtingus panašumo lygio apskaičiavimo metodus gauta, kad detalėmis pagrįstas panašumo metodas užtikrina mažesnę klaidos lygį negu MCC metodas. Tokie rezultatai buvo gauti, kadangi abiem metodams buvo naudojamos detalėmis pagrįstu pirštų atspaudų atpažinimo metodu išskirtos pirštų atspaudų detalės. Detalėmis pagrįstas panašumo apskaičiavimo metodas yra pritaikytas minėtam pirštų atspaudų atpažinimo metodui.

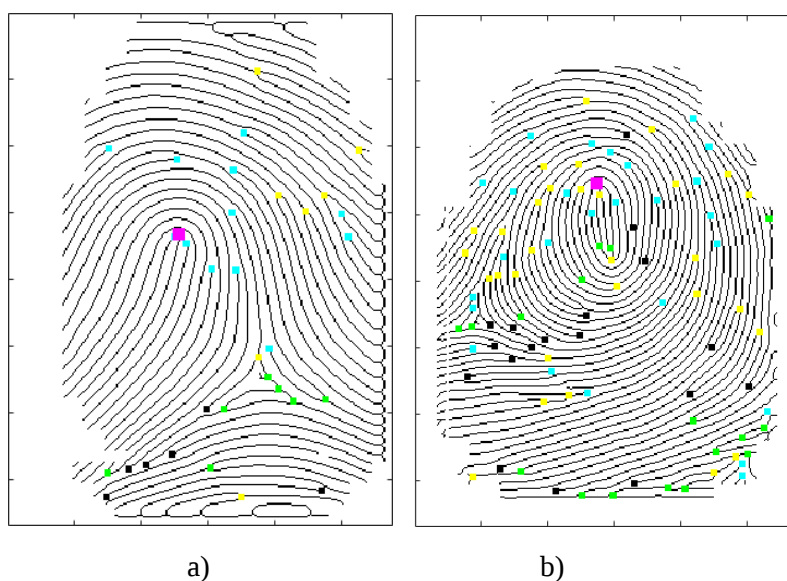
7. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo piršto atspaudo ploto

Šiame skyriuje tiriama, kaip detalėmis pagrįsto pirštų atspaudų atpažinimo metodo tikslumas priklauso nuo atspaudų paviršiaus ploto. Tyrimui naudojami numatyti metodo parametrai (bloko dydis – 16 ir slenkstinė vertė – 0,1), kurie nebus keičiami. Šiam tyrimui yra sugeneruoti du skirtingi pirštai, kiekvienas iš jų turi dešimt skirtingo paviršiaus ploto atspaudų.

7.1. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo tyrimas

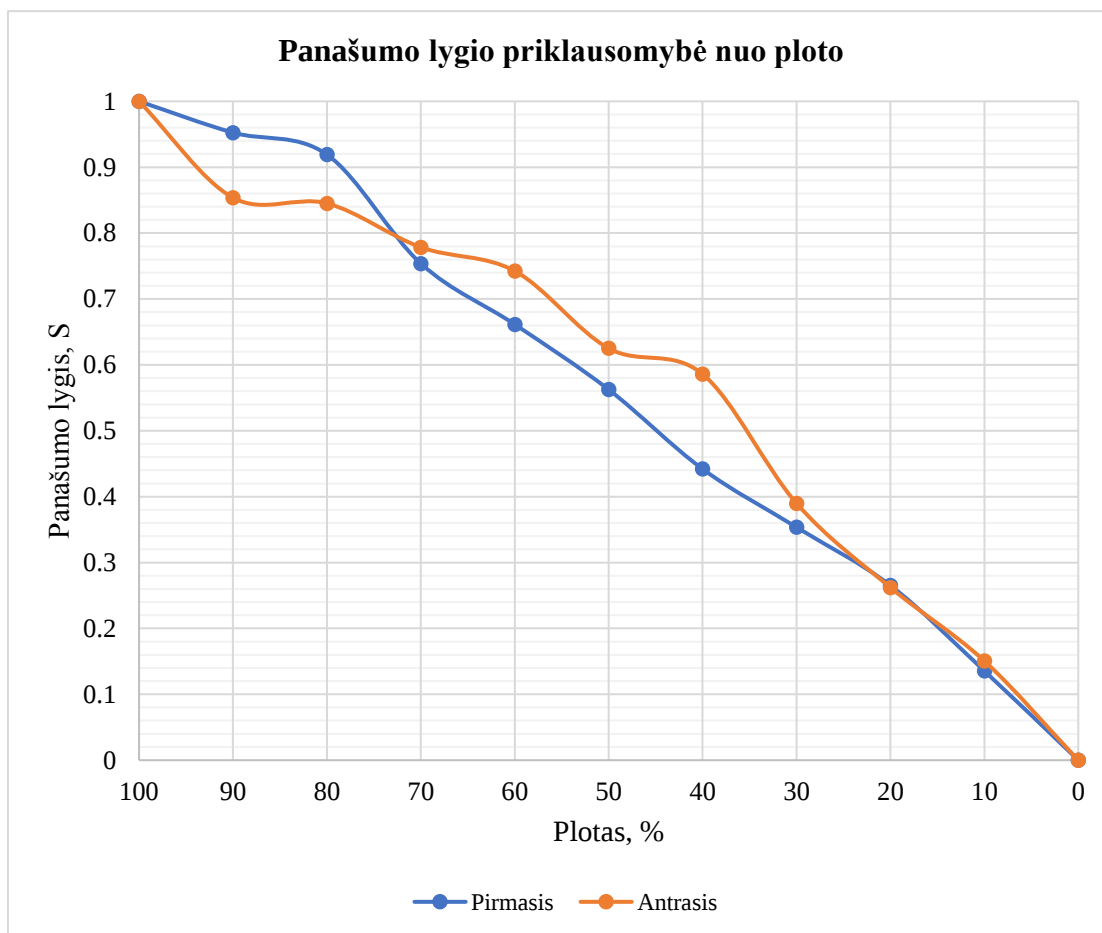
Pirštų atspaudų paviršiaus plotas svyruoja nuo 100 % iki 0 % mažinant po 10 %. Sugeneravus šių atspaudų duomenų bazes buvo sugeneruotos pirštų atspaudų detalių duomenų bazės. Vienam piršto atspaudui, kai jo paviršiaus plotas lygus 100 %, surastos 36 detalės, kitam – 95 detalės (žr. 7.1 pav.).

Tikėtina, kad bandant mažinti piršto atspaudų paviršiaus plotą, mažės surastų detalių skaičius. Sumažėjus detalių skaičiui, sumažės piršto atspaudų atpažinimas.



7.1 pav. Skirtingų pirštų atspaudų išskirtos detalės: a) 35 detalės, b) 95 detalės

7.2 paveiksle yra pateikti bandymo rezultatai. Kiekvienam piršto atspaudui buvo ieškomas panašumo lygis su 100 % ploto turinčiu atspaudu. Mėlyna kreivė vaizduoja piršto atspaudą, kuriame buvo surastos 36 detalės, panašumo lygio priklausomybę nuo jo paviršiaus ploto. Oranžinė kreivė vaizduoja piršto atspaudą, kuriame buvo surastos 95 detalės, panašumo lygio priklausomybę nuo jo paviršiaus ploto.



7.2 pav. Piršto atspaudų panašumo lygio priklausomybė nuo ploto

7.2. Skyriaus apibendrinimas

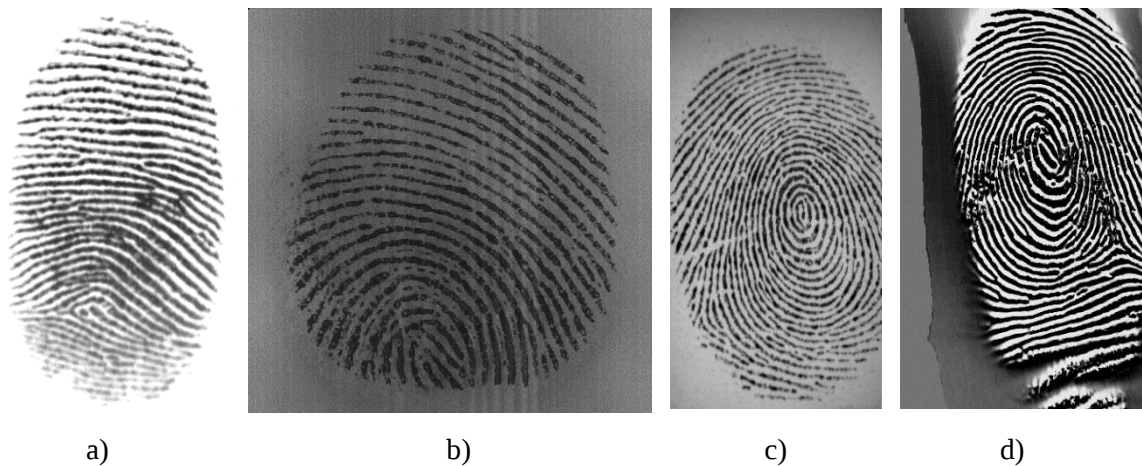
Anksčiau atlikta prielaida pasitvirtino – mažėjant atspaudų plotui atpažinimo lygis mažėja. Piršto atspaudų su 36 išskirtomis detalėmis ir su 95 išskirtomis detalėmis atpažinimo lygio kreivė mažėja beveik tiesiškai. Galima teigti, kad atspaudų atpažinimo lygis nepriklauso nuo išskirtų detalių kiekio, bet labai priklauso nuo jo paviršiaus ploto.

8. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo piršto atspaudo nuskaitymo būdo

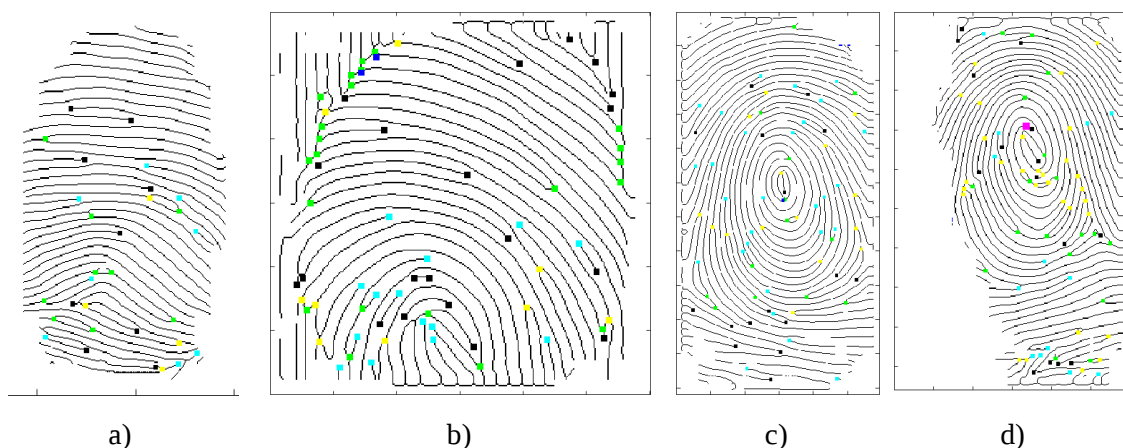
Šiame bandyme siekiama nustatyti pirštų atspaudų nuskaitymo būdo įtaką pirštų atspaudų atpažinimo tikslumui. Tyrimai atliekami su keturiais skirtingais pirštų atspaudų nuskaitymo būdais: dviem optiniais, talpiniu ir terminiu braukiamu jutikliu. Pirštų atspaudai paimti iš oficialių FVC duomenų bazių: FVC2002 ir FVC2004. FVC2002 DB2 duomenų bazę sudaro optiniu jutikliu „FX2000“ nuskaityti pirštų atspaudai. FVC2002 DB3 duomenų bazę sudaro talpiniu jutikliu „100 SC“ nuskaityti pirštų atspaudai. FVC2004 DB1 duomenų bazę sudaro optiniu jutikliu „V300“ nuskaityti pirštų atspaudai. FVC2004 DB3 duomenų bazę sudaro terminiu braukiamu jutikliu „FingerChip FCD4B14CB“ nuskaityti pirštų atspaudai. Kiekvienoje iš šių duomenų bazių yra po dešimt pirštų kiekvienam po aštuonis atspaudus, taigi iš viso po aštuoniasdešimt pirštų atspaudų.

8.1. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo tyrimas

Pirštų atspaudų duomenų bazėse esantys pirštų atspaudai pavaizduoti 8.1 paveiksle. Šių atspaudų išskirtos detalės pavaizduotos 8.2 paveiksle.



8.1 pav. Nuskaityti pirštų atspaudai: a) „V300“, b) „100 SC“, c) „FX2000“, d) „FingerChip FCD4B14CB“



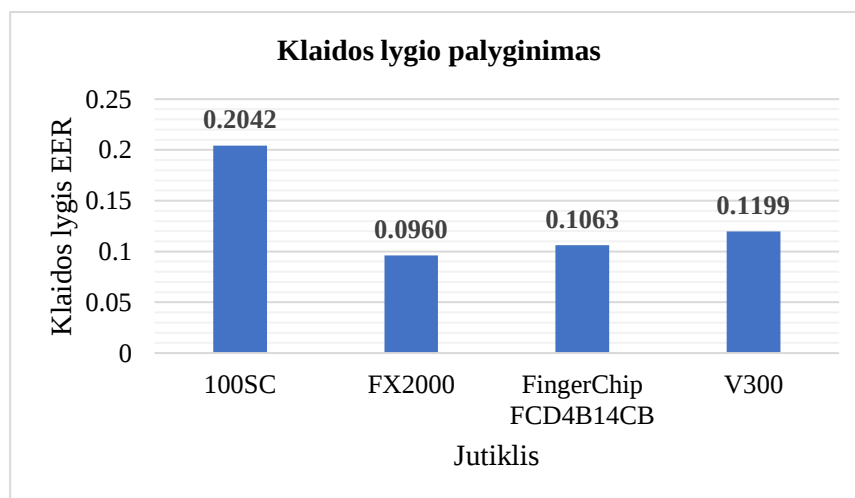
8.2 pav. Nuskaitytų atspaudų išskirtos detalės: a) „V300“, b) „100 SC“, c) „FX2000“, d) „FingerChip FCD4B14CB“

Apdorotuose pirštų atspaudų vaizduose matyti, kad naudojant talpinį jutiklį pasitaiko klaidingai surastų detalių piršto atspaudo kraštuose (žr. 8.2 (b) pav.). Dėl šios priežasties galima daryti prielaidą, kad bandymo rezultatai naudojant talpinį jutikliui bus gauti blogesni negu su kitais jutikliais.

Bandymo rezultatai yra pateikiami 8.1 lentelėje ir palyginti grafiškai (žr. 8.3 pav.).

8.1 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingiems jutikliams

Duomenų bazė	Jutiklis	EER
JUTIKLIS_1_DB	100 SC	0,2042
JUTIKLIS_2_DB	FX2000	0,0960
JUTIKLIS_3_DB	FingerChip FCD4B14CB	0,1063
JUTIKLIS_4_DB	V300	0,1199



8.3 pav. Bandymų su skirtingais jutikliais rezultatų palyginimas

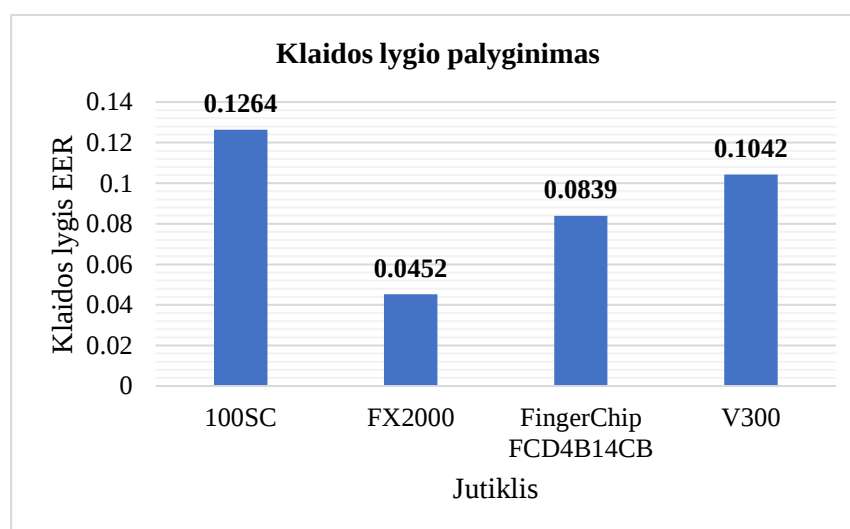
Bandymų rezultatai (žr. 8.3 pav.) patvirtina anksčiau atliktą prielaidą – naudojant talpinį jutiklį gaunami blogiausi rezultatai ($EER = 0,2042$). Tokie rezultatai gauti dėl piršto atspaudų vaizde esančių iškraipymų arba dėl pirminio vaizdo apdorojimo etape pasitaikiusių klaidų. Mažiausias EER lygis ($EER = 0,0960$), taip pat didžiausias tikslumas, buvo gautas naudojant optinį jutiklį „FX2000“.

Kitame tyrimo etape siekiama nustatyti, kaip pasikeičia bandymų rezultatai naudojant automatinį pirminio vaizdo apdorojimo etapo parametrus, kuriuos atrinkome ankstesniuose tyrimuose.

8.2 lentelėje pateikti duomenų bazių rezultatai esant automatiniam parametrų nustatymui. Grafinis rezultatų palyginimas pateiktas 8.4 paveiksle.

8.2 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingiems jutikliams, taikant automatinį parametrų nustatymą

Duomenų bazė	Jutiklis	EER
JUTIKLIS_1_DB2	100 SC	0,1264
JUTIKLIS_2_DB2	FX2000	0,0452
JUTIKLIS_3_DB2	FingerChip FCD4B14CB	0,0839
JUTIKLIS_4_DB2	V300	0,1042



8.4 pav. Bandymų su skirtingais jutikliais ir automatinių parametrų nustatymu rezultatų palyginimas

Kaip matyti iš 8.4 paveikslo, esant automatiniam pirminio vaizdo apdorojimo etapo parametrų nustatymui, gautos mažesnės klaidos lygio EER vertės. Didžiausias klaidos lygio EER sumažėjimas gautas naudojant talpinį jutiklį, jis sumažėjo nuo 0,2042 iki 0,1264. Bandant kitus jutiklius, taip pat gautas mažesnis klaidos lygis EER, užtikrinantis aukštesnį pirštų atspaudų atpažinimo tikslumą.

8.2. Skyriaus apibendrinimas

Tiriant skirtingus jutiklius gauta, kad aukščiausias tikslumas pasiekiamas naudojant optinį jutiklį „FX2000“. Žemiausias tikslumas buvo gautas naudojant talpinį jutiklį „100 SC“. Įgyvendinus automatinį pirminio vaizdo apdorojimo etapo parametrų pasirinkimą, klaidos lygis EER sumažėjo. Esant mažesniai klaidos lygiui yra užtikrinamas aukštesnis tikslumas. Galima teigti, kad ankstesniuose tyrimuose nustatčius optimaliausius pirminio vaizdo apdorojimo etapo parametrus (bloko dydį ir slenkstinę vertę) klaidos lygis sumažėjo ne tik su dirbtinai sugeneruotais piršto atspaudais, bet ir su tikrais jutikliais nuskaitytais piršto atspaudais.

9. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybė nuo nuskaityto piršto atspaudo pasukimo kampo

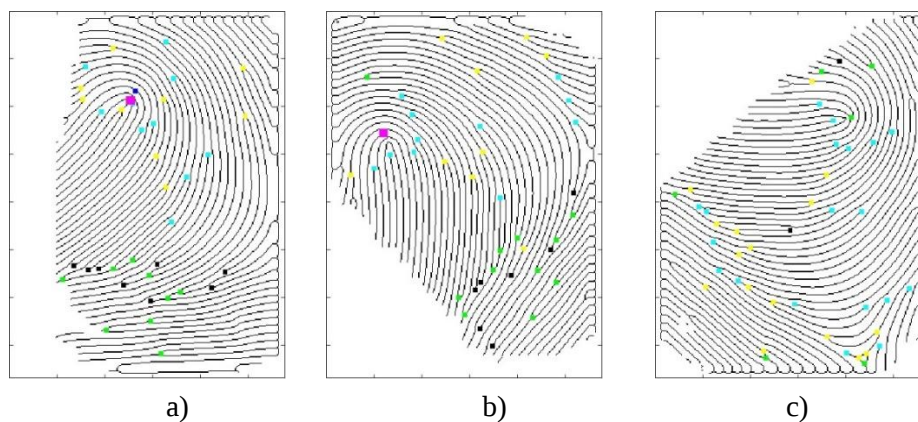
Šiame skyriuje siekiama nustatyti kaip atspaudų atpažinimo tikslumas priklauso nuo pasukimo kampo. Tyrimai atliekami su trimis skirtingais piršto atspaudų pasukimo kampais: 0° , 30° ir -30° . Šiuo tikslu buvo sugeneruotos trys pirštų atspaudų duomenų bazės. Kiekviena duomenų bazė yra sudaryta iš aštuonių skirtingų pirštų, kiekvienam iš jų po dešimt atspaudų. Išskirti pirštų atspaudų požymiai buvo išsaugoti šiose duomenų bazėse: MY_DB_ANGLE0, MY_DB_ANGLE_PLUS30, MY_DB_ANGLE_MINUS30.

9.1. Pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo tyrimas

Pirštų atspaudai, su skirtingais pasukimo kampais, pavaizduoti 9.1 paveiksle. Šių atspaudų išskirtos detalės pavaizduotos 9.2 paveiksle.

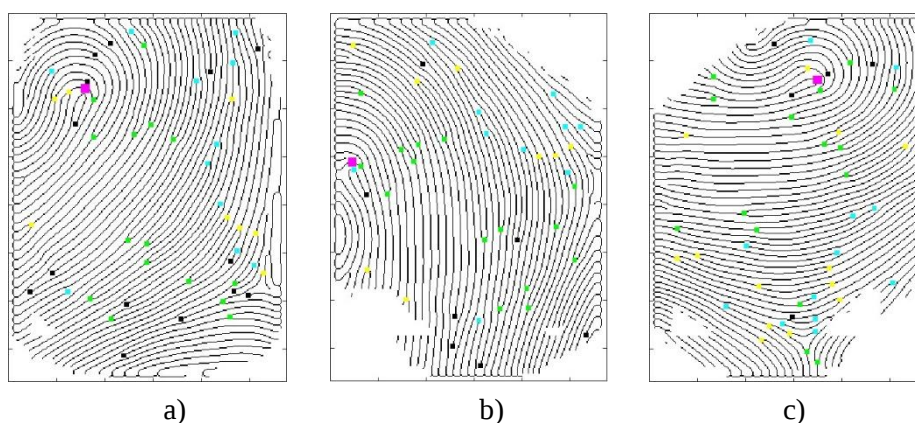


9.1 pav. Piršto atspaudai su skirtingais nuskaitymo kampais: a) 0° , b) 30° , c) -30°



9.2 pav. Piršto atspaudai ir jo požymiai su skirtingais nuskaitymo kampais: a) 0° , b) 30° , c) -30°

9.2 paveiksle matyti, kad esant pasukimo kampui 0° ir 30° išskirti atspaudų požymiai ir detalės sutampa. Abiejuose atspaudų vaizduose vienodai surastas atspaudų branduolys ir pažymėtas apdorotame atspaudų vaizde (žr. 9.2 (a) ir (b) pav.). Pasukimo kampui esant -30° , atspaudų branduolys nebuvo atpažintas (žr. 9.2 (c) pav.). Tokie rezultatai gaunami ne su visais 30° ir -30° kampu pasuktais pirštų atspaudais. Pavyzdžiui, apdorojus kitą piršto atspaudą, gautas kitas rezultatas – visais atvejais branduolio požymis buvo atpažintas (žr. 9.3 pav.).



9.3 pav. Antrojo piršto atspaudai ir jo požymiai su skirtingais nuskaitymo kampais: a) 0° , b) 30° , c) -30°

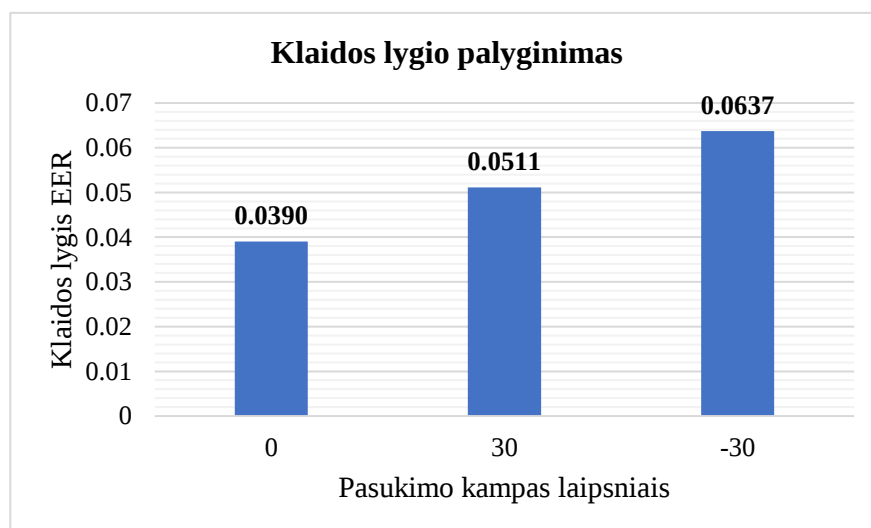
Pakartojus procedūrą su kitu piršto atspaudu, vėl gautas kitoks rezultatas. Taigi iš anksto negalima sakyti, kuriuo atveju bandymo rezultatai turėtų būti geresni ar blogesni.

Siekiant nustatyti atspaudų pasukimo kampo įtaką atpažinimo tikslumui, buvo atliekami bandymai, kuriuose buvo skaičiuojamas EER lygis.

Bandymo rezultatai yra pateikiami 9.1 lentelėje ir palyginti grafiškai (žr. 9.4 pav.).

9.1 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingiems pasukimo kampams

Duomenų bazė	Pasukimo kampas	EER
MY_DB_ANGLE0	0°	0,0390
MY_DB_PLUS30	30°	0,0511
MY_DB_MINUS30	-30°	0,0637



9.4 pav. Grafinis klaidos lygio palyginimas, esant skirtingiems pasukimo kampams

9.2 lentelėje ir 9.4 pav. pateiktuose bandymo rezultatuose matyti, kad keičiantys atspaudų pasukimo kampui, klaidos lygis padidėja. Atspaudą pasukus 30° kampui, klaidos lygis nuo 0,0390 padidėjo iki 0,0511. Pasukimo kampui esant -30° , klaidos lygis dar daugiau padidėjo – nuo 0,0390 iki 0,0637.

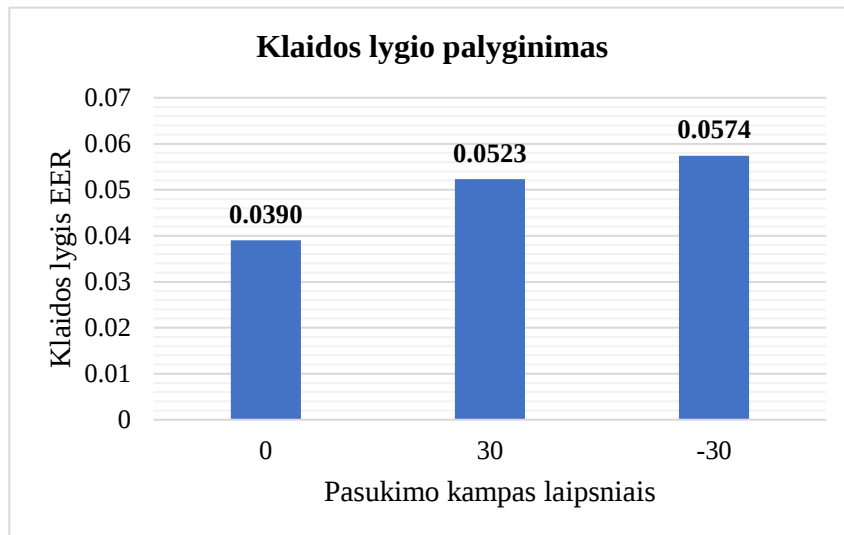
Taigi esant neigiamam pasukimo kampui detalėmis pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas atlieka daugiau klaidų negu esant teigiamam pasukimo kampui.

Ankstesnis bandymas buvo atliekamas naudojant numatytus metodo parametrus, t. y. bloko dydis buvo 16, slenkstinė vertė 0,1. Kitame bandyme siekiama nustatyti, ar klaidos lygis sumažėja esant automatiniam parametrų nustatymui.

Bandymo rezultatai yra pateikiami 9.2 lentelėje ir palyginti grafiškai (žr. 9.5 pav.).

9.2 lentelė. Duomenų bazės ir jų rezultatai, esant skirtingiems pasukimo kampams, taikant automatinį parametrų nustatymą

Duomenų bazė	Pasukimo kampas	EER
MY_DB_ANGLE0	0°	0,0390
MY_DBAuto_PLUS30	30°	0,0523
MY_DBAuto_MINUS30	-30°	0,0574



9.5 pav. Grafinis klaidos lygio palyginimas, esant skirtingiems pasukimo kampams, taikant automatinį parametrų nustatymą

Ivykdžius automatinį parametrų nustatymą, klaidos lygis esant skirtingiems pasukimo kampams pakito skirtingai. Esant teigiamam pasukimo kampui 30° gautas didesnis klaidos lygis, jis padidėjo nuo 0,0511 iki 0,0523, toks padidėjimas nėra žymus. Esant neigiamam pasukimo kampui -30° , gautas mažesnis klaidos lygis, jis sumažėjo nuo 0,0637 iki 0,0574 (žr. 9.5 pav.). Galima sakyti, kad automatinis bloko dydžio ir slenkstinės vertės nustatymas esant teigiamam pasukimo kampui didelės įtakos klaidos lygiui ir atpažinimo tikslumui neturi. Esant neigiamam pasukimo kampui ir automatiniam parametrų nustatymui, stebimas klaidos lygio sumažėjimas ir taip užtikrinamas didesnis atpažinimo tikslumas.

9.2. Skyriaus apibendrinimas

Siekiant nustatyti piršto atspaudų pasukimo kampo įtaką klaidos lygiui ir atpažinimo tikslumui, buvo pasirinkti trys skirtingi atspaudų pasukimo kampai: 0° , 30° ir -30° . Atlikus tyrimus buvo nustatyta, kad esant pasukimo kampui -30° gaunamas didesnis klaidos lygis negu naudojant pasukimo kampą 30° . Atlikus automatinį bloko dydžio ir slenkstinės vertės nustatymą, klaidos lygis sumažėjo, kai buvo naudojamas pasukimo kampas -30° .

DARBO APIBENDRINIMAS

Magistro darbe buvo tiriami pirštų atspaudų atpažinimo metodai. Teorinėje dalyje buvo apžvelgtos ir išanalizuotos trys pirštų atspaudų nuskaitymo technologijos: optiniai jutikliai, talpiniai jutikliai ir ultragarso jutikliai. Naudojant optinius jutiklius, šviesos spinduliai gali išsibarstyti nuo kito paviršiaus arba nuo likusių pirštų atspaudų. Naudojant talpinius jutiklius galimas toks atvejis, kai jutiklis yra pažeidžiamas iškrovos piršto galiuke. Ultragarso jutikliuose naudojami akustiniai signalai, todėl paviršiaus užterštumas ir įbrėžimai neturi įtakos atspaudui nuskaityti.

Šiame darbe buvo apžvelgti ir išanalizuoti trys pirštų atspaudų atpažinimo metodai: detalėmis pagrįstas metodas, „Minutia Cylinder-Code“ metodas ir kauburėlių požymiais pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas.

Detalėmis pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas naudoja kauburėlių požymius, kurie vadinami detalėmis. Detalė gali būti kauburėlių pabaiga, besitęsiantis kauburėlis, izoliuotas taškas, susijungimas ar susikirtimas. Siekiant išskirti šias detales, atspaudų vaizdas yra suskaidomas į blokus ir juose skaičiuojama CN vertė, kuri nusako, kokio tipo yra detalė.

„Minutia Cylinder-Code“ pirštų atspaudų atpažinimo metodas naudoja 3D duomenų struktūrą (vadinama cilindrais), kuri sukurta iš detalių atstumų ir kampų. Ši struktūra koduoja erdvinį ir kryptinį santykį tarp detalių ir gali būti pateikiama kaip cilindras, kurio pagrindas ir aukštis yra susiję su erdvine ir kryptine informacija.

Kauburėlių požymiais pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodas naudoja sąryšius tarp kauburėlių. Šiame metode naudojama vienos detalės ir keleto susijusių kauburėlių struktūra. Struktūroje kiekvienas požymis suskirstomas į nutrūkimą arba susijungimą skaičiuojant kauburėlių kiekį tam tikrame dydžio lange, kurio centras yra šis požymis.

IŠVADOS

Tiriant, kaip pirštų atspaudų atpažinimo tikslumas priklauso nuo piršto odos paviršiaus būklės, buvo naudojami pirštų atspaudai su skirtingais ryškumo lygiais: aukščiausiu, vidutiniu ir žemiausiu. Nustatyta, kad esant aukščiausiam atspaudų ryškumo lygiui, pirštų atspaudų atpažinimo klaidos lygis yra lygus 0,0140 (1,40 %), vidutiniui atspaudų ryškumo lygiui – 0,0158 (1,58 %), žemiausiam atspaudų ryškumo lygiui – 0,1155 (11,55 %). Sukūrus duomenų bazę iš pirštų atspaudų su skirtingais ryškumo lygiais, klaidos lygis buvo gautas 0,0424 (4,24 %). Siekiant sumažinti klaidos lygį esant blogai piršto odos paviršiaus būklei, buvo įgyvendintas automatinis, detalėmis pagrįstas pirštų atspaudų atpažinimo metodo, parametrų nustatymas (bloko dydis ir slenkstinė vertė). Automatiškai

nustačius parametrus, gautas klaidos lygis yra 0,0261 (2,61 %). Taigi klaidos lygį pavyko sumažinti nuo 4,24 % iki 2,61 %, tai užtikrina didesnę atspaudų atpažinimo tikslumą.

Atliekant pirštų atspaudų panašumo lygio apskaičiavimo metodų palyginimą buvo naudojami šie metodai: detalėmis pagrįstas panašumas ir „Minutia Cylinder-Code“. Panašumo lygiui nustatyti buvo naudojami detalėmis pagrįsto pirštų atspaudų atpažinimo metodo išskirti požymiai. Detalėmis pagrįstu panašumo metodu gautas klaidos lygis 0,0261 (2,61 %), „Minutia Cylinder-Code“ metodu klaidos lygis 0,1279 (12,79 %). Taigi naudojant detalėmis pagrįstą panašumo lygio apskaičiavimo metodą gaunamas mažesnis klaidos lygis, tai užtikrina didesnę atspaudų atpažinimo tikslumą.

Tiriant, kaip pirštų atspaudų atpažinimo tikslumas priklauso nuo nuskaityto piršto atspaudų ploto, buvo skaičiuojamas panašumo lygis tarp pilną plotą turinčio atspaudų ir atspaudų su mažesniu plotu. Atspaudų plotas buvo mažinamas po 10 %. Nustatyta, kad panašumo lygis mažinant atspaudų plotą mažėja beveik tiesiškai, nepriklausomai nuo išskirtų detalių kiekio atspaudė.

Atliekant tyrimą, kaip pirštų atspaudų atpažinimo tikslumas priklauso nuo atspaudų nuskaitymo būdo, buvo naudojamos oficialios pirštų atspaudų duomenų bazės. Ištirti nuskaitymo būdai: talpinis jutiklis „100 SC“, optinis jutiklis „FX2000“, braukimo jutiklis „FingerChip FCD4B14CB“ ir optinis jutiklis „V300“. Aukščiausias tikslumas buvo pasiektas naudojant optinį jutiklį „FX2000“, jo klaidos lygis yra 0,0960 (9,60 %). Žemiausias tikslumas buvo gautas naudojant talpinį jutiklį „100 SC“, jo klaidos lygis yra 0,2042 (20,42 %). Įvykdžius automatinį pirštų atspaudų atpažinimo metodo parametrų nustatymą buvo sumažintas klaidos lygis. Naudojant optinį jutiklį „FX2000“ klaidos lygis sumažėjo iki 0,0452 (4,52 %), naudojant talpinį jutiklį „100 SC“ klaidos lygis sumažėjo iki 0,1264 (12,64 %).

Paskutiniu tyrimu buvo siekiama nustatyti pirštų atspaudų atpažinimo tikslumo priklausomybę nuo piršto atspaudų pasukimo kampo. Šiam tikslui buvo naudojami trys skirtingi pasukimo kampai: 0°, 30° ir -30°. Buvo gauti tokie klaidos lygiai: pasukimo kampas 0° – 0,0390 (3,90 %), pasukimo kampas 30° – 0,0511 (5,11 %), pasukimo kampas -30° – 0,0637 (6,37 %). Įvykdžius automatinį pirštų atspaudų atpažinimo metodo parametrų nustatymą buvo gauti tokie rezultatai: pasukimo kampas 0° – 0,0390 (3,90 %), pasukimo kampas 30° – 0,0523 (5,23 %), pasukimo kampas -30° – 0,0574 (5,74 %). Aukščiausias tikslumas buvo pasiektas, kai pasukimo kampas buvo lygus 0°, žemiausias – (-30°).

LITERATŪRA

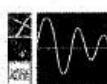
1. Jain, A. K.; Maltoni, D.; Maio, D.; Prabhakar, S. 2003. *Handbook of Fingerprint Recognition*. Springer. New York. 53–88 p.
2. Schneider, J. K. 2007. *Advances in Biometrics. Sensors, Algorithms and Systems*. New York. 63–74 p. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 gruodžio 2 d.]. Prieiga per internetą: <https://books.google.lt/books?id=axy4vGfY68YC&pg=PA74&lpg=PA74&dq=Schneider,+J.+K.+Advances+in+Biometrics.+Sensors,+Algorithms+and+Systems&source=bl&ots=-3LG8Ugq0h&sig=gxGysI_cDo_k3_NhybMrbTAJetM&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjM9KKuH_bQAhWFjCwKHXCfCLYQ6AEILDAD#v=onepage&q=Schneider%2C%20J.%20K.%20Advances%20in%20Biometrics.%20Sensors%2C%20Algorithms%20and%20Systems&f=false>.
3. *Fingerprints. Sensors*. 2016. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 gruodžio 8 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.fingerprints.com/technology/sensors>>.
4. *Fingerprint Reader Technology Comparison: Optical Fingerprint Scanner; Capacitive-based Fingerprint Reader and Multispectral Imaging Sensor*. 2007–2016. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 gruodžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.bayometric.com/fingerprint-reader-technology-comparison/>>.
5. Wieclaw, L. 2009. *A minutiae-based matching algorithms in fingerprint recognition systems*. Journal of medical informatics & technologies. Vol. 13. 65–70 p.
6. Jain, L. C.; Halici, U.; Hayashi, I.; Lee, S. B.; Tsutsui, S. 1999. *Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition*. Boca Raton, CRC Press. 480 p.
7. Jain, Ms. P; Sawant, H. K. 2012. *Adaptive Flow Orientation Based Personal Identification Using Fingerprint Feature Extraction*. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). Vol. 2. 570–573 p.
8. Maio, D.; Maltoni, D. 1997. *Direct Gray-Scale minutiae detection in fingerprints*. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol 19, No. 1. 17–40 p.
9. Cappelli, R.; Ferrara, M; Maltoni, D. 2010. *Minutia Cylinder-Code: A New Representation and Matching Technique for Fingerprint Recognition*. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol 32, No. 12. 2128–2141 p.
10. Biometric System Laboratory, DISI – University of Bologna. *Minutia Cylinder-Code*. 2017. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2017 balandžio 21 d.]. Prieiga per internetą: <<http://biolab.csr.unibo.it/research.asp?organize=Activities&select=&selObj=81&pathSubj=111%7C%7C8%7C%7C81&Req=&>>.

11. Feng, J.; Ouyang, Z.; Cai, A. 2006. *Fingerprint matching using ridges*. Science Direct, Pattern Recognition 39. 2131–2140 p.
12. Xie, X.; Su, F.; Cai, A. 2006. *Ridge-Based Fingerprint Recognition*. Advances in Biometrics. International conference, ICB. Hong Kong. 273–279 p.
13. Biometric System Laboratory – University of Bologna. *FVC 2016 Databases*. 2006. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2017 birželio 11 d.]. Prieiga per internetą: <<http://bias.csr.unibo.it/fvc2006/databases.asp>>.
14. *Biometric System Laboratory. Fingerprint Generation*. 2017. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2017 birželio 11 d.]. Prieiga per internetą: <<http://biolab.csr.unibo.it/research.asp?organize=Activities&select=&selObj=12&pathSubj=111%7C%7C12&Req=&#>>.
15. *FingerPrint Matching: A simple approach*. 1994–2017. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2017 balandžio 4 d.]. Prieiga per internetą: <<https://se.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/44369-fingerprint-matching--a-simple-approach>>.
16. *Study: Evaluation of fingerprint recognition technologies – BioFinger*. 2004. BSI. 22–24 p.
17. Noviyanto, A; Pulungan, R. 2011. *A comparison framework for fingerprint recognition methods*. Proceedings of "The 6th SEAMS-UGM Conference 2011" Computer, Graph and Combinatorics. 601–614 p.
18. *Fingerprint Recognition System*. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2017 birželio 12 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.cse.iitk.ac.in/users/biometrics/pages/finger.htm>>.
19. Kovesi. P. Computer Vision and Image Processing. *Example of fingerprint enhancement*. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2017 bielio 13 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.peterkovesi.com/matlabfns/FingerPrints/Docs/index.html>>.
20. *MCC Software Development Kit (SDK) Version 2.0*. 2015. Biometric System Laboratory. Department of computer science and engineering. University of Bologna. Italy. 40 p.

PRIEDAI

A priedas. MCC metodo parametrai ir jų vertės [9]

Parametras	Apibrėžimas	Vertė
R	Cilindro spindulys (pikseliais)	70
N_S	Ląstelių kiekis	16, 8
N_D	Cilindro sekcijų kiekis	6
σ_S	Standartinis nuokrypis (7)	$\frac{28}{3}$
σ_D	Standartinis nuokrypis (11)	$\frac{2}{9}\pi$
μ_Ψ, τ_Ψ	Sigmoidės parametras Ψ	$\frac{1}{100}, 400$
Ω	Kompensacija, skirta padidinti išgaubą	50
min_{VC}	Minimalus tinkamų ląstelių kiekis cilindre	75 %
min_M	Minimalus tinkamų detalių kiekis cilindre	2
min_{ME}	Minimalus sutampančių elementų kiekis sutampančiuose cilindruose	60 %
δ_θ	Maksimalus pasukimas	$\frac{\pi}{2}$
μ_P, τ_P	Sigmoidės parametras (24)	$20, \frac{2}{5}$
min_{n_P}, max_{n_P}	Minimalus ir maksimalus detalių kiekis (24)	4, 12
w_R	Svorio parametras (25)	$\frac{1}{2}$
μ_1^ρ, τ_1^ρ	Sigmoidės parametras d_1 (26)	$5, -\frac{8}{5}$
μ_2^ρ, τ_2^ρ	Sigmoidės parametras d_2 (26)	$\frac{\pi}{12}, -30$
μ_3^ρ, τ_3^ρ	Sigmoidės parametras d_3 (26)	$\frac{\pi}{12}, -30$
n_{rel}	Iteracijų kiekis $LSS-R$ ir $LSA-R$	5



VILNIAUS GEDIMINO
TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

XXI-toji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija
„MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS“

ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA

PAŽYMA

Ryšard Suboč

*Sistemų inžinerijos ir kompiuterių technologijų (T120),
Signalų technologijų (T121), Aukštų dažnių technologijų
(T191) jungtinėje sekcijoje perskaitė pranešimą*

POŽYMLIAIS PAREMTO METODO PIRŠTŲ ATSPAUDAMS ATPAŽINTI ANALIZĖ IR TYRIMAS

Mokslo komiteto pirmininkas

prof. habil. dr. Romanas Martavičius

Sekcijos pirmininkas

doc. dr. Gintautas Tamulevičius

2018 m. kovo 16 d.
Vilnius