

Eiropas Reģionālās attīstības fonds

Prioritāte: 2.1. Zinātne un inovācijas

Pasākums: 2.1.1.1. Zinātne, pētniecība un attīstība

Aktivitāte: 2.1.1.1. Atbalsts zinātnei un pētniecībai

Projekta nosaukums: „Multimodālas biometrijas tehnoloģija drošai un ērtai personu
autentifikācijai” (BiTe)

Līguma noslēgšanas datums: 10.12.2010.g.

Projekta sākuma datums: 01.01.2011.g.

Projekta beigu datums: 31.12.2013.g.

Vienošanās Nr.2010/0285/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/098

Eiropas Reģionālās attīstības fonda finansējuma saņēmējs: Elektronikas un
datorzinātņu institūts (EDI)

ZINĀTNISKĀ PĒTĪJUMA PROGRESU APLIECINOŠĀ DOKUMENTĀCIJA

Pārskata numurs Nr.8. par periodu no 01.06.2013.g. līdz 30.09.2013.g.

Projekta zinātniskais vadītājs: Modris Greitāns, Dr.sc.comp., vad. pētnieks
Pētījuma projekta izpildītāju saraksts: Mihails Broitmans, Dr.sc.comp., vad. pētnieks
Egīls Ruža, pētnieks
Rihards Fuksis, pētnieks
Mihails Pudžs, pētnieks
Rinalds Ruskuls, asistents
Oļegs Ņikišins, asistents
Zanda Seržāne, asistente
Artūrs Kadiķis, programmēšanas inženieris
Dāvis Barkāns, elektronikas inženieris
Teodors Eglītis, elektronikas inženieris
Mārtiņš Saulis, mehānikas inženieris

ELEKTRONIKAS UN DATORZINĀTŅU INSTITŪTS
Rīga, Latvija
2013.gads

Anotācija.....	3
Ievads.....	3
Rezultātu kopsavilkums	3
Aktivitāte: Lietišķie pētījumi	6
Biometrisku datu apstrādes algoritmu darbības izvērtēšana	6
Biometrisku datu iegūšanas algoritmu paralelizācija un implementēšana programmējamos loģiskos masīvos	15
Aktivitāte: Eksperimentālā izstrāde	22
Tehnoloģijas demonstratora eksperimentālā maketa montēšana	22
Algoritmu implementēšana eksperimentālajā maketā	23
Secinājumi.....	27

Anotācija

BiTe ir ERAF līdzfinansēts projekts zinātnei un pētniecībai. Projekta mērķis ir droša, ērta un plaši pielietojama personu identifikācijas risinājuma izveide. Projekts ietver sevī sekojošas aktivitātes: Lietišķos pētījumus biometrijas parametru ieguvē, apstrādes metožu implementēšanā ierobežotu resursu sistēmās, atsevišķu sistēmas komponentu un bloku izstrādē; Eksperimentālos pētījumus tehnoloģiju demonstratora izstrādē; Rūpniecisko tiesību aizsargāšana, patenta pieteikums; Projekta publicitāte. Šajā dokumentā dots pārskats par projekta devītajā periodā (01.06.2013.-30.09.2013) veiktajiem pētniecības darbiem un šobrīd sasniegtiem rezultātiem.

Projektu atbalsta Eiropas Reģionālās attīstības fonds, līguma Nr. 2010/0285/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/098

Ievads

Identitātes nozagšana ir viens no modernajiem noziegumiem, kas „zaglim” dod iespēju radīt personām finansiālus zaudējumus. Katru gadu identitātes nozagšana pasaulē rada aptuveni 221 miljardu dolāru zaudējumus. Lielu interesi par biometrijas izmantošanu personu identifikācijā izrāda banku sektors. Bankas atzīst, ka šādas sistēmas ieviešana dotu iespēju aizstāt (vai kombinēt) uz parakstu vai PIN kodu ievadi balstītu norēķinu karšu autorizāciju ar kartes īpašnieka biometrisku atpazīšanu. Radot ērtu, lētu un drošu personu identifikācijas risinājumu, ir plašas iespējas to ieviest ikdienas dzīvē – bankās, tirdzniecības vietās, objektu piekļuves un lietošanas kontrolē (ieskaitot autotransportu) u.c.

BiTe pētniecības grupas darbs ir saistīts ar augstāk minēto problēmu risinājumu. Šajā projekta pārskata posmā ir veikti darbi un sasniegti rezultāti sekojošos pētījumos:

- Biometrisko datu apstrādes algoritmu darbības izvērtēšana;
- Biometrisko datu iegūšanas algoritmu paralelizācija un implementēšana programmējamās loģiskās masīvos;
- Tehnoloģijas demonstratora eksperimentālā maketa montēšana;
- Algoritmu implementēšana eksperimentālajā maketā.

Rezultātu kopsavilkums

Projekta devītajā periodā (01.06.2013.-30.09.2013.) veikto pētniecības uzdevumu un eksperimentālo rezultātu kopsavilkums ir sekojošs:

- Sejas un plaukstu attēlu iegūšanas metožu izpēte – iepriekšējos pārskata periodos tika apskatītas plaukstu specifisko pazīmju izdalīšanas iespējas; izpētīti plaukstu ģeometrijas izmēri, kas minimāli atkarīgi no plaukstu stāvokļa; turpināts plaukstu ģeometrijas algoritmu apraksts MATLAB vidē; analizēta mērķa principa metodika; izpētīts sejas detektēšanas algoritms, darbam daudzkodolu procesorā; veikta

vienlaicīga oriģinālu un filtrētu bilžu iegūšana un noteikta lielākā iespējamā riņķa ievilkšana plauksta kontūrā, izmantojot Voronoi šūnas.

- Biometrisku datu apstrādes algoritmu darbības izvērtēšana – iepriekšējos periodos realizēts 2D sejas atpazīšanas algoritms, kas implementēts iegultā sistēmā; veidots automātisks sejas atpazīšanas algoritms TMS320C6416; pievienoti galvenie elementi kameras modulim; izveidotas programmas attēla vizualizācijai un kvalitātes novērtēšanai; analizētas sejas atpazīšanas algoritmu implementācijas iespējas; apskatīti iespējamie risinājumi sejas atpazīšanas izstrādei iegultās sistēmās un uzsākta iegultas sistēmas izveide uz Raspberry Pi. Šajā pārskata periodā tika apskatīta biometrisku iezīmju sapludināšanas teorija un veikta vairāku biometrisku parametru sapludināšana.
- Biometrisku datu iegūšanas algoritmu paralelizācija un implementēšana programmējamajos loģiskajos masīvos – iepriekš tika izveidota uz FPGA bāzēta attēlu ieguves sistēma; izstrādāta iespiedplate sejas atpazīšanas algoritmu testēšanai; projektēts 2D filtrs; veikta attēla filtrēšana reālā laikā; izveidota jauna sistēmas arhitektūra; izpildīta jaunā Aptina MT9V024 attēlu sensora montāža; apskatīta datora saskarne ar prototipu; izveidota attēlu filtrācija FPGA platformā; apskatīti varianti kā samazināt dubulto leņķi; uzsākta LCD kontroliera izveide uz FPGA platformas. Šajā periodā tika novērtēts Matlab'ā realizētais plauksta ģeometrijas algoritms, implementēšanai FPGA
- Biometrisku datu kriptēšanas, glabāšanas un lietojuma apakšsistēmas izveide – iepriekšējos pārskata periodos tika izanalizēti algoritmi *biohash* funkcijas skaitļošanai; izveidots algoritms, kas iegūst vidēji tādu pašu EER kā salīdzinot nešifrētus datus; izstrādāta programmatūra, kas salīdzina nešifrētus un šifrētus datus uz Java viedkartes; izstrādāts protokols, kas ļauj izveidot drošu sakaru kanālu starp viedkarti un autentifikācijas iekārtu; sastādīts ROI noteikšanas algoritms; apskatīts Rīda–Solomona kļūdu koriģējošs algoritms; izveidota viedkartes programma, kurā ir iespējams ierakstīt cilvēka datus; uzlabots BioHash algoritms; apskatīta un pielietota vektoru rotācija, kas implementēta FPGA.
- Atsevišķu sistēmas komponentu un bloku izstrāde un izpēte – iepriekšējos periodos tika veidotas funkcionālo bloku elektriskās principiālās shēmas *Altium Designer* vidē; izveidota principiālā viedkaršu komunikācijas maketa shēma; uzsākta kameras moduļa iespiedplates montāža; tika programmēti Aptina MT9V024 attēlu sensora reģistri; projektēts biometrijas sistēmas ietvars; izveidota iespiedplate viedkaršu saskarnes nodrošināšanai ar FPGA izstrādes rīka; programmēts mikrokontrolieris MSP430; realizēti LBP, LDP algoritmi MATLAB vidē un veikta fāzes korelācijas algoritma izveide plauksta biometrijas datu pārbaudei.
- Multimodālas biometrijas tehnoloģijas koncepta definēšana – iepriekšējos periodos tika aprakstīti prototipa funkcionālo bloku darbības principi un savstarpējā sadarbība.

- Tehnoloģijas demonstratora eksperimentālā maketa montēšana – iepriekšējos pārskata periodos tika veikta biometrijas prototipa 1.versijas montāža un visi sistēmas bloki tika ievietoti organiskā stikla ietvarā, veidojot vienotu prototipēšanas sistēmu; uzņemta datubāze un apstrādāti attēli, izmantojot esošo prototipu; izveidots sejas atpazīšanas modulis un izveidota durvju atvēršanas sistēma. Devītajā periodā tika izstrādāti sistēmas korpusa rasējumi demonstratoram, pēc kuriem pēc tam tastika pasūtīts.
- Algoritmu implementēšana eksperimentālajā maketā – iepriekšējos pārskata periodos veiktas CMF modifikācijas; nomainīts maskas izmērs no 9x9 uz 15 x15; izmainīta pati maska; gūts priekšstats par VHDL parametrizējamām ķēdēm; uzsākta Fast NH-CMF2 realizācija; veikta horizontālā, vertikālā un 2D parametrizējamā filtra implementācija FPGA; strādāts pie FPGA sistēmas darbības stabilitātes paaugstināšanas, RAM buferu darbības stabilizācijas un PC komunikācijas stabilizācijas. Šajā pārskata periodā tika FPGA tika implementēts BioHash algoritms, veidots GUI un pieslēgts MTL LCD skārienjūtīgais ekrāns

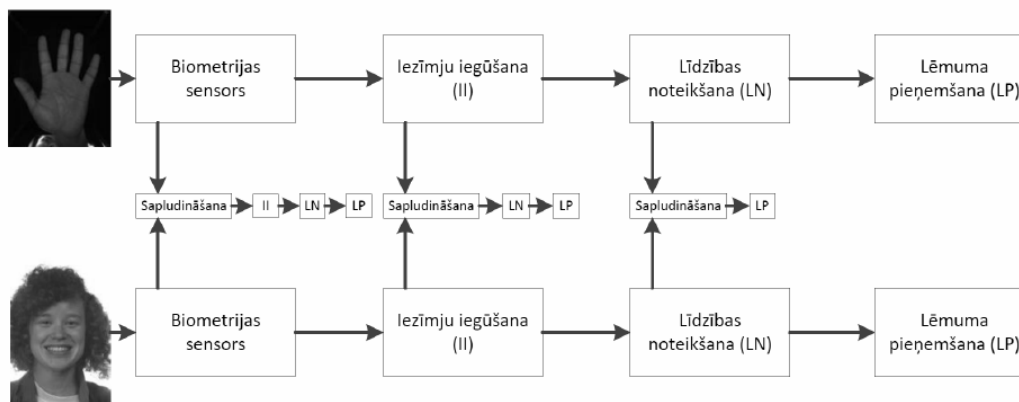
Turpmāk dokumentā ir detalizēti aprakstītas katras uzdevumu grupas pētniecības darbības un rezultāti.

Aktivitāte: Lietišķie pētījumi

Biometrisko datu apstrādes algoritmu darbības izvērtēšana

Biometrisko iezīmju sapludināšanas teorija

Biometrijas sistēmas sastāv no vairākām komponentēm, kas ir nepieciešamas cilvēka atpazīšanā. Pirmā komponente ir datu iegūšanas sensors, kas ir atbildīgs par neapstrādātās biometrijas informācijas iegūšanu. Tas var būt attēla sensors, akseleometrs, žiroskops, pulsa mērītājs, spiediena mērītājs u.c. Nākamais ir iezīmju iegūšanas modulis, kas no neapstrādātajiem biometrijas datiem iegūst vajadzīgās iezīmes, kas tiks izmantotas personu atpazīšanā. Tās var būt pirksta rievu nospiedumu krustpunktu atrašanās vietas, cilvēka sejas iezīmes, veids kā cilvēks sagāž pildspalvu parakstoties u.c. Atlasītās iezīmes tiek apstrādātas atpazīšanas modulī, kas tās salīdzina ar pārbaudāmo biometrijas paraugu, lai noteiktu to savstarpējo līdzību. Līdzība parasti tiek izteikta kā koeficients starp 0 un 1. Kad ir noskaidrota abu biometrijas paraugu līdzība, tiek pieņemts lēmums, vai abi paraugi ir pietiekami līdzīgi. Parasti ir kāda sliekšņa vērtība pret kuru salīdzina līdzību, ja tā ir par to lielāka vai vienāda, tad paraugs tiek apstiprināts kā līdzīgs, ja tā ir par to mazāk, tad paraugs tiek noraidīts kā atšķirīgs.



Biometrijas sistēmas komponentes

Rezultātu iegūšanas process nekad nav ideāls un nākas saskarties ar vairākām problēmām. Šīm problēmām var būt dažādi cēloņi. Tas var būt cilvēcisks faktors, piemēram, sejas attēla uzņemšanas laikā cilvēks piever acis vai maina sejas izteiksmi, iespējams, persona ir nogurusi un līdz ar to uzvedās (parakstās, runā, staigā) savādāk. Otrs iemesls var būt izmantojamo biometrijas sensoru atšķirības. Tās var panākt, ka no viena un tā paša biometrijas parauga pie dažādiem sensoriem iegūst ļoti atšķirīgu rezultātu. Pēdējais kļūdu avots ir apkārtējās vides apstākļi, sensoru informācijas ierakstīšanas laikā. Daži no iespējamiem apstākļiem ir: fona izgaismojums uzņemot attēlus, atspīdums uzņemot acu zīlītes attēlu, fona troksnis ierakstot skaņu u.c.

Aprakstītās problēmas ir iespējams risināt izmantojot dažādus sensorus, kas iegūst informāciju par dažādiem biometrijas datiem. Šādas sistēmas sauc par multimodālām biometrijas sistēmām. Datus ir iespējams iegūt vai nu visiem paraugiem vienlaicīgi vai arī no sākuma vienam un pēc tam otram.

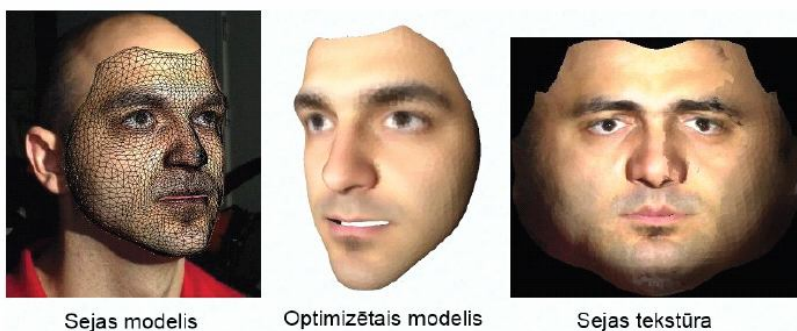
Tiek sagaidīts, ka izmantojot vairākus biometrijas paraugus, tiks uzlabota atpazīšanas precizitāte un līdz ar to sistēmas drošība. Šāds rezultāts ir iespējams, jo salīdzināšanā tiek izmantoti vairāki vienas personas informācijas avoti.

Ja sistēmai nav vajadzīga liela drošība, tad ir iespējams izveidot plaši pieejamu vairāk cilvēkiem. To var panākt, ļaujot sistēmā autorizēties, atrādot daļu no visiem cilvēka biometrijas parametriem. Šādā veidā sistēmu varētu lietot cilvēki, kuriem nav visi parametri pieejami (piemēram, mēmi cilvēki nevar lietot balss atpazīšanu), vai arī cilvēki, kas traumu dēļ sistēmu nevar lietot īslaicīgi (ar salauztu plaukstu nav iespējams personu atpazīt pēc plauksta rievām).

Biometrijas datu sapludināšana ir iespējama dažādos punktos datu apstrādes procesā un atkarībā no punkta, tiek sapludināta cita informācija. Nav nepieciešams ierobežoties tikai ar divu biometrijas paraugu sapludināšanu, vai arī ar visu paraugu apvienošanu vienā līmenī. Ir iespējams apvienot divus paraugus iezīmju iegūšanas līmenī un to rezultātu var sapludināt ar trešo biometrijas paraugu salīdzināšanas vai lēmuma pieņemšanas līmenī. Sapludināšanas rezultāti vienā līmenī var kļūt par sapludināmiem datiem citā līmenī. Iespējamie sapludināšanas līmeņi ir: sensoru līmenis, iezīmju iegūšanas līmenis, līdzības noteikšanas līmenis un lēmumu pieņemšanas līmenis.

Sapludināšana sensoru līmenī

Šajā līmenī tiek sapludināti no sensoriem iegūtie dati. Ar šādu metodi ir iespējams samazināt trokšņu daudzumu ieejas datos, vai arī iegūt sarežģītāku biometrijas informāciju. Ja mērāmais parametrs būtu cilvēka balss, tad izmantojot vairākus mikrofonus ir iespējams samazināt fona trokšņus un tādējādi uzlabot skaņas kvalitāti. Vēl ar vairākiem mikrofoniem ir iespējams atdalīt dažādus skaņas avotus. Uzņemot cilvēka sejas attēlu no dažādiem leņķiem, ir iespējams apvienot un izveidot trīs dimensionālu cilvēka sejas modeli, ko pēc tam izmanto atpazīšanā.

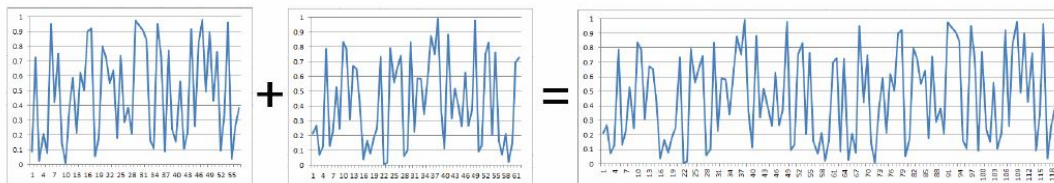


Trīsdimensionāls sejas modeļa paraugs

Sapludināšana iezīmju iegūšanas līmenī

No sensora iegūtajiem datiem tiek izteiktas svarīgākās iezīmes un izveidots iezīmju vektors, ko pēc tam izmanto salīdzināšanā. Iespējams ir dažādo biometrijas datu iezīmju vektorus apvienot lielākā vektorā, tā sniedzot lielāku dimensiju daudzumu, ar kurām apzīmēt cilvēku.

Gadījumā, ja jaunizveidotais iezīmju vektors ir pārāk liels var pielietot metodes, ar kurām samazinātu iezīmju daudzumu, atlasot no tām tikai svarīgāko informāciju.

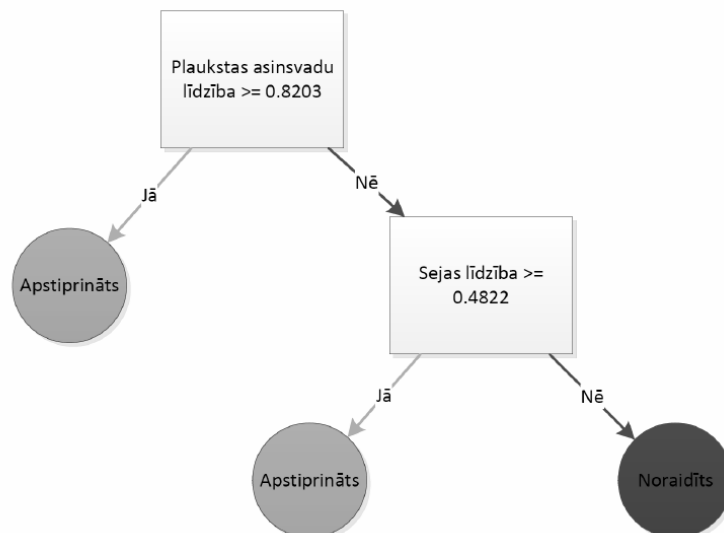


Iezīmju vektoru apvienošanas paraugs

Sapludināšana līdzības noteikšanas līmenī

Veicot salīdzināšanu, katra biometrijas sistēma atgriež savu līdzību ar salīdzināmo paraugu. Ir iespējams šos rezultātus apvienot, lai noteiktu precīzāku līdzības koeficientu. Pirms tas tiek veikts, ir nepieciešams līdzības normalizēt vienādā vērtību robežā.

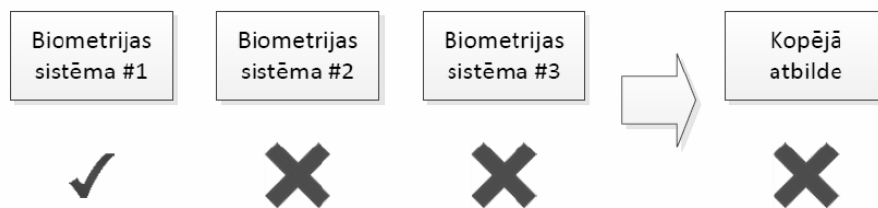
Var pielietot dažādas vērtību apvienošanas stratēģijas. Visām vērtībām var būt vienāda nozīme un līdz ar to rezultāts ir šo vērtību summa. Dažas no šīm līdzībām var būt svarīgākas un summēšana tiek veikta ar svāriem, kas tiek pareizināti katrai vērtībai. Var tikt pielietoti mainīgi apvienošanas nosacījumi. Piemēram, ja tiktu apvienota cilvēka sejas atpazīšana un balss atpazīšana, tad gadījumā, ja tiktu uzverts, ka fona troksnis balsij ir palielināts, tad apvienojot piešķirtu tai mazāku svaru. Dažas no iespējamām metodēm ir līdzību summēšana ar svāriem, līdzību reizināšana ar svāriem, lineārā diskriminanta metode, lēmumu koki u.c.,



Lēmuma koka paraugs cilvēka apstiprināšanai

Sapludināšana lēmumu pieņemšanas līmenī

Sasniedzot šo līmeni, katra biometriskā sistēma ir patstāvīgi pieņēmusi lēmumu, vai paraugs ir pietiekami līdzīgs un vai to pieņem vai arī noraida. Izmantojot šo informāciju ir iespējams veikt vairākuma balsošanu - atgriež tādu salīdzināšanas rezultātu, ko atgriež vairākums no izmantotajām biometrijas sistēmām.



Vairākuma balsošana paraugs

Cita pieeja ir izmantot loģiskā "UN" un loģiskā "VAI" nosacījumus iegūtajiem salīdzināšanas rezultātiem. Cilvēki ir jāapstiprina vienam un otram biometrijas parametram, vai arī cilvēki ir jāapstiprina vienam vai otram parametram. Izmantojot "UN" nosacījumu, samazina nepatiesās apstiprināšanas, bet izmantojot "VAI" nosacījumu samazina nepareizo noraidīšanu daudzumu.

Vairāku biometrisku parametru sapludināšana

Apskatītajā multimodālā biometrijas sistēmā tiek izmantoti trīs biometrijas parametri: cilvēka seja, plaukstas asinsvadi un plaukstas rievas. Ir nepieciešams atrast metodi kā šos parametrus apvienot un palielināt kopējo atpazīšanas precizitāti. Lai pārbaudītu turpmāk apskatītos algoritmus, tiek izmantota datubāze, kurā ir informācija par 200 cilvēkiem. Katra cilvēka katram biometrijas parametram ir četri paraugi.

Kā vērtēšanas kritēriji tiks izmantots vCMC un EER parametri. Iepriekšējos aprēķinos katram cilvēkam bija divi biometrijas paraugi, šajā gadījumā ir četri. Tāpēc ir nepieciešams aizstāt CMC parametru ar vCMC. Ja tiek salīdzināti divi rezultāti, kur EER ir attiecīgi A_1 un A_2 un kur vCMC ir attiecīgi B_1 un B_2 , tad pirmais rezultāts tiks uzskatīts par labāku, ja $A_1 \geq A_2$ un $B_1 < B_2$. Tabulā ir iespējams aplūkot, kāda ir katra biometrijas parametra veikspēja pirms sapludināšanas:

	vCMC, %	EER, %
Plaukstas asinsvadi	57.222	15.035
Plaukstas rievās	49.889	16.324
Sejas informācija	82.222	11.667

Sapludināšana iezīmju līmenī

Lai varētu sapludināt parametrus iezīmju līmenī, ir nepieciešams, ka abiem parametriem ir līdzīga metode iezīmju apstrādei un līdzības noteikšanai. Dažiem biometriskiem parametriem var būt iezīmes, kuras tiek salīdzinātas ar specifiskiem algoritmiem. Šādas iezīmes nav apvienojamas ar algoritmiem, kas izmanto citas specifiskās metodes. Ir iespējams apvienot dažādas iezīmes, ja tiek izmantots, piemēram, mašīnmācības algoritms, bet tādā gadījumā visticamāk, ka atpazīšanas precizitāte būs mazāka

Plaukstas rievām un plaukstas asinsvadiem sakrīt gan veids kā iezīmes tiek iegūtas, gan veids kā tās tiek salīdzinātas. Līdz ar to sapludināšanu ir iespējams veikt bez problēmām. Apvienošanas rezultātā iezīmju vektors paliek divas reizes lielāks. Sapludināšanas rezultāti ir redzami tabulā, kurā var redzēt, ka iezīmju apvienošana ir uzlabojusi atpazīšanas precizitāti:

	vCMC, %	EER, %
Sapludinātā plaukstas informācija	69.000	12.619

Sapludināšana līdzības līmenī

Pēc tam, kad ir izteiktas biometrisku parametru iezīmes, tās var izmantot, lai aprēķinātu divu paraugu līdzību. Šī līdzība ir vērtība robežā [0;1] un tiek izmantota, lai noteiktu vai abi paraugi ir pietiekami līdzīgi. Ja ir pieejami vairāki biometrijas parametri, tad salīdzinot divus cilvēkus, tiek iegūtas vairākas savstarpējās līdzības. Tās ir iespējams apvienot. Šajā līdzības līmenī tiks apvienotas sekojošo biometrisku parametru līdzības: plaukstas asinsvadi, plaukstas rievās, sapludinātā plaukstas informācija un cilvēka sejas informācija.

Vērtību summēšana ar svariem

Šī ir vienkārša metode ar ko sākt sapludināšanu, un tā tiek veikta līdzības noteikšanas līmenī. Ar šo metodi visas pieejamās līdzības tiek saskaitītas, bet tā kā ne visas pieejamās līdzības ir vienlīdz svarīgas un vienlīdz precīzas, tad katrai tiek piešķirts savs svara koeficients. Ja ir k biometrijas parametri, tad katram ir nepieciešams noteikt koeficientu c_k , kas tiek pierēzināts attiecīgajai līdzībai l_k summējot vērtības. Visu koeficientu summa ir vienāda ar 1. Rezultējošo summāro līdzību wS aprēķina saskaitot visas līdzības, kur katrai tiek pierēzināts savs koeficients.

$$\sum_{z=1}^k c_z = 1$$

$$wS = \sum_{z=1}^k c_z * l_z$$

Lai aprēķinātu vislabāko parametru kombināciju, to koeficientiem tika veikta pilna pārļase. Parametru pārmeķlēšanas solis ir 0.05. Visaugstākā atpazīšanas precizitāte tika sasniegta, kad plaukstas asinsvadu koeficients bija 0.25, plaukstas rievu koeficients bija 0.15, sapludinātās plaukstas informācijas koeficients bija 0.30 un sejas informācijas koeficients bija 0.30. Var redzēt, ka apvienojot parametrus, ir iespējams iegūt daudz labāku rezultātu nekā ar katru atsevišķi:

	vCMC, %	EER, %
Vērtību summēšana ar svariem	93.333	3.889

Vērtību reizināšana ar svariem

Šī metode ir ļoti līdzīga vērtību summēšanai ar svariem, vienīgi saskaitīšanas vietā tiek izmantota reizināšana.

$$wS = \prod_{z=1}^k c_z * l_z$$

Tāpat kā vērtību summēšanai ar svariem, arī šai metodei tika veikta vērtību pārļase. Izvēlētais pārmeķlēšanas solis ir 0.05. Visaugstākā atpazīšanas precizitāte tika sasniegta,

kad plauksta asinsvadu koeficients bija 0.05, plauksta rievu koeficients bija 0.05, sapludinātās plauksta informācijas koeficients bija 0.05 un sejas informācijas koeficients bija 0.85. Arī ar šo metodi iegūtie rezultāti ir labāki nekā ar katru parametru atsevišķi, bet sliktāki nekā summēšanai ar svariem:

	vCMC, %	EER, %
Vertību reizināšana ar svariem	92.667	4.658

Lēmumu koks

Lēmuma koki ir vienkāršs modelis rezultātu paredzēšanai, kas no ieejas parametriem atgriež rezultātu, izmantojot vienkāršus nosacījumus. Koki parasti tiek izmantoti problēmām, kuru rezultātam vajag būt viegli uztveramam un izskaidrojamam cilvēkam.

Šajā darbā izmantotais apmācības algoritms kokam ir C4.5, kas ir pēctecis ID3 algoritmam. Abi ir alkātie algoritmi, kas veic lokāli izdevīgus lēmumus, līdz ar to ir grūti sasniegt globālu maksimumu, tātad arī labāko iespējamo koku. Koku veidošana tiek veikta, izmantojot informācijas entropiju. Katrā zarošanās punktā tiek izvēlēts tāds nosacījums, kas paraugu kopu pēc iespējas vairāk sadalītu divās kategorijās.

Tika izmēģinātas dažādas lēmuma koka apmācības datu kombinācijas. Pirmā ir ar plauksta rievām, plauksta asinsvadiem, sapludināto plauksta informāciju un sejas informāciju. Otrā kombinācija ir ar plauksta rievām, plauksta asinsvadiem un sejas informāciju. Un trešajā kombinācijā tika apvienota sapludinātā plauksta informācija un sejas informācija. Rezultāti ir redzami tabulā:

Plauksta asinsvadi	Plauksta rievās	Sapludinātā plauksta informācija	Sejas informācija	EER, %
x	x	x	x	15.423
x	x	-	x	16.296
-	-	x	x	14.141

Visaugstākā atpazīšanas precizitāte tika sasniegta, izmantojot sapludināto plauksta un sejas informāciju. Tomēr tā nebija labāka kā ar atsevišķiem biometrijas parametriem, to apvienošana kokā pasliktināja rezultātus.

Iespējams, iemesls sliktajiem rezultātiem varētu būt, ka koku apmācība notiek pēc alkātīga algoritma, kas nozīmē, ka katrā lēmumā tiek pieņemta izvēle, kas ir vislabākā konkrētajā situācijā, līdz ar to ir problemātiski atrast globālo optimumu. Iespējams, cita koka algoritma izmantošana varētu uzlabot rezultātus.

Vairākas sejas paraugu līdzības

Sejas atpazīšanai tiek izmantots vietējais binārais modelis un to var iespaidot ar dažiem parametriem. Šie parametri ir: LBP reģionu daudzums un LBP rādiuss. Arī sejas attēlu uzņemšanas procesam ir kritērijs, ko var iespaidot - pieļaujamais cilvēka sejas platums attēlā. Pamainot šos parametrus tiek attiecīgi iegūts savādāks rezultāts un tie sniedz savādāku informāciju par apstrādājamo attēlu. Šī papildus informācija var uzlabot atpazīšanas precizitāti. Šī eksperimenta ieejas parametri ir cilvēku līdzības, ko iegūst ar sejas atpazīšanas

algoritmu, izmantojot dažādas parametru kombinācijas. Apvienošana tiks veikta tāpat kā vērtību summēšanā ar svāriem.

Meklējot LBP optimālos parametrus tika noskaidrots, ka vislabākos rezultātus ir iespējams iegūt ar platumu 130. Tāpēc tiek apskatītas parametru kombinācijas, kur pieļaujamās sejas platums ir mazāks par 130 un kas ar attiecīgo platumu ir ieguvušas vislabāk rezultātu. Apvienošanā izmantotās parametru kombinācijas ir redzamas tabulā. Katrai kombinācijai ir arī redzami atpazīšanas precizitāte:

Sejas platums	Reģionu daudzums	LBP rādiuss	Apzīmējums	vCMC	EER
90	5	4	A	83.333	9.083
100	5	5	B	83.916	9.686
110	5	4	C	83.500	9.500
120	5	5	D	83.416	9.248
130	6	4	E	82.916	9.797

Vislabākie rezultāti tiek iegūti, ja līdzības summēšana tiek veikta kā formulā:

$$A * 0.05 + B * 0.65 + C * 0.05 + D * 0.25 + E * 0$$

	vCMC	EER
Summētā sejas līdzība	83.222	11.024

Apskatot izmantoto datu sākotnējās atpazīšanas precizitāti var redzēt, ka parametru kombinācija (ar sejas platumu 130), kurai vajadzētu sniegt vislabākos rezultātus, sniedz vissliktākos. Tāpēc rezultējošajā parametru kombinācijā tā netiek izmantota. No tām parametru kombinācijām, kas tiek izmantotas rezultējošajā apvienošanas izteiksmē, labākā atpazīšanas precizitāte ir vCMC = 83% un EER = 11.11%. Apvienotā rezultāta vCMC ir par 0.222 augstāks un EER ir par 0.084 zemāks. Iegūtā atpazīšanas precizitāte sapludinātiem datiem ir augstāka, kaut arī tikai nedaudz.

Šādus rezultātus varētu skaidrot ar to, ka aprēķināšanai tiek izmantoti savādāki attēli nekā tad, kad tika noskaidrota labākā parametru kombinācijas sejas atpazīšanas algoritmam. Tāpēc šiem attēliem piemērotāka būtu cita parametru kombinācija.

Sapludināšana lēmuma līmenī

Lēmumu līmenī atsevišķās biometrijas sistēmas ir pieņēmušas lēmumu, vai dotais biometrijas paraugs ir pietiekami līdzīgs tam, ar ko salīdzina. Tātad apvienošanai var izmantot šos lēmumus. Šajā līmenī apvienošanai ir pieejami seši dažādi biometrijas parametri.

Iepriekšējā līmenī tika apstrādātas līdzības, bet, tā kā šajā līmenī ir nepieciešams lēmums, tad nepieciešams šīs līdzības sliekšņot, lai to iegūtu. Ja līdzība ir lielāka vai vienāda par sliekšņa vērtību, tad apstiprina, bet ja ir mazāka, tad noraida. Pirms sliekšņošanas ir nepieciešams aprēķināt sliekšņa vērtības. Katram biometrijas parametram no iespējamām sliekšņošanas vērtībām tika izvēlēta tāda, ka rezultāta vCMC vērtība bija maksimālā.

	Sliekšņa vērtība	vCMC, %	EER, %
Plaukstu asinsvadi	0.838	50	33.418
Plaukstu rievās	0.845	41	33.806
Sapludinātā plaukstu informācija	0.828	57.333	24.056
Sejas informācija	0.427	77.333	16.459
Svaru summētā informācija	0.694	89.666	7.700
Svaru reizinātā informācija	0.00002363	87.333	10.454

iegūtās sliekšņu vērtības

Vairākuma balsošana

Lēmums par apstiprināmo cilvēku ir vienāds ar to, kādu iegūst lielākā daļa no biometrijas sistēmām. Šai metodei tiek izmēģinātas balsošanas kombinācijas ar 5 parametriem. Atlasītajiem parametriem ir jābūt nepāra daudzumā, lai neveidotos situācijas, kad nevar vienoties par lēmumu. Tāpēc no sākuma tiek apskatītas visas iespējamās 3 avotu kombinācijas no pieejamiem datu avotiem, kas ir, vai nu nesapludināti dati vai jau sapludināti dati. Un beigās tiek apskatīta situācija, kad tiek izmantoti visi pieci parametri.

Rezultātos var redzēt, ka labākā atpazīšanas precizitāte tiek iegūta, ja izmanto visus biometrijas parametrus.

Plaukstu asinsvadi	Plaukstu rievās	Sapludinātā plaukstu informācija	Sejas informācija	Svaru summētā informācija	EER, %
x	x	x	-	-	19.359
x	x	-	x	-	6.77
x	x	-	-	x	7.25
x	-	x	x	-	5.763
x	-	x	-	x	6.747
x	-	-	x	x	7.002
-	x	x	x	-	6.185
-	x	x	-	x	6.869
-	x	-	x	x	6.445
-	-	x	x	x	5.446
x	x	x	x	x	4.991

Būla algebra

Ar šo metodi tiek apvienotas vairākas loģiskās operācijas, lai tādā mēģinātu uzlabot atpazīšanas precizitāti. Katrs atgrieztais rezultāts tiek uztverts kā operands izteiksmē. Attiecīgi "1", ja rezultāti ir pietiekami līdzīgi un "0", ja ir atšķirīgi. Lai izteiksmes būtu vieglāk veidot un samazinātu iespēju izveidot vienādas, bet savādāk pierakstītas, izteiksmes tiek veidotas un pierakstītas disjunktīvā normālformā.

Vislabākās izteiksmes atrašanai tiks veikta pilna pārļāse. Pakāpeniski tiks palielināts disjunkciju daudzums, ar kurām tiks apskatītas visas iespējamās parametru kombinācijas. Tā kā ar katru nākamo iespējamo disjunkciju iespējamo kombināciju daudzums strauji pieaug, tad tiks apskatītas tikai izteiksmes līdz divām disjunkcijām. Biometriskos parametru apzīmējumus izteiksmēs ir iespējams redzēt tabulā. Rezultāti ar augstāko atpazīšanas precizitāti tika sasniegti ar izteiksmi, kas ir redzama formulā, tādā gadījumā tika iegūts EER = 7.051%.

$$F \vee (B \wedge C) \vee A$$

Biometriskais parametrs	Operanda apzīmējums
Plaukostas asinsvadi	A
Plaukostas rievas	B
Sapludinātā plaukostas informācija	C
Sejas informācija	D
Svaru summētā informācija	E
Svaru reizinātā informācija	F

Rezultāti un secinājumi

Pieejamo biometrisku parametru (plaukostas rievas, plaukostas asinsvadi, sejas informācija) sapludināšana tika apskatīta gan vairākos līmeņos, gan ar vairākām metodēm. Sapludināšanas metožu izmantošana ir viennozīmīgi sniegusi atpazīšanas precizitātes uzlabojumu. Visu sapludināšanas metožu apvienojumu ir iespējams redzēt tabulā. Pirmie ieraksti apraksta sākotnējos biometrijas datus:

	vCMC, %	EER, %
Plaukostas asinsvadi	57.222	15.035
Plaukostas rievas	49.889	16.324
Sejas informācija	82.222	11.667
Sapludinātā plaukostas informācija	69.000	12.619
Svaru summētā informācija	93.333	3.889
Svaru reizinātā informācija	92.667	4.658
Summētā sejas līdzība	83.222	11.024
Lēmuma koks ar sapludināto sejas un plaukostas informāciju	-	14.141
Vairākuma balsošana ar 5 parametriem	-	4.991
Būla algebra	-	7.051

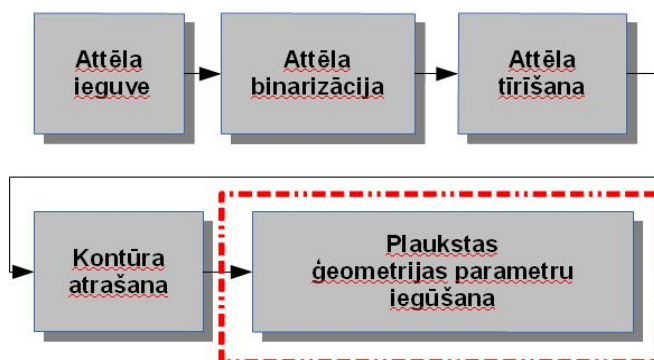
Iezīmju līmenī sapludinātā plaukostas informācija ieguva labāku precizitāti, nekā abi parametri atsevišķi, tāpēc rezultāts tika izmantots kā ieejas parametrs citos sapludināšanas algoritmos. Lai gan gandrīz visas sapludināšanas metodes uzlaboja atpazīšanas precizitāti, lēmuma koki to tieši pasliktināja. Tas liek domāt, ka vajadzētu izmantot labāku koka apmācības algoritmu. Līdzību līmenī iegūtā svaru summētā un svaru reizinātā informācija sniedz labākus rezultātus nekā tie, kas ir iegūti sapludinot informāciju lēmumu līmenī. Tātad, jo ātrāk biometrijas datu apstrādē tiek sapludināta biometrijas informācija, jo labākus rezultātus ir iespējams sasniegt. Vislielākā precizitāte tiek sasniegta, izmantojot svaru summēšanu ar koeficientiem. Šī metode tiks arī realizēta viedkartei biometrijas parametru sapludināšanai.

Biometrisko datu iegūšanas algoritmu paralelizācija un implementēšana programmējamos loģiskos masīvos

Plaukstu ģeometrijas algoritma realizācija un simulācijas ar publisko datubāzi MATLAB vidē, dots novērtējums realizācijai FPGA

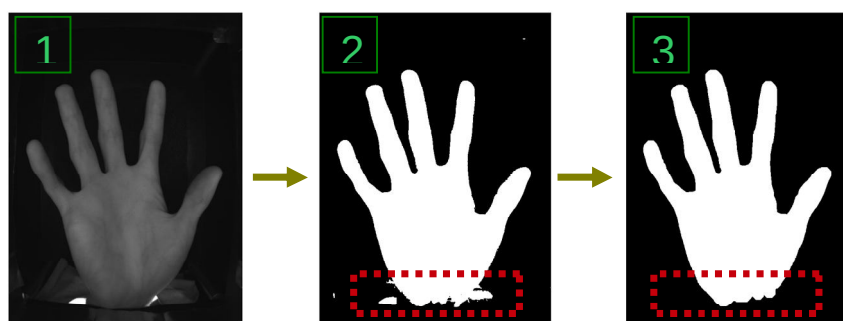
Iepriekšējos progresa pārskatos var aplūkot materiālu par izstrādāto plaukstu ģeometrijas algoritmu – tā teorētisko saturu. Šajā ceturksnī algoritms tika realizēts MATLAB izstrādes vidē, kur tika konstatētas un novērstas algoritma nepilnības, kā arī dots tā darbības un rezultātu precizitātes novērtējums ar reālos apstākļos iegūtiem attēliem. Eksperimentālajā etapā tika izmantota publiski pieejamā Āzijas plaukstu datubāze[1] ar 100 personām, kur katram paraugam ir 12 plaukstu attēli (6 labās un 6 kreisās rokas attēli). Balstoties uz algoritmā veicamajām darbībām dots novērtējums tā realizācijai FPGA, ņemot vērā, ka plaukstu ģeometrijas algoritms, funkcionēšanas ātruma ziņā nedrīkst būt lēnāks par plaukstu asinsvadu iegūšanas algoritmu FPGA.

1) Algoritma blokshēma



Projekta iepriekšējos etapos tika aplūkotas un izpētītas dažādas attēlu apstrādes metodes attēlu priekšapstrādei - binarizācijai un kontūru atrašanai, tādējādi šajā etapā tika strādāts pie metodēm, kuras iegūst plaukstu ģeometrijas parametrus no attēla (blokshēmā – sarkanais taisnstūris).

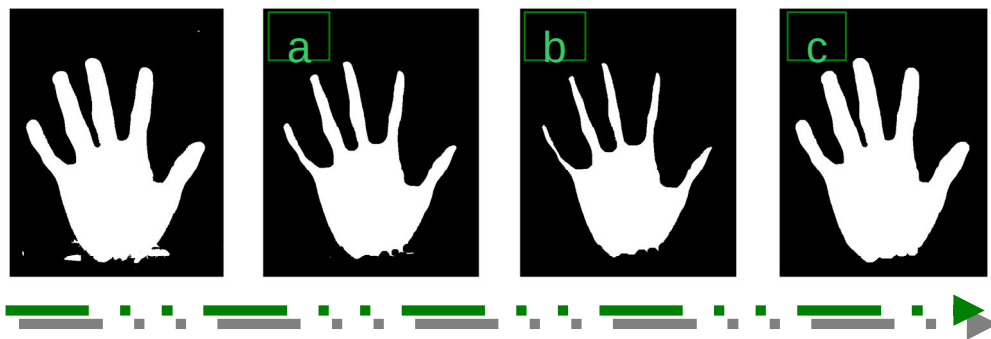
2) Algoritma realizācija MATLAB



Algoritms MATLAB vidē tiek sadalīts vairākos etapos, kur secīgi tiek realizētas attēlu apstrādes un citas matemātiskās operācijas. Darbojoties ar attēlu datubāzi, nav jāsaucas par attēlu uzņemšanu/iegūšanu, tādējādi tiek izsaukts attēls no attēlu datubāzes, un tam pielietotas dažādas operācijas plaukstas ģeometrisku parametru iegūšanai. Plaukstas attēla apstrādes etapi secīgi tiek parādīti 1.attēlā.

Ar morfoloģiskajām operācijām tiek novākts troksnis (t.i., ārpus plaukstas reģiona pēc sliekšņošanas atlikušās pozitīvās vērtības) no attēla. Nekorekti iegūtiem attēliem (melns fons nepārklāj plaukstu vai gaisma pārgaismo fonu attēlā) šis posms var izkropļot plaukstu, tādējādi, šis etaps spēj noņemt sīkus traucējumus.

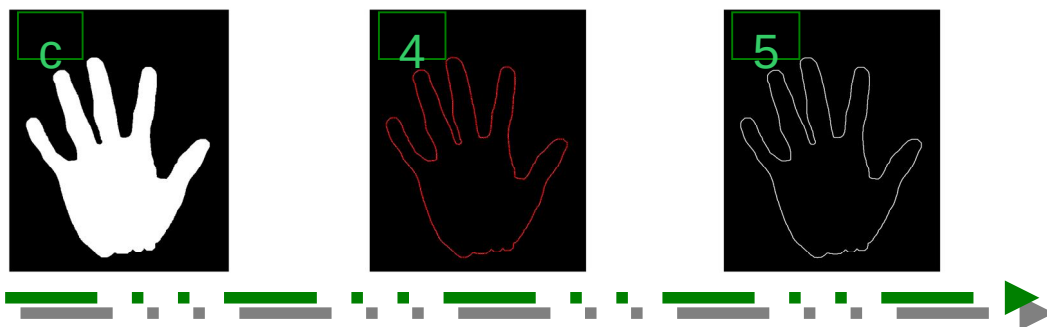
Šāda veida apstrādē tiek izmantota binārā maska (mūsu gadījumā lodes formā), kurai ir dažādi izmēri un tā vai nu papildina attēlā esošos pikselus vai "saēst" tos.



2.attēls. Binarizēts attēls pēc sliekšņošanas; (a) erode 10 pikseļu diapazonā; (b) erode papildus vēl 5 pikseļu diapazonā; (c) *dilatation* 15 pikseļu vērtībā

(c) panāk, ka plauksta atkal iegūst savas sākotnējās pikseļu vērtības, bet liekais troksnis ir noņemts (kura lokālais izmērs attēlā bija zem 10 pikseļu vērtībām).

Nākamais uzdevums ir iegūt plaukstas robežu attēlā. Šai darbībai tiek izmantota MATLAB funkcija $[B,L,N,A] = bwboundaries(attēls)$; Gadījumos, kad attēlā tiek detektētas vairākas robežas, tad pamatojoties uz plaukstas izmēru (aizpildījums attēlā) – tiek atstāta garākā. Atrodot robežu, tiek iegūta informācija par plaukstas koordinātēm.

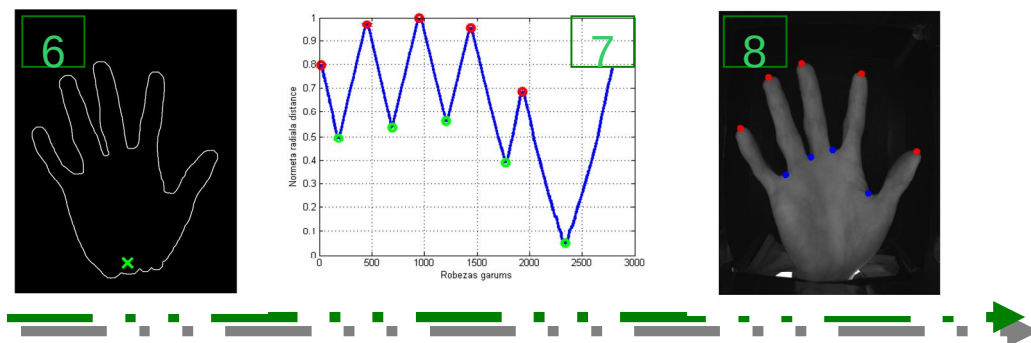


3.attēls. Plaukstas robežas atrašana attēlā

Kad atrasta robeža, tiek veikta attēla filtrācija, kuras rezultātā iegūst plaukstas kontūru. Šie etapi ir savstarpēji nesaistīti. Ja, meklējot robežu, mēs ieguvām plaukstas robežu un uzzinājām robežas pikseļu vērtības (no kuriem izriet nākamās operācijas plaukstas zīmīgo

punktu atrašanai), tad veicot filtrāciju etaps (c) (pēc morfoloģisko operāciju apstrādes) tiek transformēts uz etapu (5). Kontūru filtrācijā tiek izmantota *Canny* – metode, kura piemēro divas sliekšņa vērtības gradientam; augsts sliekšnis zemām kontūra intensitāšu izmaiņām un zems augstām.

Ar (5) etapu tiek pabeigta attēla priekšapstrāde, un tiek lokalizēta plauksta. Nākamajos etapos tiek iegūti plauksta geometriskie parametri.



4.attēls. (6) SP_{starta} punkta atrašana; (7) Eiklīda distances aprēķināšana; (8) minimumu, maksimumu atrašana

SP_{starta} punkts tiek atrasts, pārbaudot attēla iejas daļu empīriski pieņemtā attēla rindā. Tiek detektētas izmaiņas attēlā no '1' uz '0' un pretēji (plauksta kontūrs un fons). Izmantojot detektēto pozīciju koordinātes, tiek atrasts to viduspunkts, kurš arī ir SP_{starta} punkts.

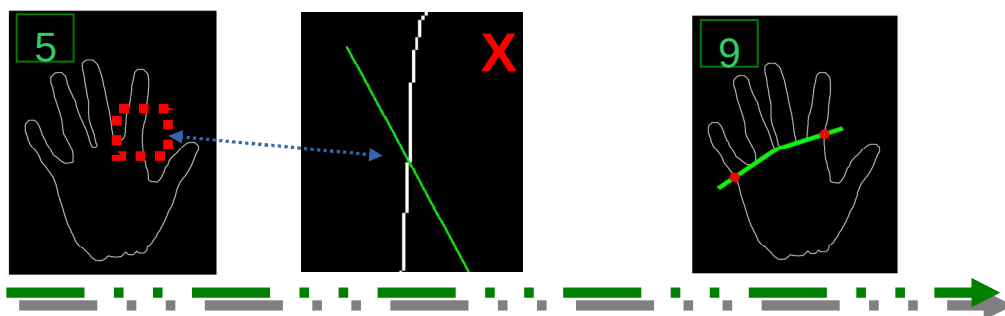
No SP_{starta} punkta tiek rēķināta Eiklīda distance attiecībā pret katru plauksta robežas punktu:

$$distance = \sqrt{(SP_{startax} - robeza_x(i))^2 + (SP_{startay} - robeza_y(i))^2}$$

Balstoties uz iegūtajiem punktiem mēs iegūstam (7) etapā parādīto raksturlīkni, kurā uzskatāmi redzami pieci maksimumi un četri minimumi, kuri simbolizē pirkstu galus un pirkstu starpas.

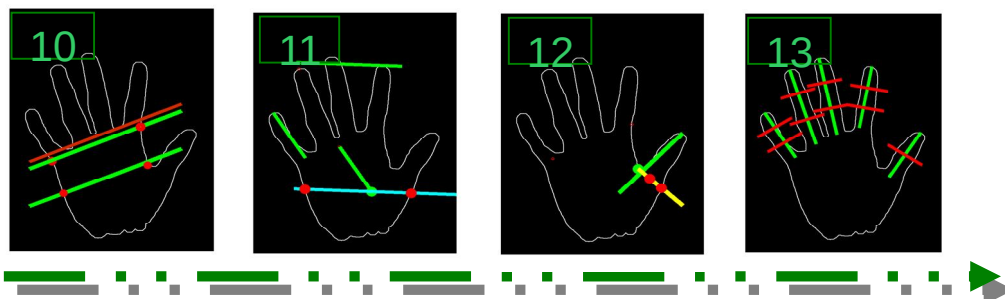
(8) etapā tiek uzrādītas atrastās pirkstu starpas un pirkstu gali sākotnējā, no datubāzes iegūtajā attēlā.

Pēc tam ir nepieciešams atrast divus zīmīgākos plauksta punktus, kuri norāda mazā un rādītāja pirkstu platumu – robežošanas ar fonu. Punkti tiek atrasti izmantojot iepriekš izstrādāto algoritmu, bet realizējot radās problēma. (5) etapā iegūts attēls, kurā ir tikai plauksta kontūrs – ar biezumu viens pikselis. Virzoties attēlā dažādos virzienos, pikseļu kontūrs var tikt nenodetektēts, kā parādīts 5.attēlā. Lai to atrisinātu, tika pielietota morfoloģiskā operācija *dilatation* ar kvadrāta maskas izmēru 2 pikseļi, tādējādi esošo plauksta kontūru padarot biezāku no 1 līdz 3 pikseļu vērtībām – izslēdzot gadījumus, kad kādā no virzieniem attēlā netiek “pamanīti” pikseļi. Punkti attēlā tiek meklēti pa iedomātu taisni. Balstoties uz iepriekš atrastajiem punktiem, tiek aprēķināts taisnes vienādojums starp diviem punktiem, kura vērtības tiek izmantotas attēla lasīšanai un plauksta kontūra krustošanās vietas ar fonu atrašanai.



5.attēls. Divu nozīmīgāko plaukstas punktu atrašana.

Kad atrasti divi nozīmīgākie plaukstas punkti, var noteikt plaukstas platumu (sk. (10) etapu). Etapā (11) tiek noteikts plaukstas platums PG3 un PRV_SP(zaļais) - sākuma punkts 2. Simulācijā ar datubāzi tika konstatēts, ka iepriekš izmantotais vidējais pirksta garums kā atskaites punkts PG3 plaukstas platuma mērīšanai nav optimāls, jo vairumam plaukstas attēlu, vidējā pirksta garums izraisa plaukstas mērīšanu ārpus plaukstas kontūra. Balstoties uz eksperimentāliem rezultātiem, kā atskaites punkts tika pieņemts mazā pirksta garums.

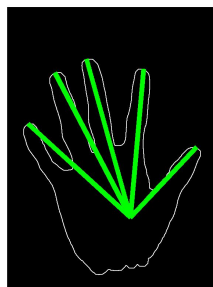


6.attēls. Pirkstu garumu un platumu noteikšana.

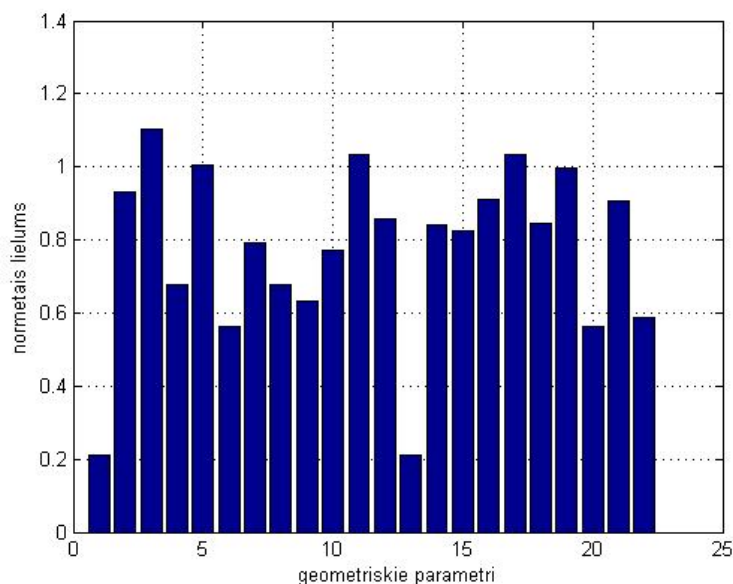
(12) etapā tiek noteikts īkšķa garums. Īkšķa garuma aprēķināšanas pieeja ir būtiski izmainīta pamatojoties uz iepriekš apskatītu problēmu (9) etapā. Ņemot vērā, ka programma rēķina taisnes vienādojumu starp diviem punktiem, kuri attēlā atrodas praktiski uz vienas taisnes, tad acīmredzams, ka taisnes vienādojums sastāvēs tikai no dažām vērtībām, kas nav pietiekami, lai varētu nodetektēt plaukstas kontūru virzienā pa y. Lai novērstu šo problēmu, tika aprēķināta taisne no PRV_SP līdz īkšķa galam. Tad no pirkstu starpas (īkšķa) perpendikulāri iegūtai taisnei tiek vilkta nākošā, kurai ir pietiekoši vērtību, lai spētu detektēt kontūra-fona izmaiņas.

(13) etapā tiek aprēķināti pirkstu garumi (balstoties uz maksimumiem un minimumiem iegūtajiem (7) etapā) un platumi divās vietās (īkšķim vienā) dalot garumu attiecību uz 3.

(14) etapā tiek aprēķināts attālums starp PRV_SP un pirkstu galiem:



Pēdējais ir (15) etaps, kurā iegūtie plaukstu ģeometriskie parametri tiek normēti un apvienoti vienā plaukstu raksturojošā vektorā.

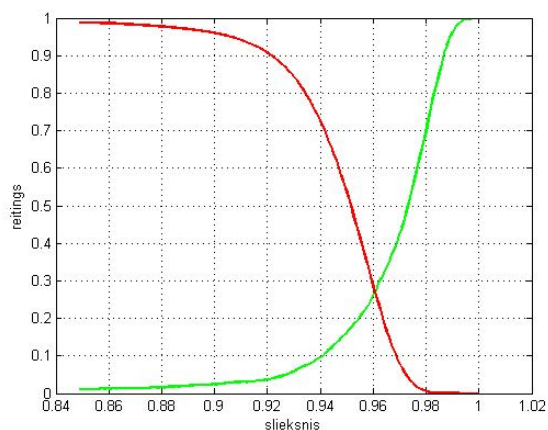


7.attēls. 22 plaukstu ģeometriskie parametri

7. attēlā redzami 22 plaukstu ģeometriskie parametri: plaukstu platumi (1-3), pirkstu garumi (4-8), pirkstu platumi (9-17) un attālumi no PRV_SP punkta līdz pirkstu galiem (18-22). Lielumi tiek normēti attiecībā pret plaukstu platumiem un pirkstu garumiem tā, lai maksimāli iegūtu mēroga un rotācijas invarianti.

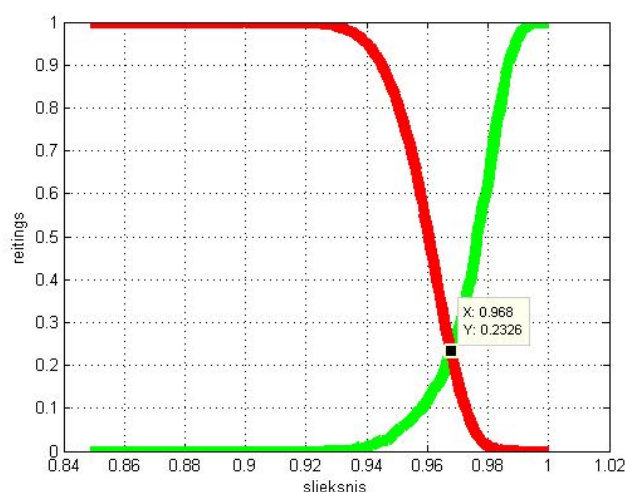
3) Eksperimentālie rezultāti

Algoritma darbība tiek testēta uz 100 personu plaukstu attēlu datubāzes, ņemot vērā to, ka katrai personai ir uzņemti abu roku plaukstu attēli, tad var uzskatīt, ka mums ir pieejamas 200 personas salīdzināšanai. Katrai personai ir uzņemti 6 attēli, tātad attēlu kopējais skaits ir 1200. Algoritma veikspēja MATLAB vidē vienam attēlam ir 1.669 sekundes.



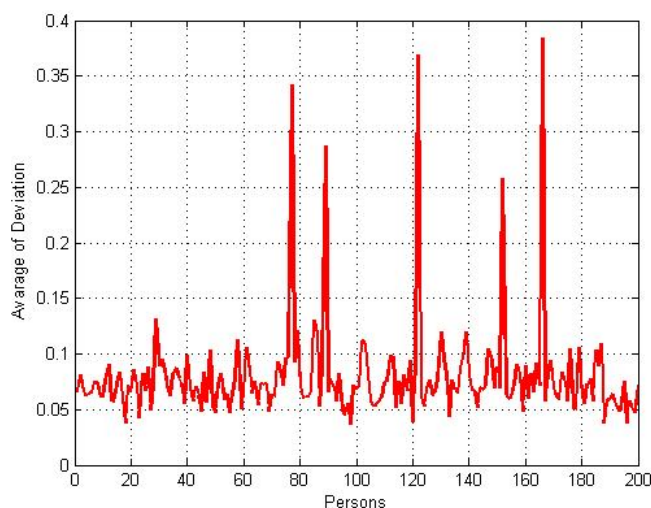
8.attēls. Algoritma precizitātes noteikšanas raksturīknes

Lai raksturotu algoritma precizitāti, rezultāti tika apvienoti FAR, FFR līknēs (8.attēls.), no kurām tika iegūts EER = 27%. Šādi rezultāti var tikt pamatoti ar datubāzi, kura nav paredzēta plaukstu ģeometrijas parametru iegūšanai; tajā sastopamie attēli nav piemēroti šādam algoritmam. Tāpēc izmantojot vienkāršus statistikas paņēmienus (standartnovirze un deviācija starp vienas personas ģeometriskajiem parametriem), tika noskaidrots, kuri attēli ievieš nozīmīgas neprecizitātes un vēlāk atsijāti, iegūstot EER = 23%. Gadījumos, kad datubāzes attēli apmierina algoritma nosacījumus:



$$S^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1),$$

kur S^2 – dispersija, $\bar{x}$ – videja parauga vertība, x_i – tekošais paraugs, n – paraugu skaits



9.attēls. Vidējā dispersija starp katras personas ģeometriskajiem datiem sešos attēlos

Attēlā redzami lielākie pīķi liecina par kļūdainiem attēliem, tātad algoritms nav spējis iegūt precīzus plaukstu datus. Piemērojot sliekšni mēs varam atsijāt attēlus, kuri neatbilst veicamajam uzdevumam.

4) Par realizāciju FPGA

Izvērtējot algoritma realizāciju MATLAB`ā un tā potenciālās iespējas realizācijai FPGA, tad nākas saskarties ar virkni problēmām. Iepriekšējā ceturksnī tika realizēta attēla binarizācija FPGA un konstatēti trūkumi uzņemot attēlu bez melna fona un papildus apgaismes līdzekļiem. Binarizācija FPGA ir ekonomiska no loģisko elementu viedokļa un norit ar viena kadra aizturi, tomēr, pārējās darbības, kuras ir aprakstītas šajā algoritmā ir FPGA resursus tērējošas (filtrācija, robežu meklēšana, taisnes vienādojumi). Tas viss noved pie tā, ka jāpieslēdz ārējā atmiņa (SDRAM), lai spētu saglabāt attēlu un veikt vairākas operācijas. Algoritms ir realizējams FPGA, bet tērējot resursus, kuri nepieciešami kopējai multimodālas biometrijas sistēmai.

5) Secinājumi

Biometrijas sistēmās precizitāte $EER = 23\%$ ir zema. Tas norāda, ka algoritmam ir nepilnības. Uzlabot precizitāti iespējams ar svaru koeficientiem katram biometriskajam parametram. Plauksta attēlu izmēri datubāzē ir 756×480 pikseļi, kas ir salīdzinoši maz, lai iegūtu augstu mērījumu precizitāti. Kā arī attēlos ar fiksētu plauksta novietojumu precizitāte pieaugtu, izslēdzot nepilnības, kuras rodas normējot ģeometriskos parametrus.

Aktivitāte: Eksperimentālā izstrāde

Tehnoloģijas demonstratora eksperimentālā maketa montēšana

Aktivitātes ietvaros izstrādātās plates un iegādātās komponentes bija nepieciešams apvienot vienā kompaktā korpusā, kurš būtu ergonomisks lietošanai gan laboratorijas apstākļos, gan ergonomisks lietotājiem iekārtas prezentēšanas brīžos un reālo darbības apstākļu testos.

Korpusā nepieciešams ievienot ekrānu, kas domāts attēla izvadīšanai un datu ievadīšanai caur iepriekš minēto skārienjūtīgo ekrānu. Ekrāna novietojumam jābūt tādā, lai lietotājs ērti varētu apskatīt attēlotos datus, kā arī veikt datu ievadi caur skārienjūtīgo ekrānu.

Tikpat svarīga komponente ir attēlu iegūšanas sensors un objektīvs, kura novietojumam jābūt salāgotam ar attēla novietojumu, lai reālā laikā iegūto lietotāja plaukstas attēlu varētu apskatīt uz ekrāna.

Datu apstrādes un izvades modulis ir novietots zem ekrāna, lai ietaupītu vietu un pēc iespējas vairāk ļautu samazināt korpusa izmērus.

Korpusā ir jābūt pieejamām ieejām un izejām, caur kurām var pievienoties iekšējām datu apstrādes un pārraides platēm. Šādas ieejas un izejas ir nepieciešamas barošanas avota pieslēgšanai, USB konektora pievienošanai utt. Vēl korpusā ir atvērums viedkartes ērtai ievietošanai. Uz korpusa ir pieejami arī slēdži iekārtas vadībai.

Materiāla izvēles galvenie kritēriji ir estētiskuma piešķiršana korpusam un korpusa cena. Izstrādes gaitā tika nonākts līdz secinājumiem, ka visizdevīgāk ir iegādāties korpusu, kurš izgatavots no plānas loksnes tērauda. Tēraudam ir jābūt krāsotam, lai piešķirtu korpusam vizuāli industriālāku izskatu. Korpusa krāsa – melna.

Korpuss ir izjaucams un sastāv no divām daļām, pie pamatnes ir stiprinātas visas datu apstrādes un pārraides plates, kā arī attēla ieguves sensors ar objektīvu un ekrāns. Bet pie korpusa vāka ir piestiprināti vadības slēdži un viedkartes nolasīšanas modulis. Vākā ir jābūt iepriekš minētajiem atvērumiem, lai iekārtā būtu iespējams pievienot personālajam datoram, kā arī būtu iespējams pievienot barošanas avotu. Abas korpusa daļas sastiprinātas ar skrūvēm, arī plates pie korpusa stiprinātas ar skrūvēm.

Korpusa gabarītu rasējumi apskatāmi pielikumā Nr.1, bet izveidotais korpuss redzams attēlā:



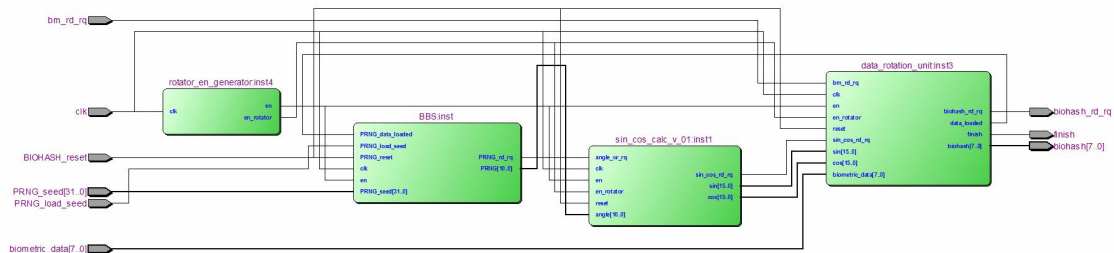
BIOHASH algoritma implementācija

```
graph LR; Viedkarte[Viedkarte] -- "Gadījumu skaitļu sēkla (seed)" --> Pseid[Pseid-gadījuma skaitļu ģenerators]; Pseid --> SIN[SIN COS aprēķins]; SIN -- "sin" --> Rotacija[Biometrisku datu rotācija, izmantojot rotācijas matricas]; SIN -- "cos" --> Rotacija; Biometri[Biometriskie dati] --> Rotacija; Rotacija --> Slipek[Slietkšpošanas operācija]; Slipek -- "biokods" --> Viedkarte;
```

The diagram illustrates the architecture of a biometric data processing system. It consists of the following components and data flow:

- Viedkarte** (Smart Card): The central component that initiates the process by providing a *Gadījumu skaitļu sēkla (seed)* to the Pseudorandom Number Generator.
- Pseid-gadījuma skaitļu ģenerators** (Pseudorandom Number Generator): Generates pseudorandom numbers based on the seed.
- SIN COS aprēķins** (SIN COS Calculation): Processes the pseudorandom numbers to calculate sine and cosine values.
- Biometriskie dati** (Biometric Data): Input data that is processed by the rotation step.
- Biometrisku datu rotācija, izmantojot rotācijas matricas** (Biometric Data Rotation using Rotation Matrices): The core processing step that combines the pseudorandomly generated sine/cosine values with the biometric data.
- Slietkšpošanas operācija** (Encryption Operation): The final step that produces the *biokods* (biometric code).
- biokods** (biometric code): The output of the system, which is fed back into the **Viedkarte**.

Ar sarkano līniju apvilktie *bloki* implementēti FPGA programmējamajā loģikā. Šie atsevišķie bloki, kā arī to savstarpējie signāli redzami arī 11.attēlā – struktūrshēma iegūta, izmantojot Quartus II RTL Viewer rīku.



Implementācija sastāv no 3 galvenajiem funkcionālajiem blokiem:

- Implementācija veidota parametrizējama, tai var mainīt biometrisku datu nolašu skaitu, bitu skaitu, kas apraksta katru nolasi, CORDIC algoritma rotāciju skaitu un to, cik *papildus* biti (kas pēc tam tiek atvesti) lietojami.

23

Flow Status	Successful
Quartus II 64-Bit Version	13.0.0 Build 156 04/24/2013 SJ
Revision Name	main
Top-level Entity Name	biohash
Family	Cyclone IV E
Device	EP4CE115F29C7
Timing Models	Final
Total logic elements	9,636 / 114,480 (8 %)
Total combinational functions	9,325 / 114,480 (8 %)
Dedicated logic registers	2,385 / 114,480 (2 %)
Total registers	2385
Total pins	54 / 529 (10 %)
Total virtual pins	0
Total memory bits	14,354 / 3,981,312 (< 1 %)
Embedded Multiplier 9-bit elements	16 / 532 (3 %)
Total PLLs	0 / 4 (0 %)

12.attēls. BIOHASH optimālajai implementācijai izmantojamie FPGA resursi

Grafiskās lietotāj-saskarnes (Graphical User Interface, GUI) veidošana

Viens no praktiski veicamiem uzdevumiem bija izveidot lietotājam draudzīgu grafisko saskarni (GUI). Šim nolūkam darbs tika sadalīts:

- Aparatūras daļa – MTL pieslēgšana pie FPGA, datu ievadīšanas (attēla nosūtīšanas) un izvadīšanas (pieskārienu koordinātu saņemšanas) nodrošināšana;
- Programmatūras daļa – augstāks abstrakcijas līmenis, nodrošina GUI elementu zīmēšanu, kā arī FPGA projekta vadību, izmantojot datus par pieskārieniem pie MTL displeja.

Skārienjūtīgā MTL LCD ekrāna pieslēgšana FPGA



13.attēls. Terasic MTL skārienjūtīgais LCD modulis

Izvēlētais LCD modulis (Terasic MTL, parādīts 13.attēlā) nodrošina sistēmai sekojošas iespējas:

- Izšķirtspēja 800x480 (viena daļa no ekrāna (640x480) tiek izmantota plaukstu bildes attēlošanai – lietotāja ērtībai plaukstu pozicionēšanas procesā, otrā (160x480) – GUI grafikai);
- Krāsains, spēj attēlot 24 bitu RGB krāsas, 30 kadri sekundē;
- Atgriezeniskā saite – iespēja nolasīt pieskāriena punkta ekrāna koordinātes;

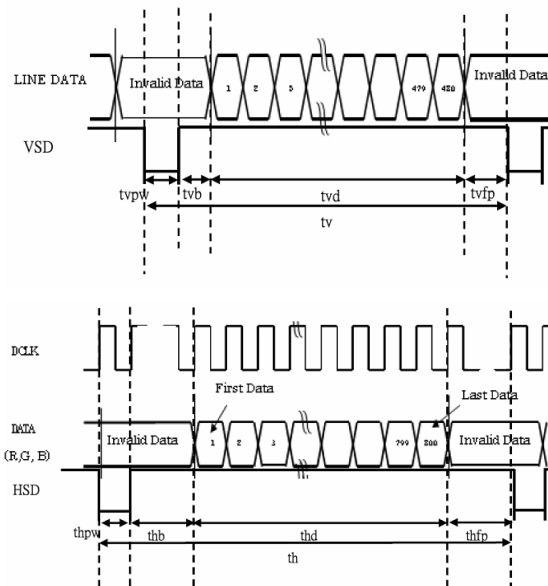
Tā kā iepriekšējām projekta versijām jau bija izveidotas saskarnes, kas bija paredzētas grafiskās plūsmas attēlošanai VGA, TFT LCD ierīcēm; šoreiz bija nepieciešams pielāgot sistēmu darbībai ar MTL LCD ierīci. Datu izvadīšanai prototips veic sekojošas darbības:

- Formē izvērse signālus (skat. tālāk tekstā);
- Formē pikseļu datus (kas tiek glabāti ārējā SRAM atmiņā).

Katra pikseļa attēlošanai tiek veiktas sekojošas darbības:

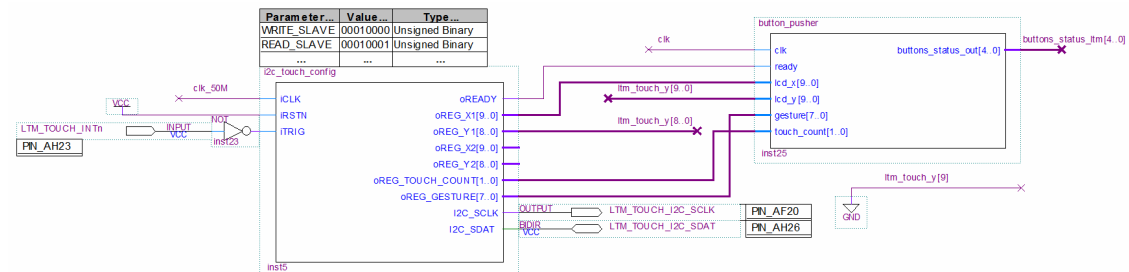
- Attēlojamam pikselim (ar zināmām x un y koordinātām) ir nepieciešams uzzināt tā krāsu, tāpēc prototips aprēķina attēlojamā pikseļa adresi SRAM atmiņā, kurā glabājas šī vērtība, un padod uz SRAM lasīšanas pieprasījuma signālu RD_REQ;
- Tiek gaidīts kamēr SRAM kontrolieris pabeigs pieprasītas vērtības nolasīšanu un tiks saņemta pikseļa krāsas vērtība;
- Pixel_gen modulis dod iespēju attēlot uz ekrāna papildus informāciju, piem. GUI elementus, modificējot iegūtas pikseļu vērtības (piemēram. uzklājot tām virsū GUI elementu grafiku).

Tika izveidots atsevišķs *modulis*, MTL displeja izvērses signālu (VSD, HSD, DCLK) un pikseļu adreses signālu ģenerēšanai, atbilstoši dokumentācijā norādītājam (skatīt 14.attēlu). Minētais modulis strādā ar frekvenci 25MHz, kas ir $\frac{1}{4}$ no sistēmas kopējās frekvences pēc tās samazināšanas (100MHz).



14.attēls. MTL izvērses signāli SYNC režīmā (kadra izvērse – pa kreisi; rindas izvērse – pa labi).

Atgriezeniskās saites realizācijai (pieskārienu koordināšu nolasīšanai) tiek izmantots MTL komplektācijā esošais dizains (IPCore), kas izmanto divpusējo datu apmaiņas saskarni (I²C), lai sazinātos ar displeja skārienjūtīgā sensora kontrolieri.



15.attēls. IPCore pieskārienu koordināšu saņemšanai, un saņemto datu apstrādes modulis.

FPGA prototips saņem pieskārienu aprakstošos datus sekojošā formātā:

- Ekrāna X un Y koordinātes, saglabātas reģistros oREG_X1[9..0] un oREG_Y1[8..0];
- Datu saņemšanas apstiprinājums (pārtraukums) oREADY (Att. 6).

GUI elementu zīmēšana un FPGA projekta vadība ar MTL

Pirmā uzdevuma izpildīšanai tika modificēts pixel_gen modulis, lai tas varētu uzdotajās koordinātēs attēlot pogas (katra ar diviem iespējamiem stāvokļiem – nospiežams/nospiešs, patvaļīgi uzdoto krāsu un tekstu). Pogu izkārtojums un teksts, kā arī ietekme uz sistēmas darbību, tika izvēlēts atbilstoši demonstrācijām izstādēs:

- Biophotonics - Rīga 2013,
- BIOSIG 2013.

FPGA projekta vadībai, izmantojot gan PC, gan MTL, ir izveidots no PC pārslēdzams multiplexors visiem vadības signāliem. Uzsākot darbu ar ierīci, PC izpilda sekojošas darbības:

- Ieprogrammē attēla filtru maskas koeficientus;
- Ielādē GUI grafiku, šriftu, tekstu;
- Nodod tālāko projekta vadību MTL ierīcei.

No šī brīža FPGA projekts spēj darboties autonomi, kaut gan attēlu ieguve uz PC, kā arī atklāšana u.c. operācijas joprojām ir pieejamas.

Secinājumi

Projekta „BiTe” pētnieciskā darbība „Lietišķo pētījumu” aktivitātē sekmīgi pabeigta devītajā pārskata periodā, bet eksperimentālā darbība „Eksperimentālās izstrādes” aktivitātē veiksmīgi turpinās. Noris izstrādājamās tehnoloģijas atsevišķu moduļu, algoritmu un elektrisko principiālo shēmu izpēte un izveide.

Sejas atpazīšanas sistēmas izveidei tiek plānota korpusa izveide, veidojot rasējumus un pasūtot pēc tiem korpusu, kurā apvienotu visus blokus un pēc tam sajūgtu to kopā ar plaukstu atpazīšanas sistēmu.

Biometrisku datu iegūšanas algoritmu paralelizācijas un implementēšanas programmējamajos loģiskos masīvos aktivitātes ietvaros nākotnē paredzēts turpināt plaukstu ģeometriskā algoritma implementēšanu FPGA.

Tehnoloģijas demonstratora eksperimentālā maketa montēšanas apakšaktivitātē maketa detalizēts izveides apraksts ir sniegts iepriekšējos pārskata periodos. Turpmāk veiktie iekārtas papildinājumi saistīti ar plates izstrādi un sistēmas integrēšanu modulī.

Projekta pētnieciskie un eksperimentālās izstrādes rezultāti tiek apspriesti izpildītāju iknedēļas sanāksmēs. Šīs sanāksmes tiek veidotas, lai projekta izpildītāji kopīgi izdiskutētu par pētījumiem un problēmām, kas jārisina, lai aktivitātes veiksmīgi attīstītos.

Iepriekšējos periodos sagatavoti zinātniskie raksti „Biohashing and Fusion of Palmprint and Palm Blood Vein Biometric Data”, kas prezentēts starptautiskā IEEE organizētā konferencē ICHB2011, Honkongā un „Palmprint Image Processing With Non-Halo Complex Matched Filters For Forensic Data Analysis”, kas tika prezentēts International Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF) konferencē Lisabonā. Projekta izpildītāji piedalījās Starptautiskajā izgudrojumu izstādē „MINOX 2012”, kurā ieguva „Dienas Biznesa” speciālbalvu.

Šajā pārskata periodā tika rīkots seminārs par Multimodālas biometrijas tehnoloģijas izveides gaitu un rezultātiem. Tika sagatavoti trīs zinātniskie raksti „FPGA based palmprint and palm vein biometric system”, kas tika prezentēts BIOSIG konferencē Darmstadtā; „FPGA Implementation of CMF for Embedded Palm Biometric System” tika prezentēts EUSIPCO konferencē Marakešā un „Weighted Multi-scale Local Binary Pattern Histograms for Face Recognition” tika prezentēts AMCM 2013 konferencē Venēcijā. Projekta izpildītāji piedalījās arī Starptautiskajā konferencē „Biophotonics-Riga 2013”, kurā prezentēja plakātu „Bi-Spectral Palm Image Acquisition for Person Recognition” un demonstrēja plaukstu biometrisku parametru iegūšanas sistēmu.

Turpinās darbs pie aktivitātes „Intelektuālā īpašuma tiesību aizsargāšana”, iesniegts starptautiska patenta pieteikums Nr.PCT/LV2012/000005 „Biometric authentication apparatus and biometric authentication method”, ar kuru ir aizsargātas projekta pētījumu oriģinālo rezultātu intelektuālās īpašuma tiesības. Saņemts PCT (Patent Cooperation Treaty) pozitīvs atzinums. Šajā pārskata periodā uzsākts process patenta iesniegšanai Eiropas patentu birojā. Ir noteikti nākamā perioda darbu uzdevumi un sasniedzamie rezultāti. Par projekta pētnieciskiem sasniegumiem tiek plānots informēt arī piedaloties ar referātiem un publikācijās konferencēs un semināros.