

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.4. par periodu no 01.11.2011.g. līdz 29.02.2012.g.

Projekta zinātniskais vadītājs: Modris Greitāns, Dr.sc.comp., vad. pētnieks
Pētījuma projekta izpildītāju saraksts: Mihails Broitmans, Dr.sc.comp., vad. 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, informātikas/elektronikas tehniķis

ELEKTRONIKAS UN DATORZINĀTŅU INSTITŪTS

Rīga, Latvija

2012. gads

Anotācija	3
Ievads	3
Rezultātu kopsavilkums.....	3
Aktivitāte: Lietišķie pētījumi	5
Sejas un plaukstu attēlu iegūšanas metožu izpēte.....	5
Biometrisku datu apstrādes algoritmu darbības izvērtēšana.....	11
Biometrisku datu kriptēšanas, glabāšanas un lietojuma apakšsistēmas izveide	12
Atsevišķu sistēmas komponentu un bloku izstrāde un izpēte	21
Secinājumi	23
Atsauces	24
Pielikumi.....	25

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 ceturtajā periodā (01.11.2011.- 29.02.2012) veiktajiem pētniecības darbiem un šobrīd sasniegtiem rezultātiem.

Projektu atbalsta Eiropas Reģionālās attīstības fonds, līguma Nr. 2010/0285/2DP/2.1.1.1.0/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 aktivitātes „Lietišķie (rūpnieciskie) pētījumi” pētījumos:

- Sejas un plaukstas attēlu iegūšanas metožu izpēte;
- Biometrisku datu apstrādes algoritmu darbības izvērtēšana;
- Biometrisku datu kriptēšanas, glabāšanas un lietojama apakšsistēmas izveide;
- Atsevišķu sistēmas komponentu un bloku izstrāde un izpēte.

Rezultātu kopsavilkums

Projekta ceturtajā periodā (01.11.2011.-29.02.2012.) veikto pētniecības uzdevumu un rezultātu kopsavilkums ir sekojošs:

- Sejas un plaukstas attēlu iegūšanas metožu izpēte – iepriekšējos pārskata periodos tika izpētīts kā izveidot augstas jutības infrasarkanās un redzamās gaismas attēlu iegūšanas sistēmu; tika izveidota uz FPGA bāzēta attēlu ieguves sistēma; izstrādāta iespiedplate sejas atpazīšanas algoritmu testēšanai; projektēts 2D filtrs (konvolūcijas veikšanai FPGA platformā) un veikta attēla filtrēšana reālā laikā. Paralēli tika strādāts pie plaukstas detektēšanas (plaukstas specifisko pazīmju izdalīšana). Šajā periodā

tika veikta simulācija, kas parādīja, ka pie maskas izmēra 15x15 ir iespējams piemeklēt tādus maskas parametrus, kas sniegs >95% (9x9 līdz 90%) līniju izdalīšanas efektivitāti. Tika veidota jauna sistēmas (125MHz) arhitektūra, kur moduļi tika sadalīti pēc veicamās funkcionalitātes, tika atdalīta kombinatoriskā un atmiņas shēmas daļa; tika pielietota konveijera tipa arhitektūra un veiksmīgi izpildīta jaunā Aptina MT9V024 attēlu sensora montāža

- Biometrisku datu apstrādes algoritmu darbības izvērtēšana – iepriekšējos periodos tika realizēta 1. versija 2D sejas atpazīšanas algoritmam (sejas detektēšana, lokalizācija un atpazīšana), kas implementēts iegultā sistēmā; uzsākta virtuālā instrumenta izveide LabView; tika veidots automātisks sejas atpazīšanas algoritms signālprocesoram TMS320C6416 un uzsākts darbs pie kameras moduļa iespiedplates izstrādes šim procesoram. Ceturtajā periodā kameras moduļim tikai pievienoti tā galvenie elementi, kas ļauj to izmantot attēla iegūšanai un nosūtīšanai signālprocesorā. Attēla vizualizācijai un kvalitātes novērtēšanai ir izveidotas programmas gan TMS320C6416, gan Matlab vidē, kas attēlo un apstrādā attēlu.
- 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; piedāvāti dažādi plaukstas un rokas pirkstu ģeometrisku parametru mērījumi un sagatavotas nepieciešamās operācijas ar paplašinātiem galīgu lauku polinomiem. Šajā periodā tika izpētīti plaukstas ģeometrijas izmēri, kas nebūtu atkarīgi vai būtu minimāli atkarīgi no plaukstas stāvokļa, formējot attēlu; tika uzsākts algoritma apraksts Matlab vidē, kas automātiski veiks nepieciešamos plaukstas parametru aprēķinus personu autentifikācijai; apskatīts Rīda–Solomona kļūdu koriģējošs algoritms (datu nokodēšana, atkodēšana un garu datu bloku šifrēšana, izmantojot atsevišķu bloku sasaistošas CBC un CFB metodes).
- Atsevišķu sistēmas komponentu un bloku izstrāde un izpēte – iepriekšējos periodos tika veidotas funkcionālo bloku elektriskās principiālās shēmas *Altium Designer* vidē; tika uzsākta iespiedplates izstrāde šajā vidē; izveidota principiālā viedkaršu komunikācijas maketa shēma; uzsākta kameras moduļa iespiedplates 2. versijas montāža; izveidota programma plaukstas reģiona automātiskai detektēšanai un izveidota programma priekš MSP430 F2013 mikrokontroliera I2C kopnes interfeiss ar Aptina attēlu sensoru. Šajā pārskata periodā tika programmēti Aptina MT9V024 attēlu sensora reģistri, projektēts biometrijas sistēmas ietvars, izveidota iespiedplate viedkaršu saskarnes nodrošināšanai ar FPGA izstrādes rīku un pilnveidots kods plaukstas interesējošā reģiona atrašanai.

Šie pētījumi tiek veikti, lai šī gada otrajā ceturksnī uzsākamās „Eksperimentālās izstrādes” aktivitātes ietvaros varētu izveidot pilnvērtīgu projektā izstrādājamās tehnoloģijas demonstratoru un metodisko aprakstu.

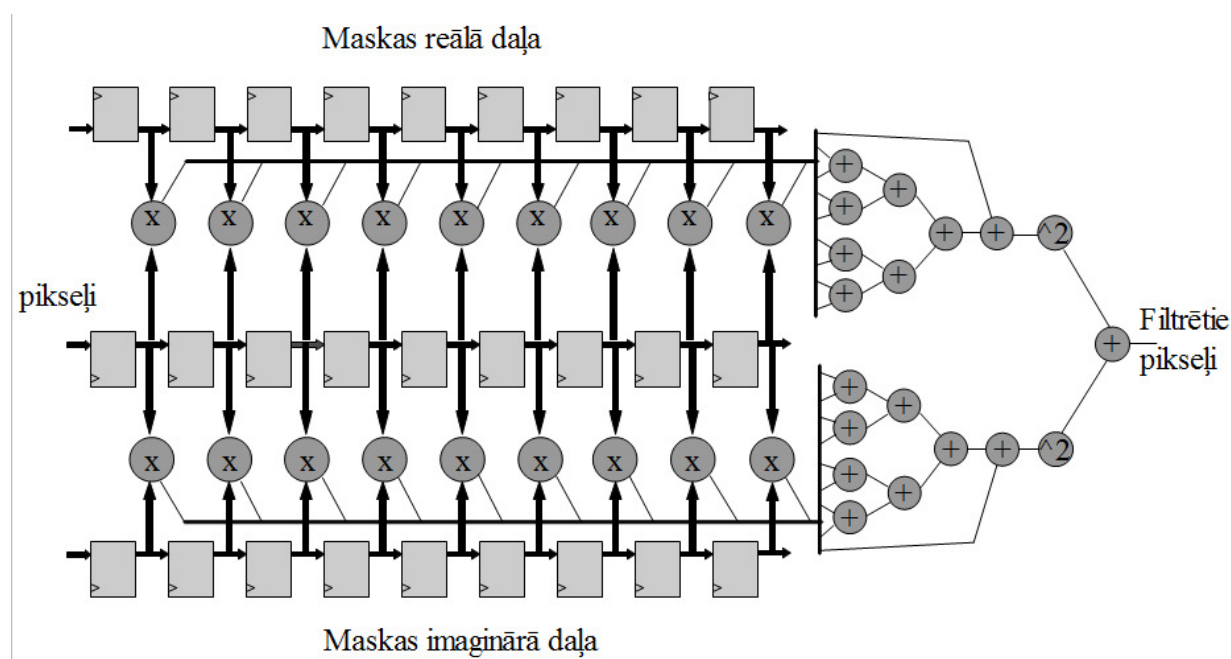
Turpmāk dokumentā ir detalizēti aprakstītas katras uzdevumu grupas pētniecības darbības un rezultāti.

Aktivitāte: Lietišķie pētījumi

Sejas un plaukstu attēlu iegūšanas metožu izpēte

9x9 CMF implementācija FPGA

Iepriekšējā zinātniskajā atskaitē tika izklāstīta 2D ātrās filtrācijas blokshēma. Pamatojoties uz šo pieeju tika izveidots CMF modulis, kas spēj izdalīt līnijas. Modifikācijas tika veiktas aktīvajā rindā, pievienojot vēl vienu masku (imagināro).



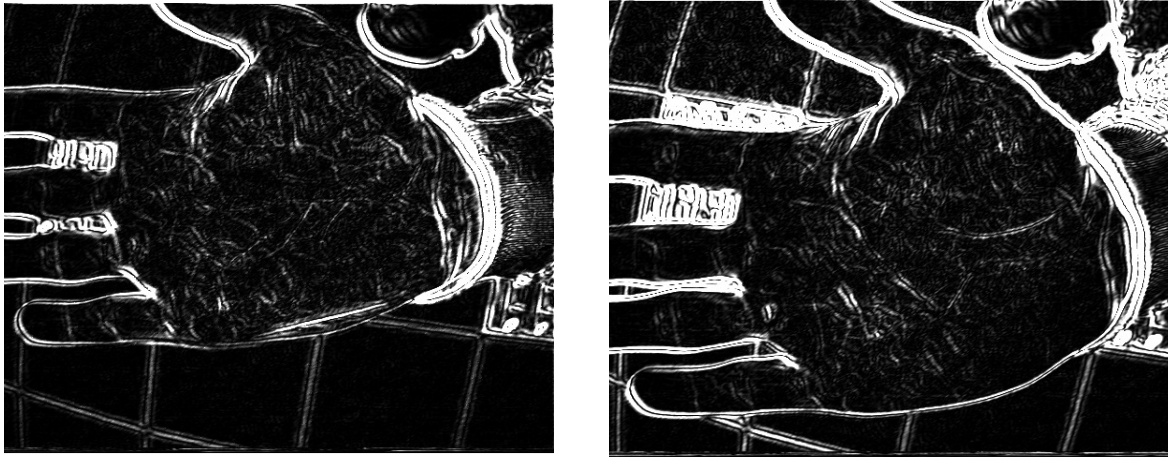
1.att. Attēla fragmenta rindas un maskas rindas reizinātāja organizācija CMF modulim.

Implementējot CMF moduli tiek modificēta aktīvo un pasīvo rindu savstarpējā saslēgšana. Aktīvo rindu maskas tiek saslēgtas tādā veidā, ka pirmā tiek ierakstīta reālā daļa un pēc tam imaginārā daļa.

Praktiskā CMF realizācija FPGA

Izveidotais CMF modulis ar aktīvās maskas izmēru 9x9 aizņem:

1. 6% no loģisko elementu daudzuma
2. 1% no RAM bitiem
3. 64% no 9-bitu reizinātājiem



2.att. Attēlu filtrācija ar CMF.

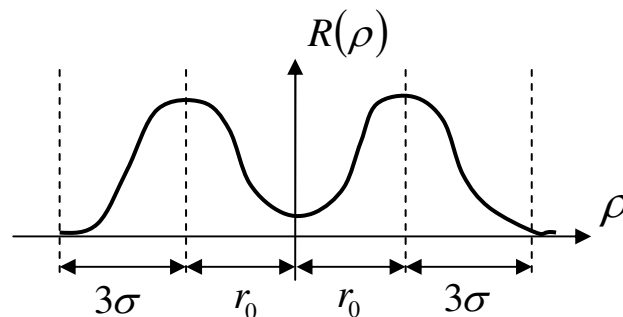
CMF pārveidošana

CMF maskas izmēru piemeklēšana.

Realizētais filtrs FPGA platformā pieder pie GCMF [1] bankas. Tā maskas izteiksme tiek aprakstīta ar sekojošu formulu:

$$\underline{M}_2(\rho, \theta) = \left[\exp\left(-\frac{(\rho - r_0)^2}{\sigma^2}\right) + \exp\left(-\frac{(\rho + r_0)^2}{\sigma^2}\right) \right] \cdot e^{j2\theta}$$

kur pirmais reizinātājs tiek saukts par *radiālo komponenti* $R(\rho)$, bet otrais — par *leņķisko*. Maskas izmēru nosaka tā radiālā komponente. Tāpēc tiek uzzīmēts tās grafiks, lai novērtētu GCMF maskas izmērus, atkarībā no parametriem σ un r_0 .



3. att. CMF₂ maskas radiālā komponente

Par maskas izmēru var uzskatīt lielumu $2r_0 + 6\sigma$ — šādi nogrieztā maska saturēs lielāko (par 99%) daļu no enerģijas, kas būtu maskai ar bezgalīgo izmēru. Kādas konkrētās kārtas, šeit – 2., GCMF spēja izdalīt attēlā vēlamās detaļas ir saistītas ar 2. harmonikas izteiktību citu harmoniku starpā punkta apkārtnes polārajā Furjē rindā. Tāpēc tiek veikts eksperiments ar ideālo asinsvadu, identisku reāliem pēc sava platuma. Polārās Furjē rindas koeficienti tiek rēķināti šim asinsvadam vidū, mainot parametrus σ un r_0 (skat. [1]), un katram šo parametru pārim tiek vērtēta 2. harmonikas izteiktība (enerģija) pret visu pārējo (1. līdz 10.) harmoniku izteiktību (summāro enerģiju). Tā tiek izteikta procentos un saukta par filtra efektivitāti.

Viršū šim grafikam, kas ir virsma, tiek uzzīmētas divas līnijas — viena atbilst maskas izmēram 9x9, jeb nosaka parametru σ un r_0 vērtību ierobežojumu, lai šādā izmērā varētu iekļauties;

otra — 15x15. Šis izmērs tika izvēlēts tāpēc, ka FPGA vēl pietiek resursu CMF₂ ar maskas 15x15 izmēru realizācijai.

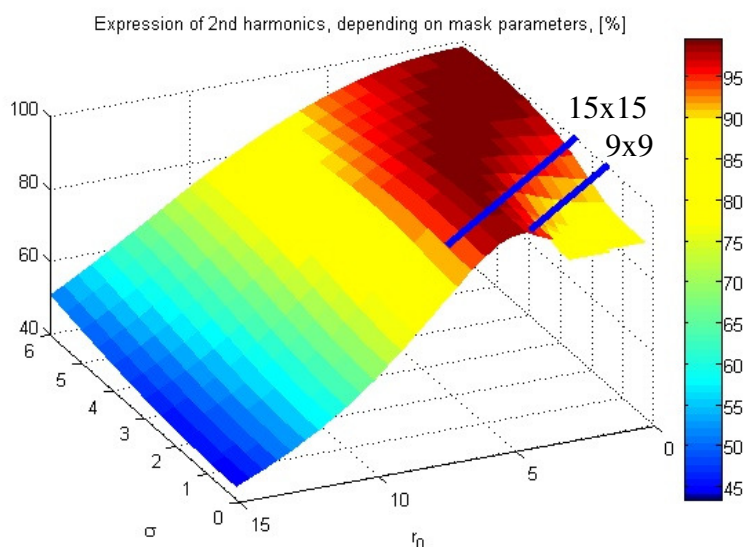
$$mask_size = 2r_0 + 6\sigma$$

Pie mask_size=9:

$$\left. \sigma = \frac{9}{6} \right|_{r_0=0} \quad \text{un} \quad \left. r_0 = \frac{9}{2} \right|_{\sigma=0}$$

Pie mask_size=15:

$$\left. \sigma = \frac{15}{6} \right|_{r_0=0} \quad \text{un} \quad \left. r_0 = \frac{15}{2} \right|_{\sigma=0}$$



4. att. Otrās harmonikas izteiktība, atkarībā no filtra maskas parametriem σ un r_0

Pēc simulācijas var redzēt, ka pie CMF maskas izmēra 15x15 ir iespējams piemērlēt tādus maskas parametrus, kas sniegs >95% līniju izdalīšanas efektivitāti, kamēr maska 9x9 — tikai līdz 90%. Šādi tiek pamatota izveidotās FPGA sistēmas pārveidošana uz 15x15 CMF.

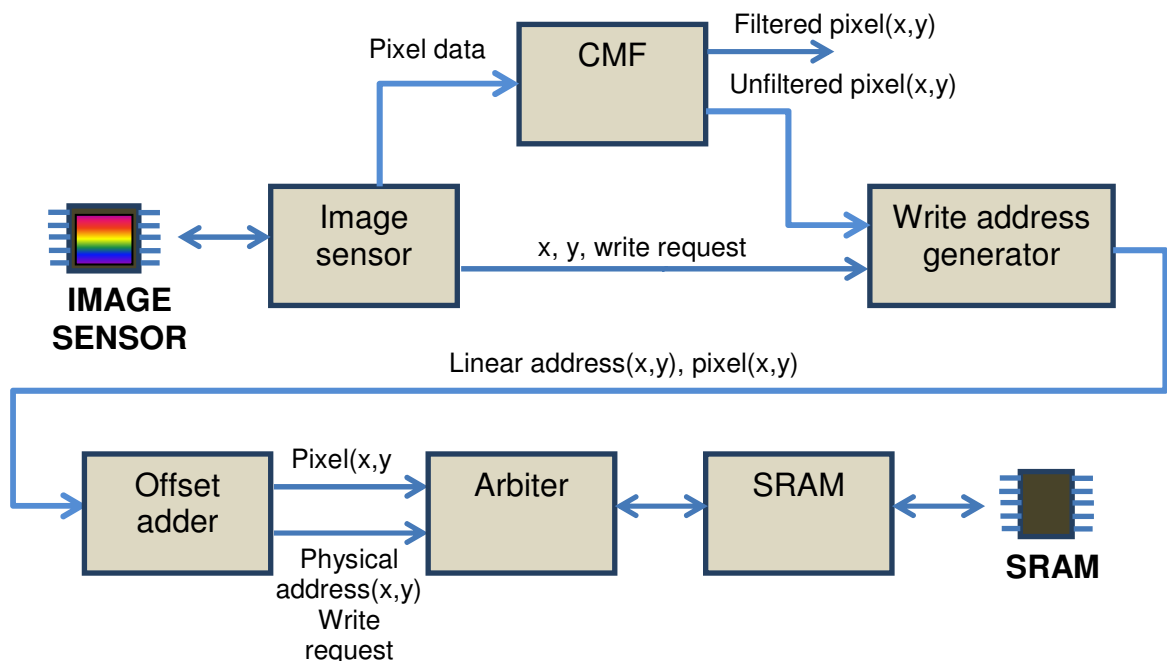
Jaunās sistēmas (125MHz) arhitektūra

Veidojot jauno arhitektūru vērā tika ņemti vairāki aspekti:

1. Moduļi tiek sadalīti pēc veicamās funkcionalitātes;
2. Moduļi strādā pie vienas frekvences — 125MHz. Darīts ar nolūku, lai neveidotos asinhroni signālu ceļi starp moduļiem;
3. Tiek atdalīta kombinatoriskā un atmiņas shēmas daļa;
4. Tiek pielietota konveijera (*pipeline*) tipa arhitektūra.

Datu ieguve no attēlu sensora

Šī shēmas daļa atbild par oriģinālās un filtrētās bildes saglabāšanu atmiņā (SRAM - **Static Random Access Memory**). Uzdevuma veikšanai tiek sastādīta sekojoša blokshēma (sk. 5.att.).



5. Att. Datu ieguves blokshēma

Sistēma tiek veidota tā, lai vienlaicīgi tiktu nodrošināta gan oriģinālo, gan filtrēto datu ieguve. Par to rūpējas - "Image sensor", "CMF", "Write address generator" moduļi. Oriģinālie dati tiek padoti vienlaicīgi kā filtrētie dati, lai nodrošinātu, ka oriģinālos un filtrētos pikseļu datus ir iespējams ierakstīt atmiņā (bez sarežģītām modifikācijām). Šī pieeja nodrošina arī abu attēlu vienlaicīgu rakstīšanu atmiņā (SRAM datu līnija ir 16 biti). Izmantojot šādu pieeju tiek vienkāršota arī tālākā sistēmas izveide.

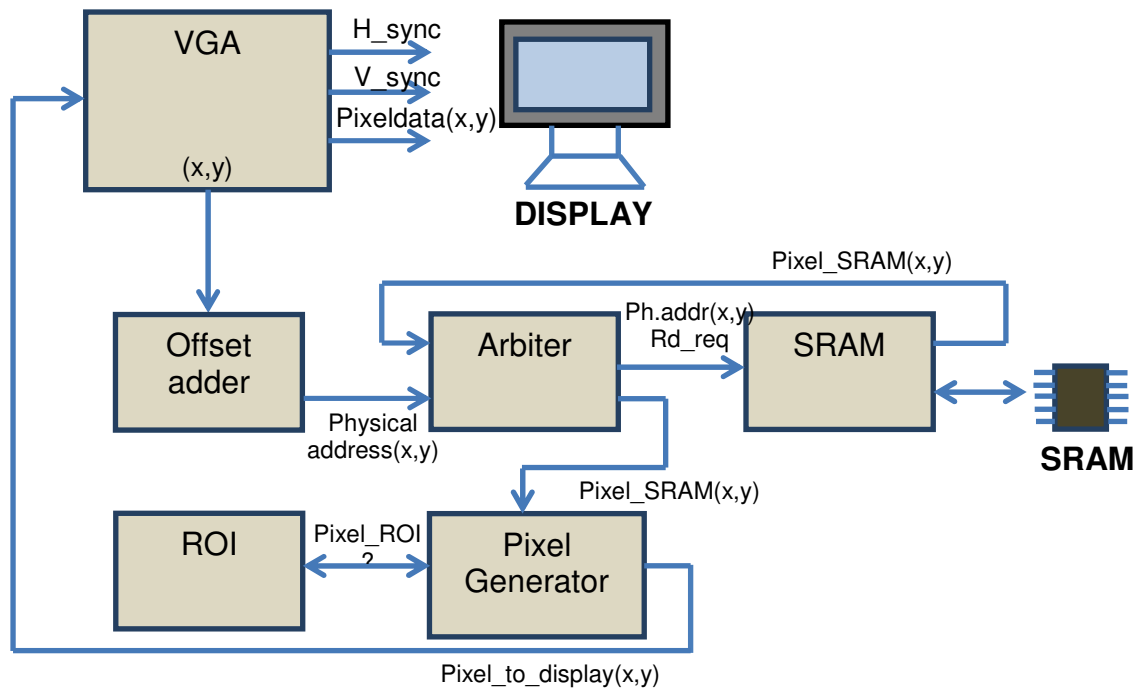
"Image sensor" modulis, ģenerē atļaujošos rakstīšanas signālus tikai pēc tā, kad attiecīgie pikseļu dati parādās "CMF" moduļa izejā. Savukārt "Write address generator" pārveido pienākošo x un y koordinātes lineārā adresē. Izrēķinātā vērtība tiek nodota uz "Offset adder" moduli, kas izrēķina kādā atmiņas šūnā jāraksta jaunais kadrs (triju kadru buferēšanas pieeja) tālāk vērtības tiek padotas uz "Arbiter" un atmiņas kontroliera bloku - "SRAM".

Iegūto datu attēlošana uz VGA

Ierakstīto datu attēlošanai tiek izmantots monitors, kas tiek vadīts no "VGA" kontroliera. Sistēmas pieeja ir līdzīga iepriekš aprakstītajai attēlu iegūšanas sistēmai. Salīdzinot šīs abas sistēmas ir redzami trīs vienādi moduļi - "Offset adder", "Arbiter", "SRAM", kas nodrošina datu piekļuvi pie atmiņas.

"VGA" kontrolieris ģenerē x un y koordinātas, kā arī lineāro adresi, kas tiek padota uz "Offset adder". Šis modulis, atkarībā no tekošā rakstāmā kadra, izvēlas kādu kadra nobīdi piešķirt "VGA" moduļim.

Dati tiek padoti uz "Arbiter" moduli, kas nodrošina datu lasīšanu un rakstīšanu no SRAM. Pienākot datu lasīšanas pieprasījumam, tiek nolasīti dati no SRAM un tālāk padoti uz "Pixel generator" moduli, kas nodrošina šo datu modifikāciju, piemēram, uzklāt kvadrāta kontūru. Tālāk dati tiek padoti uz VGA moduli.



6.att. Datu attēlošanas blokshēma

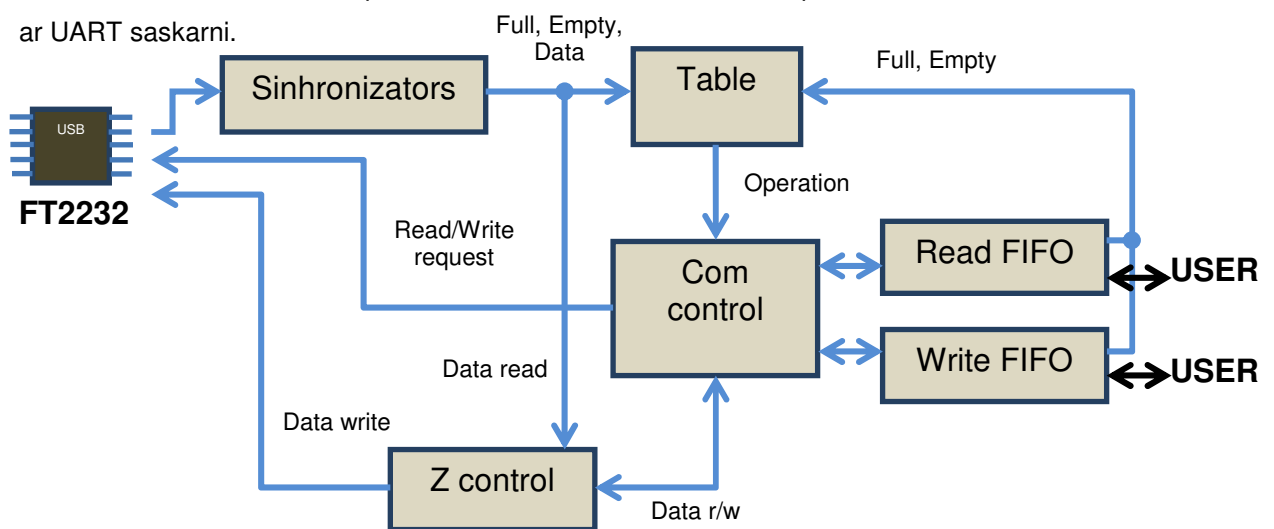
Sistēmas komunikācija ar PC

Veidojot prototipu radās nepieciešamība pēc iegūto attēlu un citu datu saglabāšanas uz datora. Tas nodrošinātu mums sekojošas iespējas:

- 1) veidot datu bāzi;
- 2) testēt jau iepriekš izveidotos algoritmus ar uzņemtajām bildēm;
- 3) kontrolēt periferiālās ierīces kā gaismas diodes, filtra ieslēgšanu/izslēgšanu no datora;
- 4) ielādēt CMF maskas koeficientus;
- 5) salīdzināt datora bāzētu algoritmu rezultātus ar FPGA veidoto algoritmu rezultātiem.

Tāpēc tika nolemts izveidot FPGA <-> USB saskarni.

Tika izvēlēta asinhronā datu pārraide, kas nodrošina lielāku datu pārraides ātrumu salīdzinot ar UART saskarni.

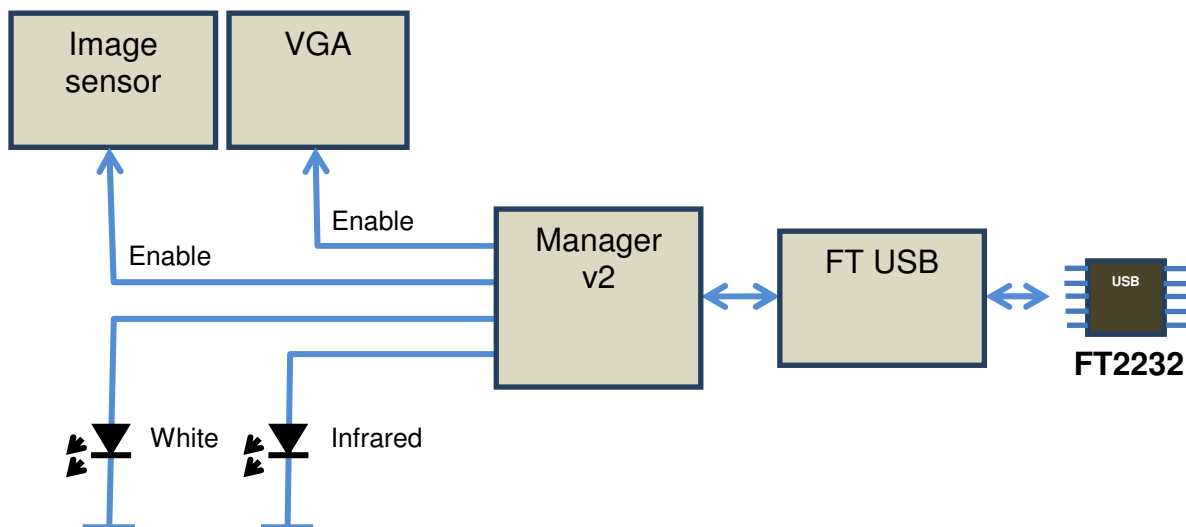


7.att. Komunikācijas kontroliera blokshēma

Saskarnes nodrošināšanai tika izvēlēta FTDI ražotāju mikroshēma – FT2232, kas nodrošina asinhrono datu pārraidi. Šīs saskarnes nodrošināšanai tika izveidota blokshēma, kas spēj uzglabāt ierakstītos un nolasītos datus, kā arī atkarībā no šo atmiņu („Read FIFO”, „Write FIFO”) aizpildījuma izvēlēties komandu.

Sistēmas kontrole no PC

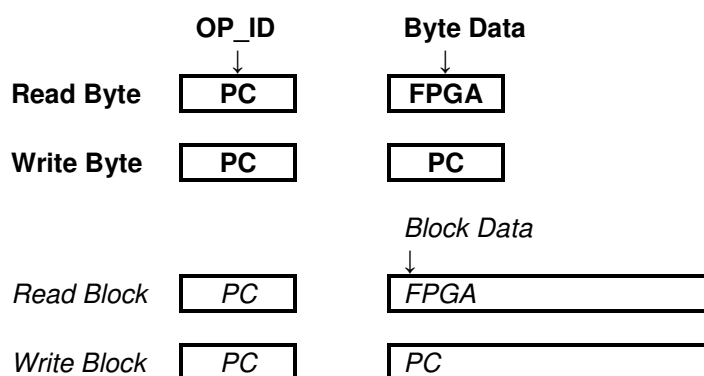
Prototipa kontrolei un datu saņemšanai tika izveidots „Manager” modulis, kas interpretē saņemtos datus no datora un veic atbilstošo komandu izpildes algoritmus. Šis modulis nodrošina dažādu moduļu kontroles iespējas (sk. 8.att.). Ar laiku šis modulis tiks papildināts ar dažāda veida funkcionalitātēm.



8.att. Sistēmas vadība no PC notiek saskaņā ar izveidotu komandu sistēmu.

Komandu sistēma

Tiek paredzēti 4 iespējamie komandu veidi: lasīt/rakstīt un katrā gadījumā —baitu/bloku.



Bloku operācijas pagaidām netika realizētas. Katru komandu sāk dators (PC), aizsūtot **OP_ID** baitu uz ierīci. Šis baits nosaka komandu, kas ierīcei ir jāizpilda.

OP_ID:

7.	6.	5.	4.	3.	2.	1.	0.
B/BL	R/W	OPCODE					

B/BL: 1 — Byte Operation 0 — Block Operation (pagaidām netika realizēti)

R/W: 1 — Write Operation 0 — Read Operation

OPCODE: uzdod veicamo operāciju (ko/kur tieši lasīt/rakstīt)

Operācijas:

7.	6.	5.	4.	3.	2.	1.	0.
1	X	0	0	0	0	0	0

Read/Write **Control Register 1**

Implementētie reģistri:

Control Register 1:		Value (meaning)	
Bit	Name	0	1
0.	IR LED 1	off	on
1.	IR LED 2	off	on
2.	Wh LED 1	off	on
3.	Wh LED 2	off	on
4.	Im.Sensor	off	on
5.	Reserved	—	—
6.	VGA	off	on
7.	Reserved	—	—

Veiksmīgi izpildīta jaunā Aptina MT9V024 attēlu sensora montāža, kā arī daļēja pārējo elektronisko komponentu montāža sejas atpazīšanas moduļa izveidei. Attēlu sensors darbojas un veiksmīgi sūta datus – iegūst attēlu.

Izmantojot jauno arhitektūru izveidota sistēma, kura formē datu paketes, tādējādi padarot sistēmu ātrdarbīgāku un optimizētu. Datu pakete (2 Baiti) tiek izveidota attēlu sensora kontrolierī un ierakstīti atmiņā. Tādējādi aizpildot pilnībā vienai adresei atvēlēto datu apjomu. VGA kontrolieris atformē datu paketes pa vienam baitam (Sk. Pielikums Nr.I).

Iegūtas teorētiskas un praktiskas zināšanas BGA virsmas montāžas stiprinājuma veida lodēšanā. Izkopta FPGA programmēšanas valoda. Rastas jaunas atziņas par notiekošajiem procesiem FPGA. Kods tiek apskatīts arī no loģisko elementu skatu punkta, kas palīdz izprast procesus un realizēt algoritmus efektīvāk. Pielietojot dažādas takts frekvences vienā sistēmā, tiek novērotas kļūdas darbību izpildē.(Trīskārt attēls tiek iegūts pareizi, bet ceturtajā reizē rodas bitu nobīde).

Turpmākie plāni:

- 1) Izveidot strādājošu CMF 15x15 moduli;
- 2) Papildināt *Manager* moduli;
- 3) Iegūt vienlaicīgi oriģinālas un filtrētas bildes;
- 4) Maksimālo vektoru izdalīšana interesējošā bildes apgabalā;
- 5) Izveidot saskarni starp viedkartēm un FPGA.

Biometrisku datu apstrādes algoritmu darbības izvērtēšana

Centrālais pētniecības virziens ir kameras moduļa izveide signālprocesoram TMS320C6416. Iepriekšējā atskaides periodā tika izveidota kameras moduļa iespiedplate. Uz doto brīdi modulis satur galvenos elementus, kas ļauj to izmantot attēla iegūšanai un nosūtīšanai signālprocesorā, kā arī sistēmas pieskaņošanai. Modulis satur MSP430F149 mikrokontrolieri, kas tiek paredzēts attēla sensora MT9V024 parametru uzstādīšanai caur I2C komunikācijas

protokolu. Tiek arī izveidota optiskā daļa, kas sastāv no objektīva ar manīgajiem uzstādījumiem un no objektīva turētāja. Kameras moduļa vizuālais izskats tiek attēlots zemāk.



9. att. Kameras modulis ar signālprocesoru TMS320C6416

Tiek rakstīts programmnodrošinājums TMS320C6416 signālprocesoram, kas ļauj saņemt informāciju no attēlu sensora izmantojot signālprocesora GPIO interfeisu un saglabāt to ārējā atmiņā.

Attēla vizualizācijai un kvalitātes novērtēšanai tika veidotas programmas gan TMS320C6416 signālprocesorā, gan Matlab vidē, kas izmantojot RTDX interfeisu ļauj aizsūtīt attēlu datorā un tālāk, izmantojot Matlab iespējas, attēlot un nepieciešamības gadījumā apstrādāt to.

Darba gaitā tika atklātas arī dažas sistēmas nepilnības, piemēram, signālprocesora nepietiekošā ātrdarbība, kas neļauj iegūt attēlu no kameras ar maksimālo izšķirtspēju. Uz doto brīdi izdevās dabūt attēlu ar izšķirtspēju 375x240 pikseli, kas ir $\frac{1}{2}$ no maksimālās, tāpēc paralēli tika pētītas arī citas iespējas sejas atpazīšanas sistēmas implementācijai. Kā iespējamās pieejas, tika apskatīti divi varianti: FPGA balstīta realizācija un uz signālprocesora TMS320C6678 balstīta sistēma. Abiem variantiem ir raksturīga lielāka ātrdarbība, kas ir izšķirošais faktors veiksmīgai sistēmas implementācijai.

Turpmākie plāni:

- Eksperimenti ar esošo kameru bildes kvalitātes uzlabošanai;
- Bildes iegūšanas procesa paātrināšana, lielākas izšķirtspējas iegūšanai;
- Izpētīt citas iespējas iegultas sistēmas realizācijai.

Biometrisku datu kriptēšanas, glabāšanas un lietojama apakšsistēmas izveide

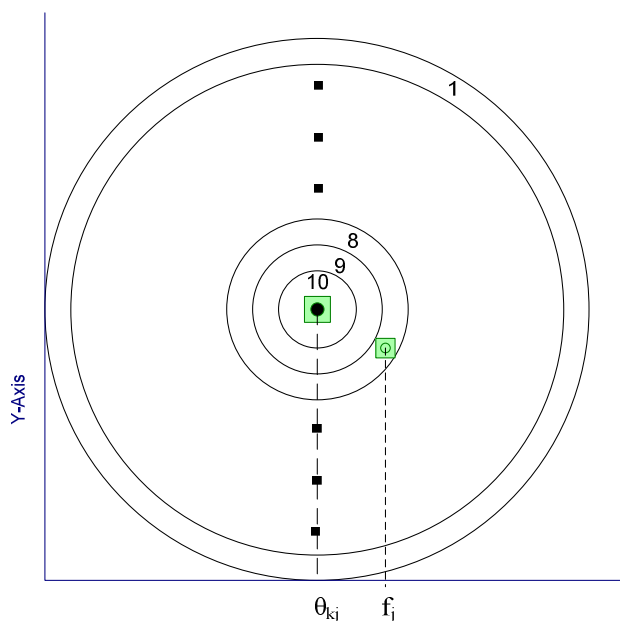
Atskaides periodā tika pētīti plaukstas ģeometriskie izmēri, kuri varētu tikt izmantoti identifikācijai (izņemot ROI). Ieteicams, lai šie izmēri nebūtu atkarīgi vai būtu minimāli atkarīgi no plaukstas stāvokļa, formējot attēlu. Šajā pētījumu etapā pieņemam, ka identificējamā persona neveic nekādas darbības, lai izkropļotu identifikācijas rezultātus.

Paredzēts izmantot sekojošus plaukšanas raksturlielumus:

- plaukšanas laukums;
- pirkstu skaits;
- pirkstu garums;
- pirkstu platums vairākās vietās.

Nepieciešams izstrādāt algoritmus un atbilstošus programmnodrošinājumus šo raksturlielumu noteikšanai. Jāizstrādā arī identifikācijas kritērijus. Paredzēts, ka identifikācija pēc plaukšanas parametriem, būs primārais no etapiem kopējā personas identifikācijas procesā, kas ļaus atlasīt kandidātus turpmākai, precīzākai salīdzināšanai no liela skaita datubāzē glabātu etalonu kopu.

Plaukšanas pētāmo ģeometrisku raksturlielumu kopu, kas tiks izmantoti identifikācijai, apzīmēsim ar $F = \{f_1, f_2, \dots, f_N\}$, kur f_i – i-tā raksturlieluma nomērītās vērtības. Bet k-tā etalona raksturlielumu kopu no datubāzes: $\Theta_k = \{\theta_{k1}, \theta_{k2}, \dots, \theta_{kN}\}$, θ_{kj} – k-tā etalona j-tā raksturlieluma vērtība. nomērīto raksturlielumu salīdzinājuma, ar k-tā etalona atbilstošajiem raksturlielumiem, novērtējumu piedāvājam noteikt pēc «mērķa principa». Saskaņā ar to, salīdzināmā raksturlieluma etalona vērtība, piemēram, θ_{kj} , vispirms tiek dalīta 10 daļās (10.att.).



10.att. Salīdzināmā raksturlieluma etalona vērtības sadalījums

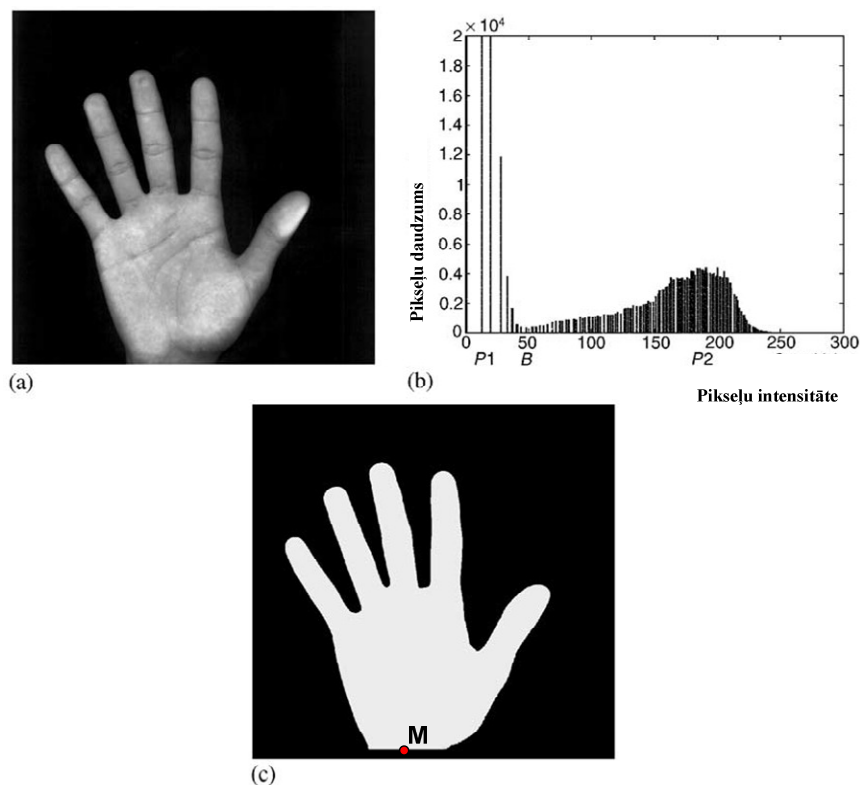
Pēc tam tiek noteikts, kādā no zonām trāpījusi atbilstošā raksturlieluma izmērītā vērtība, f_j . Šīs zonas numurs (mūsu gadījumā 8) arī būs nomērītās un etalona vērtības atbilstības novērtējums. Ja raksturlielumu atšķirība pārsniedz etalona vērtību, tad var uzskatīt, ka tā ir bezgalīga. Teikto var noformulēt ar sekojošu formulu:

$$D_{ki} = \left\lceil \frac{|f_i| \bullet P_i}{\theta_{ki}} \right\rceil$$

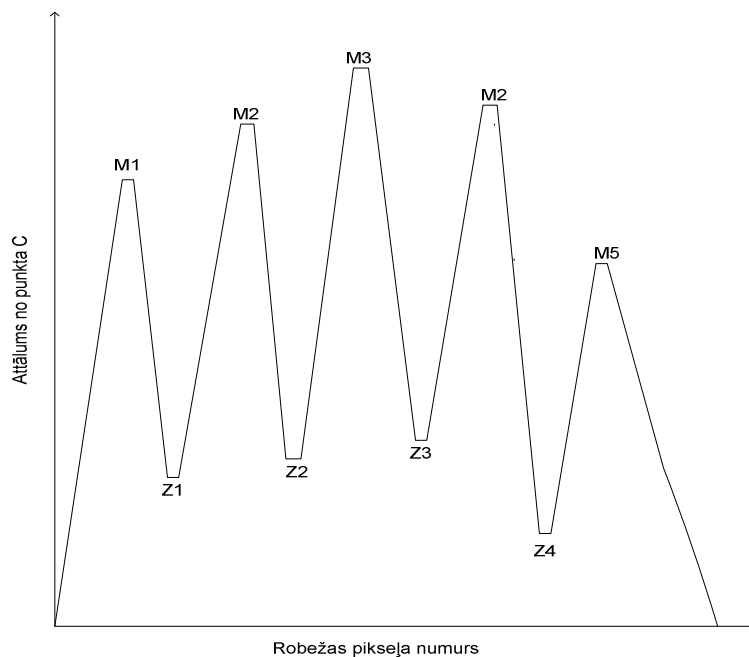
kur D_{ki} – nomērītā i-tā parametra atbilstības novērtējums k-tā etalona i-tā parametra vērtībai;
 P_i – koeficients, kas nosaka nepieciešamo precizitātes līmeni i-tā parametra salīdzināšanai
 (mūsu gadījumā $P=10$); P_i var būt vai nu vienāds visiem parametriem ($P_i = P$), vai arī katram
 parametram var būt sava vērtība; $\lfloor \cdot \rfloor$ iekavas nozīmē noapaļošanu līdz tuvākajam
 lielākajam veselajam skaitlim.

Iespējams, ka $D_{ki} = D_{ki}$, ja $D_{ki} \leq P_i$, pretējā gadījumā bezgalība.

Visu mērījumu pamatā ir plaukstas robežas pikseļu vektors (BPV – *Bourder Pixels Vector*),
 kura konstruēšana aprakstīta iepriekšējā atskaitē. No kameras iegūtais plaukstas attēls
 parādīts 11a attēlā. Binarizācijas sliekšnis tiek noteikts pēc iegūtā attēla histogrammas, kā
 lokālais minimums (punkts B 11b attēlā) starp histogrammas diviem maksimumiem. Pēc tam
 tiek veikta attēla binarizācija, kuras rezultāts parādīts 11c attēlā. BPV veido plaukstas
 robežas pikseļi, kuriem tiek konstruēta attālumu sadalījuma diagramma (ASD). Katram BPV
 pikselim atbilst attālums no šī pikseļa līdz noteiktam BPV sākumpunktam. Pirmajā etapā kā
 sākuma punkts tika izmantots plaukstas apakšējās līnijas vidus (punkts M 11c attēlā).
 Konstruēšana tiek sākota no punkta M un turpināta secīgi ar visiem punktiem pa kreisi no M.
 ASD kopējais izskats parādīts 12.attēlā. BPV īpatnība, ir vairāki izteikti lokāli maksimumi, kuru
 skaits atbilst rokas pirkstu skaitam.

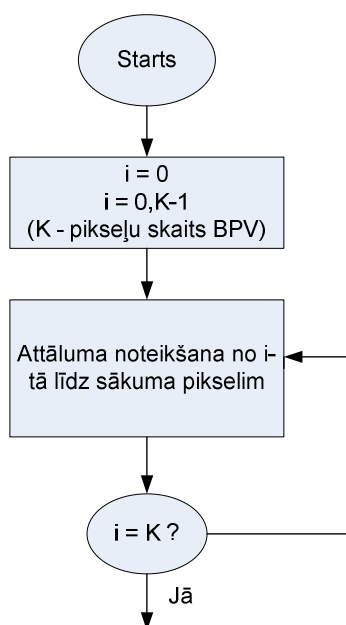


11.att. (a) plaukstas attēls; (b) attēla histogramma; (c) attēla binarizācijas rezultāts



12.att. ADS rezultāts

Lokālo maksimumu skaita noteikšanas algoritma blokshēma parādīta nākošajā attēlā:



13.att. Algoritma blokshēma

Attālums starp BPV i-to pikseli un sākuma pikseli tiek noteikts pēc formulas:

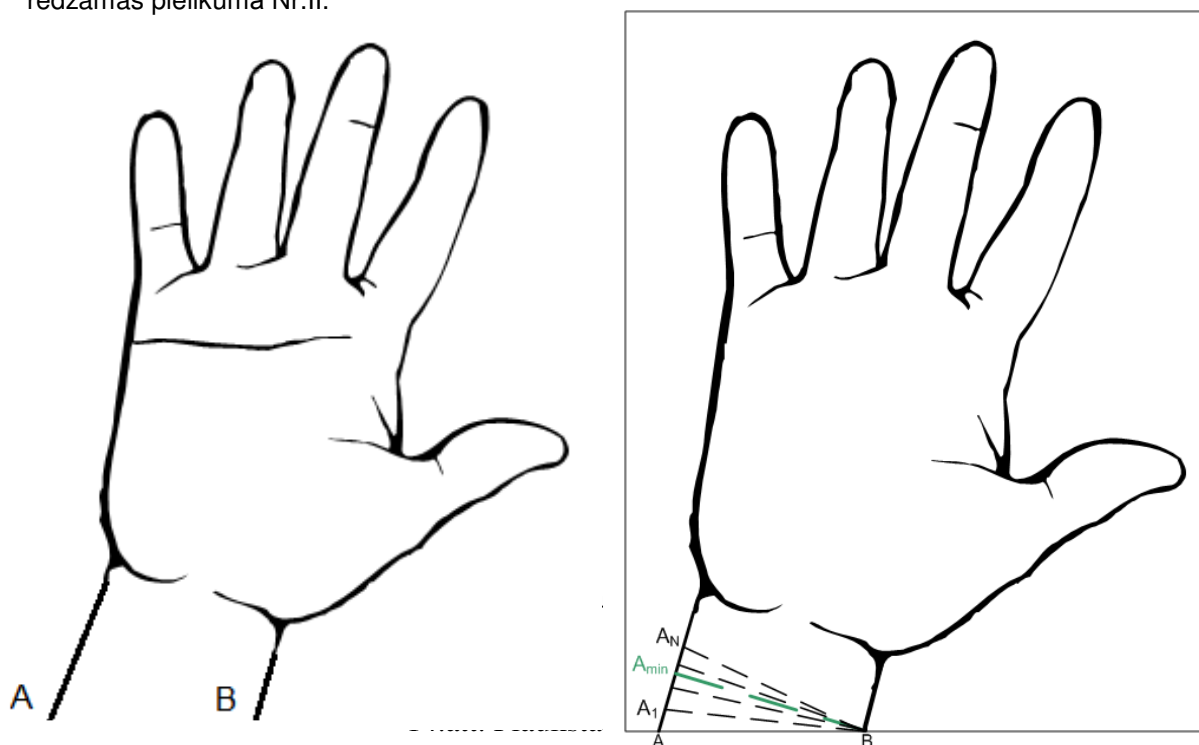
$$D_i = \sqrt{(|X_i| - X_M)^2 + (Y_i - Y_M)^2}$$

kur D_i - attālums starp i-to un sākuma pikseli; X_i , Y_i - i-tā pikseļa koordinātes; X_M , Y_M - sākuma pikseļa koordinātes. Šeit tiek pieņemts, ka plaukstas attēla apakšējā līnija atrodas horizontāli, t.i., $Y_M = \min(Y_i)$, visiem $i = 0, (K-1)$, K - BPV pikseļu skaits.

Vispārējā gadījumā plaukstas stāvoklis netiek stingri fiksēts attēla iegūšanas laikā, bet dažādu cilvēku roku izmēri atšķiras, tāpēc plaukstas apakšējās līnijas stāvoklis attēlā var

atšķirties pat viena un tā paša cilvēka plaukstai. Sakarā ar to, sākuma punkta stāvoklis attiecībā pret citiem BPV punktiem var ievērojami atšķirties dažādos vienas un tās pašas plaukstas attēlos, kas neļauj ar pieņemamu precizitāti noteikt identifikācijai izmantojamus ģeometriskos izmērus.

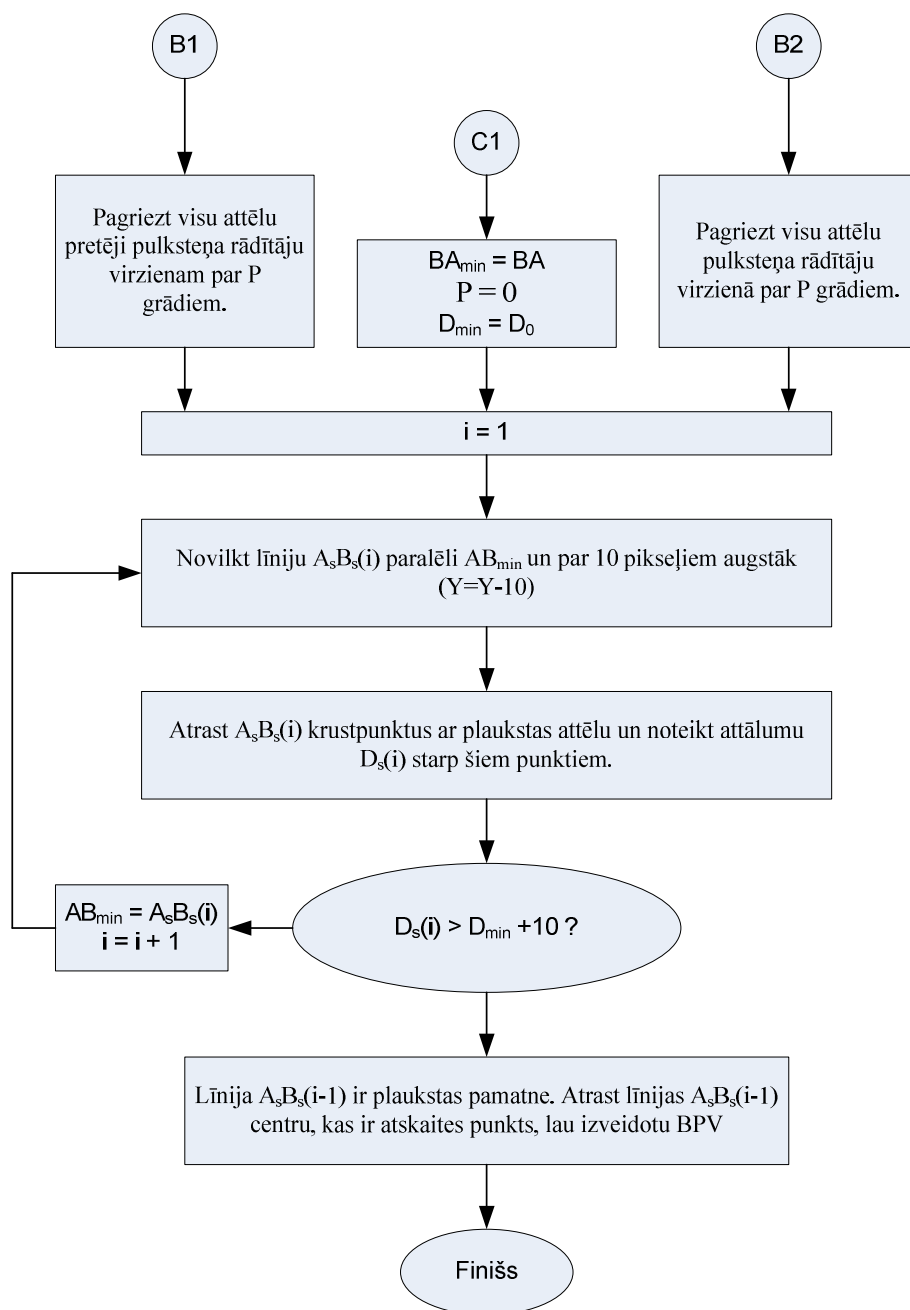
Plaukstas attēla piemērs parādīts 14.attēla kreisajā pusē. Apakšējā robeža (līnija A-B) atrodas zem plaukstas un slīpi pret līniju, kas norobežo plaukstu no apakšas. Lai noteiktu plaukstas apakšējo robežu, kas lietojama, kā pamats visiem tālākajiem mērījumiem, piedāvājam algoritmu, kura darbība demonstrēta 14.attēla labajā pusē. Algoritma blokshēmas redzamas pielikumā Nr.II.



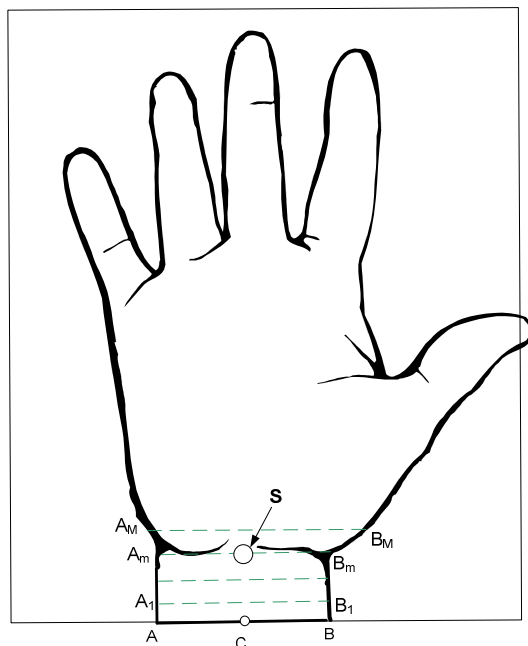
14.att. Plaukstas ģeometriskos izmēru noteikšanas algoritma darbības princips

Līnijai $AB_{\min}$ jābūt perpendikulārai attiecībā pret roku un jāveido ar līniju AB leņķis P, kura vērtība var būt arī 0. Pēc tam, kad leņķis P ir noteikts, tiek veikta attēla pagriešana atbilstošā virzienā, tā, lai līnija $AB_{\min}$ kļūtu horizontāla.

Tālāk nepieciešams atrasts plaukstas sākumu. Atbilstošais algoritms parādīts 15.att. Līnija $AB_{\min}$ var neatrasties pie plaukstas pamatnes, bet uz rokas (16.att.), un iespējams, ka to ir nepieciešams pārvietot uz augšu līdz plaukstas pamatnei un tad noteikt atskaites sākumpunktu S lai izveidotu BPV.



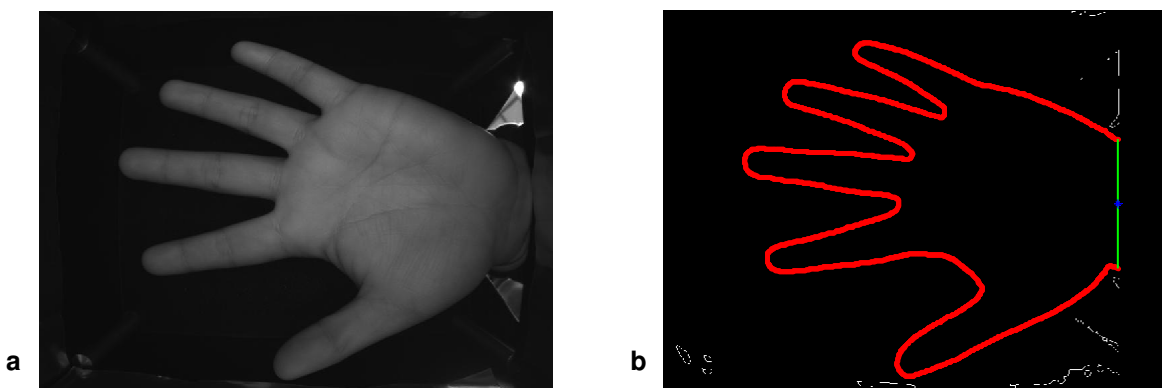
15.att. Plauksta sākuma punktu noteikšanas algoritma darbības princips



16.att. Plaukostas pamatnes līnijas atrašana

Zinot punkta S koordinātas var izveidot BPV un ASD, bet pēc tam noteikt arī pārējos plaukostas ģeometriskos parametrus (prezentācija par plaukostas ģeometriju Pielikumā Nr.III).

Minētie risinājumi sākuma stadijā ir aprakstīti arī programma Matlab.



17.att. (a) Plaukostas attēls (b) Viduspunkta atrašana

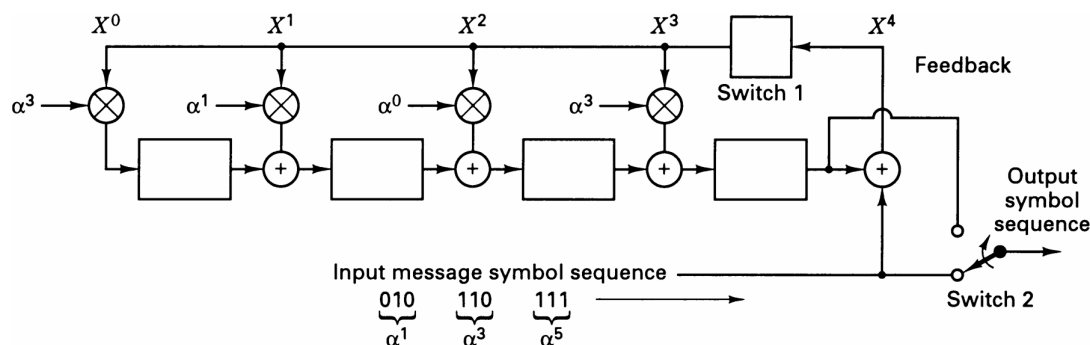
17a attēlā, redzams attēls ir no pieejamās datubāzes, kas vēlāk tika apstrādāts. 17b attēlā ir jau atrasts viduspunkts (iepriekš tika runāts tikai par teorētiskām darbībām, šā punkta atrašanai, bet te parādīts praktiski sasniegtais), pēc kura sekos tālākās darbības: attāluma noteikšana līdz plaukostas kontūra malām, maksimumu un minimumu atrašana, minimumu savienošana, pirkstu garumu aprēķināšana, u.c. darbības

Kļūdu koriģēšanas algoritms

Rīda-Solomona kods ir kļūdu koriģējošs kods, kas koriģē datus simbolu līmenī. Kļūdas tiek koriģētas izmantojot redundantos simbolus, kas tiek pievienoti datiem. Ja tiek uzdoti $2t$ redundanti simboli, kods spēj izlabot kļūdas t simbolos. Katrs simbols var būt m bitus liels, kur m var izvēlēties lietotājs. Katrs simbols ir paplašināta galīga lauka (GF) elements. Atkarībā no

izvēlētā bitu daudzums simbolā, mainās arī izmantotais galīgais lauks $GF(2^m)$, kura elementi ir $F = \{0, 1, a, a^2, a^3, \dots, a^{(2^m - 2)}\}$. Nokodēto datu simboli tiek izmantoti polinomā, kas tiek izmantots koriģēšanas procesā.

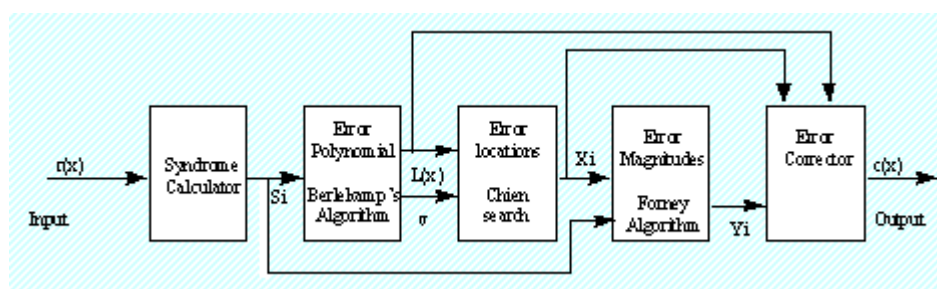
Lai nokodētu datus, tie ir jāizlaiž caur LFSR nokodētāju, kas pievienos nepieciešamo daudzumu redundantos simbolus.



18.att. Datu nokodēšana

Lai datus atkodētu, ir nepieciešams veikt vairāku soļu procesu, kas ietver:

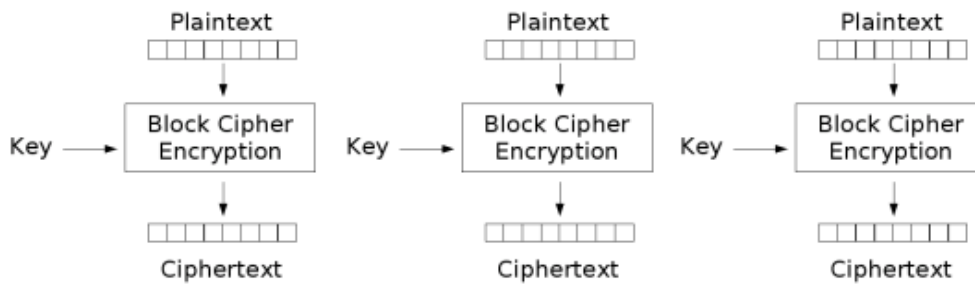
- 1) Noteikšana, vai kods satur kļūdas – tas tiek veikts aprēķinot koda sindromus, ja kaut viena sindroma vērtība nav 0, tad kodā ir kļūda, ko vajag koriģēt.
- 2) Kļūdu atrašanās vietu polinoma atrašana – tiek izmantots Berlekamp–Massey iteratīvais algoritms, kas atrod nepieciešamo polinomu kļūdu pozīciju noteikšanai.
- 3) Kļūdu atrašanās vietu noteikšana – tiek veikta pilnā pārlase kļūdu noteikšanas polinomam, nulles vērtības norāda uz kļūdu atrašanās vietām.
- 4) Kļūdu vērtību noteikšana – Lai atrastu kļūdu vērtības, tiek izmantots Forney algoritms.
- 5) Kļūdu koriģēšana – zinot kļūdu atrašanās vietas un kļūdu vērtības ir iespējams izkoriģēt kļūdas saskaitot nokodētos datus ar kļūdu polinomu, rezultējošais polinoms būs nokodētais polinoms ar izlabotām kļūdām.
- 6) Datu iegūšana – kad kļūdas ir izlabotas, ir nepieciešams noņemt nost redundantos simbolus, lai paliktu tikai derīgie dati.



19.att. Datu atkodēšana

Garu datu bloku šifrēšana

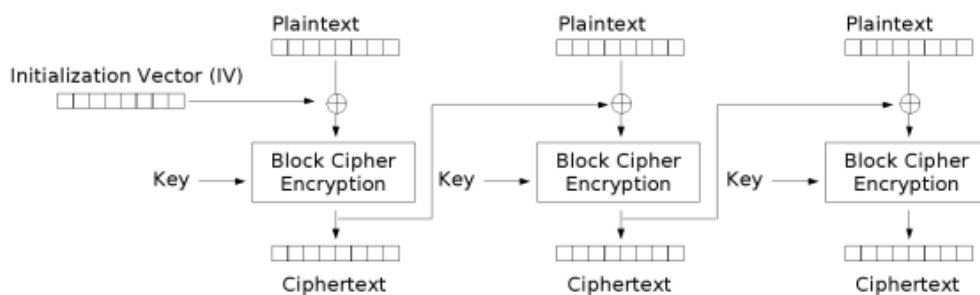
Datu šifrēšana parasti notiek ar bloka šifriem, kas parasti šifrē datus pa blokiem, kur viens bloks var saturēt 128, 256 vai citu daudzumu bitu. Gadījumā, ja pārsūtāmo datu daudzums ir lielāks par bloka izmēru, tad ir nepieciešams visus datu blokus sasaistīt kopā, lai katrs nākamais datu bloks būtu atkarīgs no iepriekšējā. Gadījumā, ja visi bloki tiek šifrēti atsevišķi, tad rezultāts izskatās sekojošs:



Electronic Codebook (ECB) mode encryption

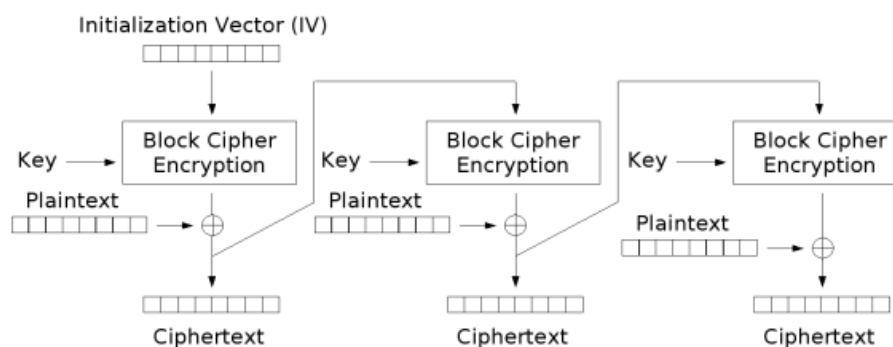
20.att. Vienkārša garu datu nošifrēšana

Tie ir neatkarīgi bloki. Ja kāds uzbrucējs noklausītos datus, tad viņš varētu pēc iegribas izmainīt viena bloka saturu ar bloku, ko viņš būtu noklausījies iepriekš, tāpēc ir nepieciešams visus blokus sasaistīt kopā. Tika apskatītas divas metodes kā to izdarīt: Cipher-block-chaining(CBC) un Cipher feedback(CFB).



Cipher Block Chaining (CBC) mode encryption

21. att. Garu datu nošifrēšana ar CBC metodi



Cipher Feedback (CFB) mode encryption

22. att. Garu datu nošifrēšana ar CFB metodi

Var redzēt, ka abos algoritmos tiek izmanto dati no iepriekš nošifrētā datu bloka. Lai atšifrētu sasaistītos blokus, ir nepieciešams veikt tās pašas operācijas pretējā virzienā.

Turpmākie darbi:

- Izpētīt citus plaukstas ģeometriskos izmērus;

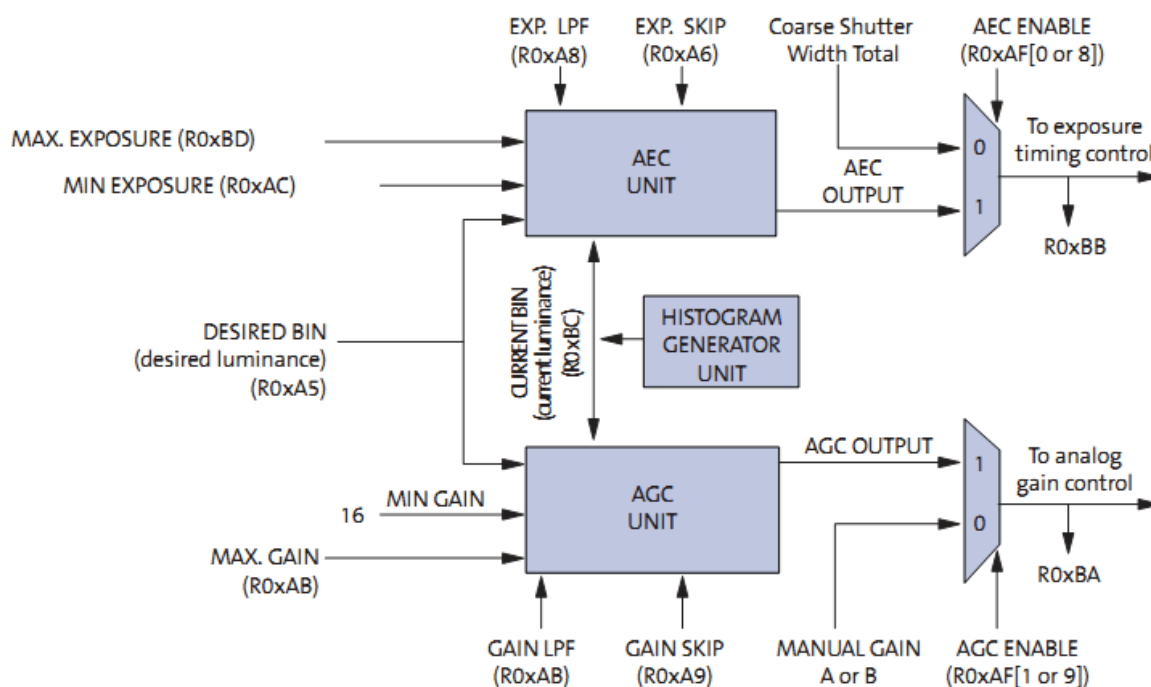
- Algoritmu implementācija Matlab vidē;
- Rīda-Solomona koda ietekmes uz biohash algoritmu testēšana;
- Cita biometrijas šifrēšanas algoritma implementēšana, lai salīdzinātu tā veikspēju ar biohash;
- Biometrijas datu iegūšanas GUI uzlabošana (jāuzlabo vairāki esošās sistēmas trūkumi).

Atsevišķu sistēmas komponentu un bloku izstrāde un izpēte

Šajā ceturksnī svarīgākie veiktie darbi:

- Aptina MT9V024 attēlu sensora reģistru programmēšana;
- Biometrijas sistēmas ietvara projektēšana un izveide;
- Izveidota iespiedplate viedkaršu saskarnes nodrošināšanai ar FPGA izstrādes rīku;
- Plaukstu interesējošā reģiona programmas pilnveidošana.

Šajā laika periodā ir turpināts darbs pie attēlu sensora reģistru darbības izpētes un konfigurēšanas, lai nodrošinātu optimāli izgaismota plaukstu attēla iegūvi. Ir izpētīti automātiskās eksponēšanas un pastiprinājuma kontroles reģistri, to konfigurācijas īpašības un ietekme uz iegūstamo attēlu. Veikti vairāki eksperimenti, pārprogrammējot MSP430F2013 mikrokontrolieri, lai nodrošinātu veiksmīgu komunikāciju ar Aptina MT9V024 attēlu sensoru un iestatītu reģistros vēlamās vērtības. Izpētīta zemāk redzamā blokshēma, kas reprezentē eksponēšanas un pastiprinājuma bloku darbību.

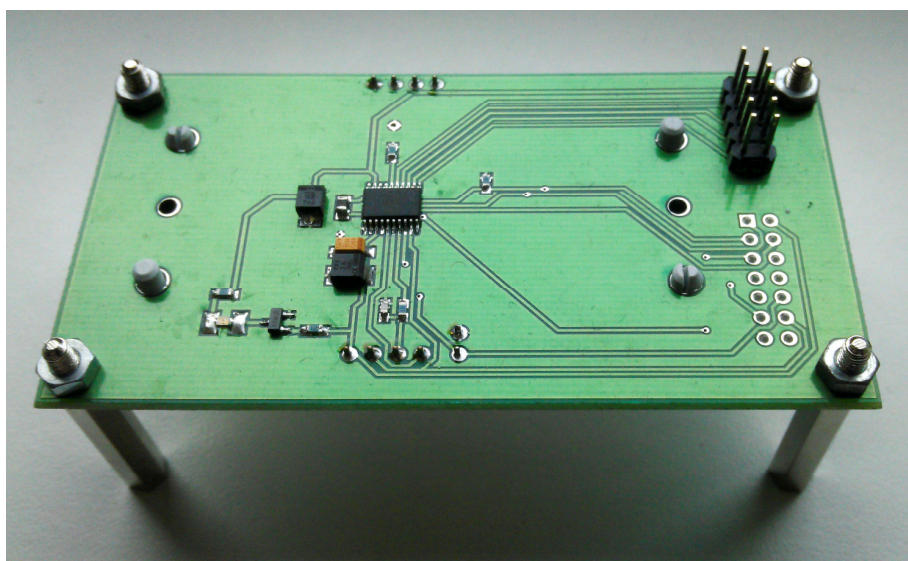


23.att. Eksponēšanas un pastiprinājuma bloku darbība

Veikta reģistra „DESIRED BIN” (R0xA5) konfigurācija, kas ļauj manuāli pielāgot aprēķinātās histogrammas vērtību, lai iegūtu optimāli izgaismotu attēlu. Realizēta minimālā un maksimālā eksponēšanas sliekšņa iestatīšana, lai izvairītos no pārāk gaiša vai arī tumša attēla.

Šajā laika periodā ir uzprojektēts un izveidots biometrijas sistēmas statīvs / ietvars, kas kalpo kā apstrādes bloka ietvars, plaukstu pozicionēšanas statīvs, kā arī iegūto attēlu vizualizācijas rīks. Šāda biometrijas sistēmas ietvara izveide ir svarīga tieši izstrādes procesā, lai varētu veikt eksperimentus un izdarīt secinājumus par sistēmas lietošanas ērtumu, ieviešamajām papildus funkcijām, nepilnībām un darbību kopumā. Uzprojektētā ietvara 3D skice pievienota pielikumā Nr.IV.

Šajā periodā ir arī veiktas viedkaršu iespiedplates projekta korekcijas, kā rezultātā ir izveidota iespiedplate viedkaršu komunikācijai ar FPGA izstrādes rīku un veikta iespiedplates elektronisko komponentu montāža. Izveidotā iespiedplate redzama 24. attēlā.



24.att. Izveidotā iespiedplate

Iepriekš izveidotās plaukstu interesējošā reģiona izdalīšanas programmā veikti vairāki labojumi, piemēram :

- pārveidots sliekšņošanas operators;
- optimizēta erozijas funkcijas darbība, kas tiek izmantota plaukstu kontūra attēla apstrādei;
- kontūru detektēšanas operators Sobel aizstāts ar Canny operatoru, kas ļauj precīzāk izdalīt plaukstu kontūra detaļas, nezaudējot informāciju, ja radušās apgaismojuma problēmas;
- lai izvairītos no spoguļefekta plaukstu kontūra distances grafā, visām vērtībām tiek pieskaitīts kāds gadījumskaitlis, kas ir ar kārtu 3 mazāks par tekošo vērtību. Šāda darbība ļauj izvairīties no vienādo vērtību parādīšanās meklējamo maksimumu apgabalā.
- sastādīts cikls, kas meklē maksimumus plaukstu distances grafā, rezultātā tiek iegūta precīzāka plaukstu pirkstu koordinātu noteikšana;

- veikta programmas koda testēšana izmantojot publiski pieejamo plaukstas attēlu datubāzi un secināts, ka algoritms ir derīgs konkrētās datubāzes izmantošanai.

Turpmāk veicamie darbi:

- Optimizēt programmu priekš MSP430F2013 mikrokontroliera, kas atkarībā no saņemtajām komandām no FPGA izstrādes rīka spēj pārprogrammēt Aptina MT9V024 attēlu sensora reģistrus, darbībai infrasarkanajā un redzamās gaismas spektros.
- Veikt biometrijas sistēmas ietvara montāžu, ievietojot tajā FPGA izstrādes rīku, kameras moduli, LCD displeju un pārējās nepieciešamās elektroniskās komponentes, kas nepieciešamas plaukstas attēlu ieguvei infrasarkanajā un redzamajā gaismā. Veikt attēlu ieguves sistēmas testēšanu.
- Izmantojot jaunizveidoto biometrijas sistēmas maketu, uzņemt datubāzi ar dažādu cilvēku plaukstas nospieduma un asinsvadu attēliem. Veikt šo attēlu apstrādi MATLAB vidē un izdarīt secinājumus par sistēmas darbību. Nepieciešamības gadījumā veikt uzlabojumus un atkārtot datubāzes uzņemšanu.

Secinājumi

Projekta „BiTe” pētnieciskā darbība „Lietišķo pētījumu” aktivitātē sekmīgi turpinās arī ceturtajā periodā. Noris izstrādājamās tehnoloģijas atsevišķu moduļu, algoritmu un elektrisko principiālo shēmu izpēte un izveide.

Attēlu sensora iespiešanas projekta izstrādei un attēlu iegūšanas sistēmai izmantojot FPGA tiek plānots izveidot strādājošu CMF 15x15 moduli; papildināt *Manager* moduli; iegūt vienlaicīgi gan oriģinālās, gan filtrētās bildes; nepieciešams veikt maksimālo vektoru izdalīšanu, interesējošā bildes apgabalā un jāizveido saskarni starp viedkartēm un FPGA.

Sejas atpazīšanas sistēmai tiek plānoti eksperimenti ar esošo kameras moduli, bildes kvalitātes uzlabošanai un iegūšanas procesa paātrināšanai, attēla izšķirtspējas palielināšanai.

Padziļināti tiek plānots izpētīt citas iespējas iegultas sistēmas realizācijai.

Biometrisku datu kriptēšanas, glabāšanas un lietojama apakšsistēmas izveides aktivitātē nākotnē paredzēts padziļināti izpētīt plaukstas ģeometriskos izmērus personas autentifikācijai; izveidot algoritmu Matlab vidē, kas apstrādās vajadzīgo rezultātu un veiks nepieciešamos aprēķinus plaukstas parametru salīdzināšanai; nepieciešams notestēt Rīda-Solomona koda ietekmi uz biohash algoritmu; jāimplementē cits biometrijas šifrēšanas algoritms, lai salīdzinātu tā veiktspēju ar biohash un jāuzlabo biometrijas datu iegūšanas GUI.

Atsevišķu sistēmas komponentu un bloku izstrādei un izpētei nepieciešams optimizēt programmu priekš MSP430F2013 mikrokontroliera, jāveic biometrijas sistēmas ietvara montāžu, ievietojot tajā FPGA izstrādes rīku, kameras moduli, LCD displeju un citas elektroniskās komponentes un izmantojot jaunizveidoto biometrijas sistēmas maketu, jāuzņem datubāzi ar dažādu cilvēku plaukstas nospieduma un asinsvadu attēliem.

Projekta pētnieciskie rezultāti tiek apspriesti izpildītāju iknedēļas sanāksmēs. Šīs sanāksmes tiek veidotas, lai projekta izpildītāji kopīgi izdiskutētu par pētījumiem un problēmām, kas jārisina, lai apakšaktivitātes veiksmīgi attīstītos. Trešajā progresa pārskata periodā notika sanāksmes, kurās projekta izpildītāji sniedza dažādas prezentācijas: „Plaukstu ģeometrija”, „15x15 maskas realizācija FPGA”, „Vektoru intensitāte plaukstu reģionos”, „Rīda-Solomona kods”.

Šajā laika periodā sagatavots zinātniskais raksts par projektā veiktajām aktivitātēm, kas saistītas ar biometrijas datu iegūšanu, apstrādi un šifrēšanu. Raksts „Biohashing and Fusion of Palmprint and Palm Blood Vein Biometric Data” prezentēts starptautiskā IEEE organizētā konferencē par plaukstu biometrisku parametru izmantošanu personu atpazīšanā (ICHB2011), Honkongā.

Ir uzsākts darbs pie aktivitātes „Intelektuālā īpašuma tiesību aizsargāšana”, notiek patenta pieteikuma sagatavošana.

Ir noteikti nākamā perioda pētniecisko darbu uzdevumi un sasniedzamie rezultāti. Par projekta pētnieciskiem sasniegumiem tiek plānots informēt arī piedaloties ar referātiem un publikācijās konferencēs un semināros.

Atsauces

1. M.Pudzs, M.Greitans, R.Fuksis. "Generalized Complex 2D Matched Filtering for Local Regular Line-Like Feature Detection". 19th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2011), Barcelona, Spain, August 29 - September 2, 2011.

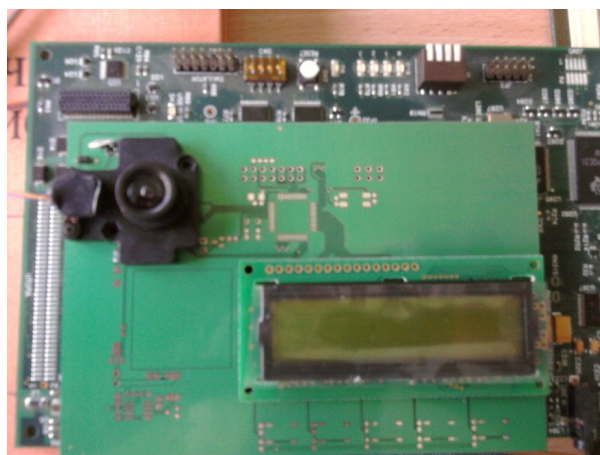
Datu paketes formēšanas sistēma darbojoties ar pirmo realizācijas versiju (Algoritms tiek veidots ar vienkāršu kodu realizāciju, bez signāliem, kuru vērtības tiek piefiksētas uz augošo/krītošo fronti un ierakstītas reģistros – stabili dati):

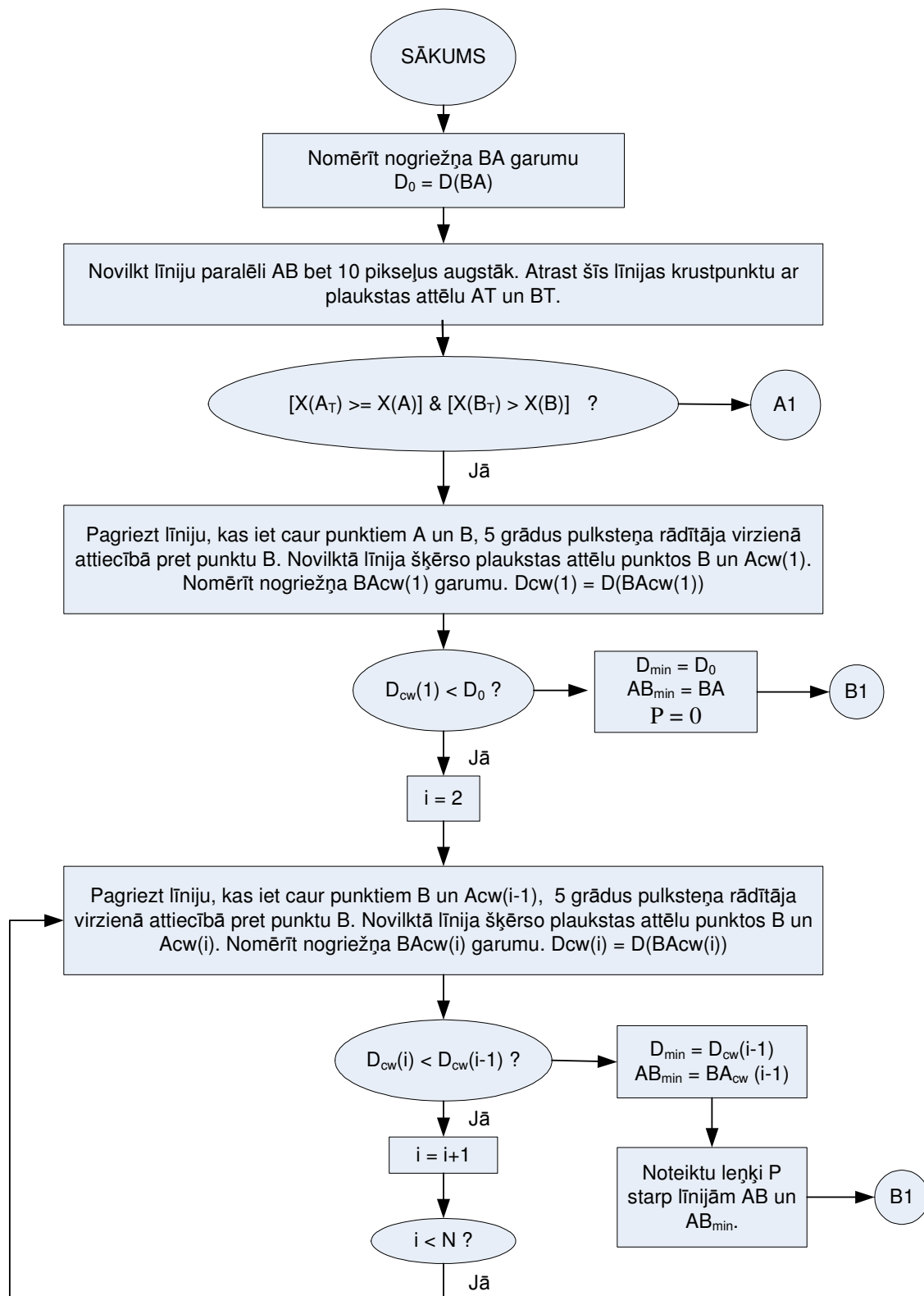


Datu paketes formēšanas sistēma, pielietojot efektīvu kodu algoritmu. Attēls iegūts bez kļūdām. Bet ņemot vērā, ka sistēma darbojas ar dažādām takts frekvencēm (nav piesaistīta vienai frekvencei), dažkārt tiek novērotas bitu nobīdes:

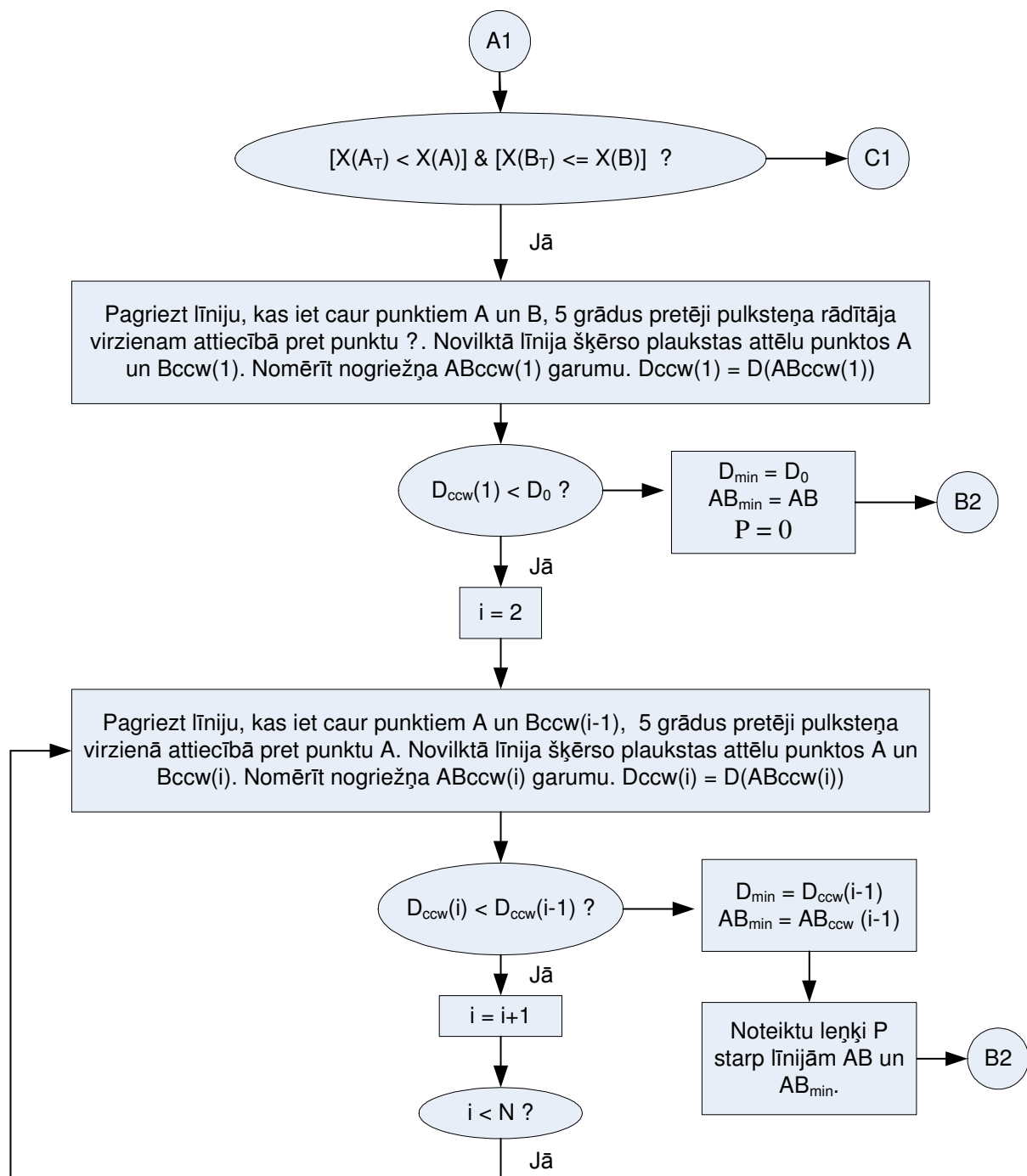


Sejas attēlu ieguves sistēmas modulis:





Šeit N – parametrs, kas nosaka maksimālo līnijas pagriezienu skaitu.





IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



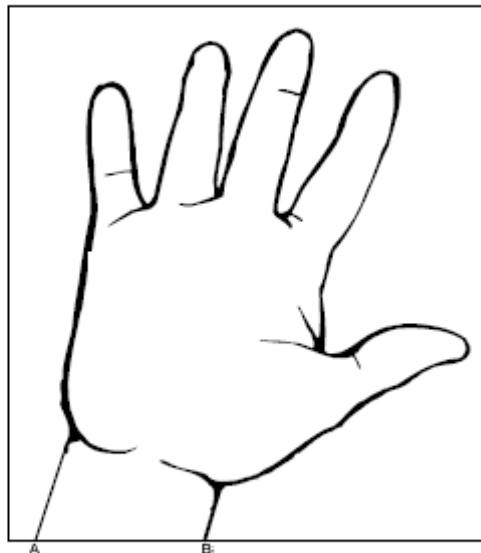
EIROPAS SAVIENĪBA

Plaukstas ģeometrija

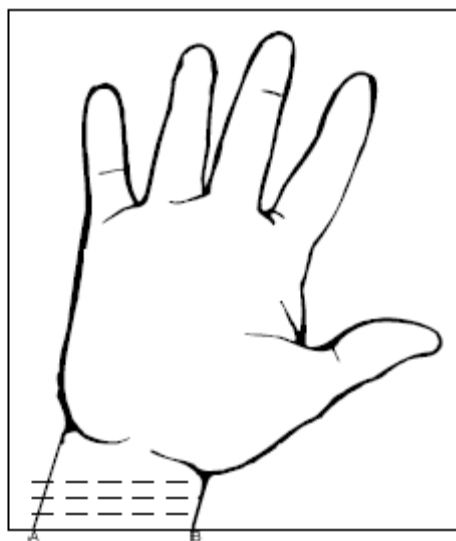
Mihails Broitmans

Projekta nosaukums: *Multimodālās biometrijas tehnoloģija drošai un ērtai personu autentifikācijai (BiTe)*

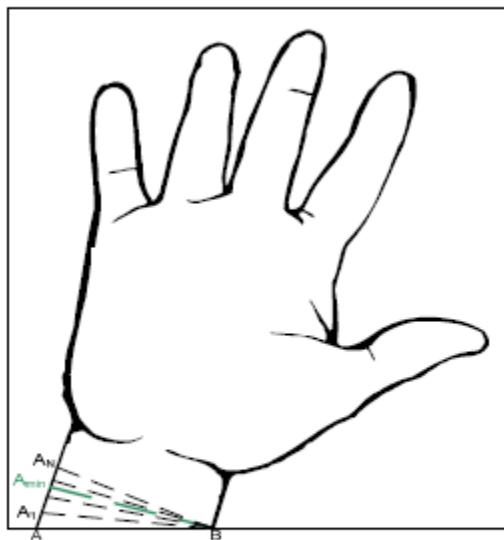
Projekta identifikācijas Nr. 2010/0285/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/098



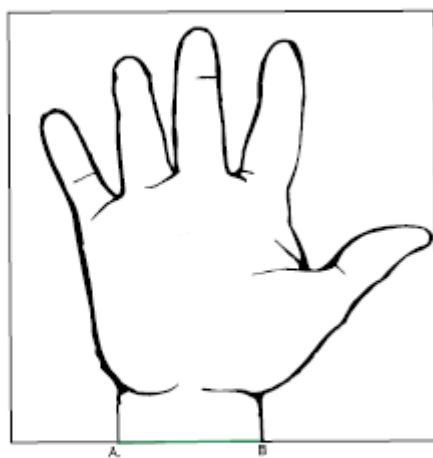
1. Atrodam punktus, kuros rokas kontūra šķērso kadra apakšējo robežu (punkts A un B).



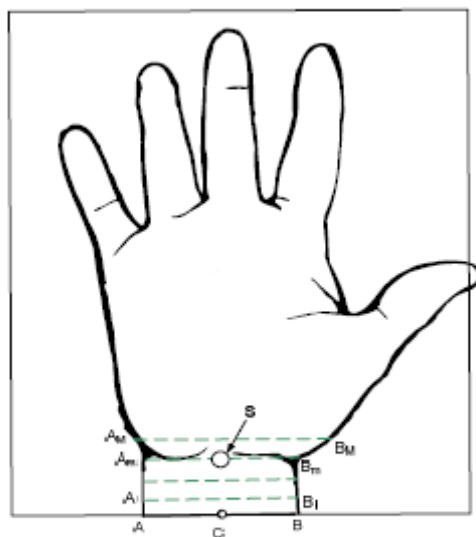
2. Nogriezni AB Paceļam vertikāli uz augšu. Sākot no kreisās puses atrodam krustpunktu ar rokas kontūru. Ja šis punkts atrodas tuvāk kreisās puses galam, ejam uz 3. punktu, ja labās, uz 4. punktu.



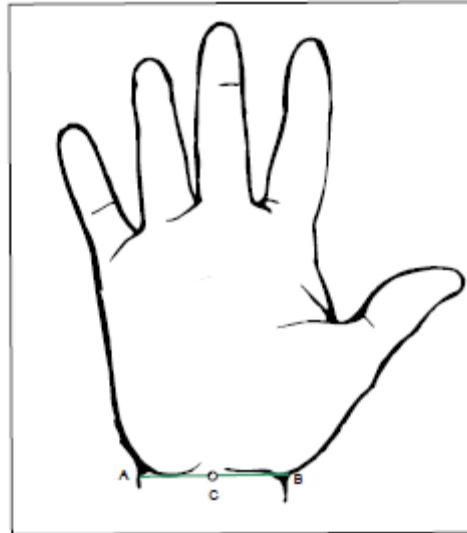
3. Nogriezni AB griežam attiecībā pret punktu B pulksteņa rādītāja virzienā (līdz sasniedzam 45° leņķi pret horizontu, un katru reizi mēram nogriežņu BA_i garumu. Atrodam $BA_{min} < BA_i$, $i=1,2,...,N$.



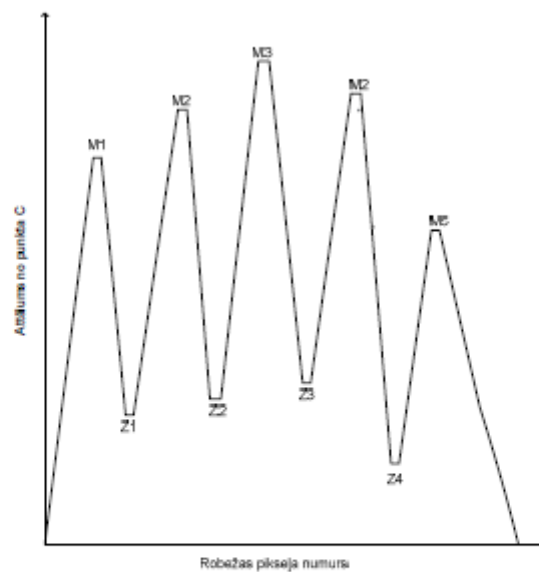
Pagriežam attēlu tā, lai līnija BA_{min} atrastos horizontāli. Atrodam nogriežņa BA_{min} viduspunktu (punkts C).



Pārvietojam nogriezni AB vertikāli uz augšu, ja nepieciešams, to pagarinām, līdz tas šķērso rokas kontūru (uz abām pusēm). Atrodam A_mB_m , kuram $A_mB_i \leq A_mB_m \leq A_kB_k$, kur $i=1, m$ un $k=(m+1), M$



Konstruējam rokas kontūras robežpikseļu vektoru, sākot no punkta C pulksteņa rādītāja virzienā. Nosakām īpašību vektora pirmā parametra P_1 vērtību, kas ir vienāda ar rokas kontūras ietvērto laukumu S_{com}



Fiksējam pikseļu koordinātes: M1, M2, M3, M4, M5, Z1, Z2, Z3, Z4

