



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: „Plaukstas datu nolasīšanas un apstrādes sistēma” (PALMs)

Līguma noslēgšanas datums: 13.12.2013.g.

Projekta sākuma datums: 01.01.2014.g.

Projekta beigu datums: 30.06.2015.g.

Vienošanās Nr.2013/0035/2DP/2.1.1.1.0/13/APIA/VIAA/015

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

### **ZINĀTNISKĀ PĒTĪJUMA PROGRESU APLIECINOŠĀ DOKUMENTĀCIJA**

Pārskata numurs Nr.1. par periodu no 01.01.2014.g. līdz 31.03.2014.g.

Projekta zinātniskais vadītājs: Modris Greitāns, Dr.sc.comp., vad. pētnieks

Pētījuma projekta izpildītāju saraksts: Rihards Fuksis, pētnieks

Mihails Pudžs, pētnieks

Oļegs Ņikišins, pētnieks

Rinalds Ruskuls, asistents

Teodors Eglītis, elektronikas inženieris

## Anotācija

PALMs ir Eiropas Reģionālās attīstības fonda līdzfinansēts projekts zinātnei un pētniecībai. Projekta vispārīgais mērķis ir inovatīva un konkurētspējīga produkta izveide. Projekta ietvaros plānots izstrādāt plaukstu datu nolasīšanas un apstrādes sistēmu, kas balstīta uz biometrisku parametru (plaukstu asinsvadu, nospiedumu un ģeometrijas datu) izmantošanu. Projekts tiek veikts prioritārā zinātnes virzienā „Inovatīvi materiāli un tehnoloģijas”.

Projekta aktivitātes ietver:

- rūpnieciskos pētījumus, kas ietver izpēti darbu, lai iegūtu zināšanas un prasmes izstrādājamās iekārtas radīšanai, kā arī atsevišķu komplektējošu daļu izstrādei un uzlabošanai;
- plaukstu datu nolasīšanas un apstrādes sistēmas prototipa eksperimentālo izstrādi;
- projekta vadību un publicitāti par projektu.

Projekts tiek īstenots sadarbībā starp Elektronikas un datorzinātņu institūtu un SIA „Infoserv-Rīga”. Izpildes ilgums – 18 mēneši.

Šajā dokumentā dots pārskats par projekta pirmajā periodā (01.01.2014.-31.03.2014.) veiktajiem pētniecības darbiem un šobrīd sasniegtiem rezultātiem.

## Ievads

Privāto objektu piekļuve šobrīd galvenokārt tiek kontrolēta izmantojot mehāniskās durvju slēdzenes, kuras iespējams atslēgt izmantojot atbilstošu atslēgu, vai elektromehāniskās slēdzenes, kuras galvenokārt atslēdz, izmantojot radio frekvenču identifikācijas (RFID) kartes, vai arī kodu slēdzenes. Taču šīm drošības metodēm ir vairāki trūkumi: atslēgas un RFID kartes mēdz nozaudēt vai nozagt; atslēgas mēdz viltot un slēdzenes uzlauzt; RFID karti var nodot kādai citai personai; koda slēdzenes var kādam pateikt, vai ievadīšanas brīdī nolasīt.

Lai risinātu šīs problēmas un samazinātu to rezultātā radušos zaudējumus, projekta ietvaros plānots izstrādāt personu atpazīšanas iekārtu, kas balstīta uz plaukstu datu izmantošanu. Ierīce balstīsies uz plaukstu asinsvadu, plaukstu nospiedumu un ģeometrijas datu nolasīšanu un atpazīšanu. Šāda nolasītāja priekšrocība ir tā, ka lietotājam personīgi ir jābūt klāt identifikācijas brīdī, lai piekļūtu objektam. Šādā gadījumā cilvēka plauksta ir objekta piekļuves atslēga. Tiek izslēgti tādi riski kā atslēgas nozaudēšana vai aizmiršana.

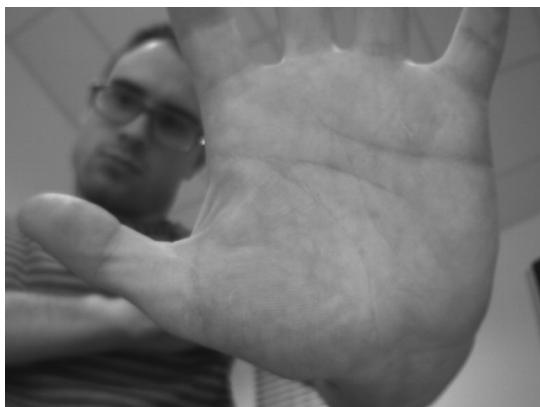
PALMs pētniecības grupas darbs ir saistīts ar augšminēto problēmu risinājumu. Šajā projekta pārskata posmā ir veikti darbi un sasniegti rezultāti sekojošos aktivitātes „Rūpnieciskie pētījumi” pētījumos:

- Plaukstu datu apstrādes algoritmu izpēte;
- Plaukstu datu iegūšanas un apstrādes algoritmu paralelizācija un implementēšana iegultās sistēmās;
- Plaukstu datu šifrēšanas paņēmieni izpēte;
- Plaukstu datu nolasītāja datu drošības risinājumu, datu arhitektūras un nepieciešamā līmeņa izpēte.

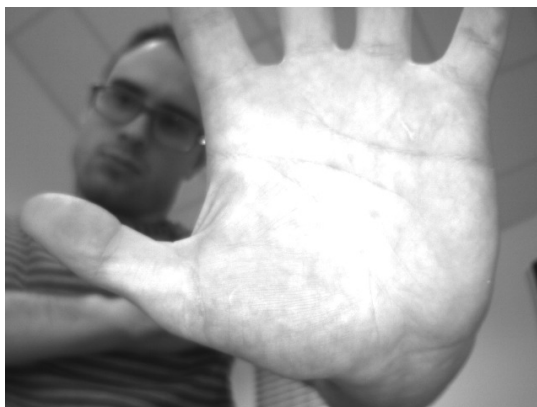
## Rezultātu kopsavilkums

Projekta pirmajā periodā (01.01.2014.-31.03.2014.) veikto pētniecības uzdevumu un rezultātu kopsavilkums ir sekojošs:

▪ Plaukstu datu apstrādes algoritmu izpēte – veikti pētījumi plaukstu detektēšanas jomā, apskatot iespēju detektēt plaukstu, izmantojot divu secīgu plaukstu attēlu uzņemšanu un dažāda apgaismojuma izmantošanu (katrā attēlā) ar nolūku vājināt fonu, izmantojot attēla apstrādes metodes. Tika izanalizēts, ka viena no vienkāršākajām metodēm, gan algoritmiskā ziņā, gan vērtējot sarežģītību pēc metodes implementācijas, ir divu secīgu attēlu uzņemšana:



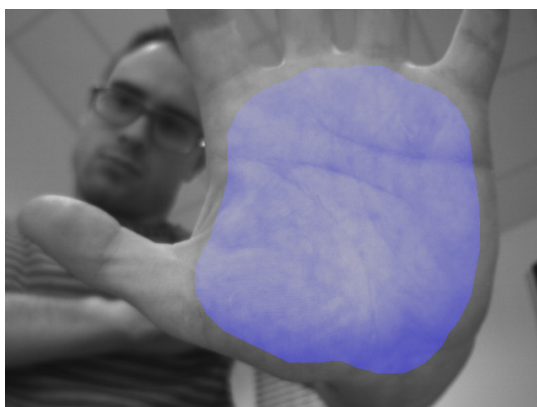
(a) optimāli apgaismots attēls



(b) pār-apgaismots attēls



(c) Attēlu a un b starpība



(d) izdalīts interesējošais (ROI) reģions

Tiek uzņemts oriģinālais attēls - **a**, un pēc tam - attēls, kas ir pārgaismots – **b** – pa šo laiku ieslēgts spēcīgāks apgaismojums. Tad abi attēli atņemti (un veiktas citas operācijas ar tiem), rezultātā iegūstot starpības attēlu **c**. Tad, iespējams veikt starpības attēla binarizēšanu un iegūtajā binārajā maskā meklēt iepriekš definēto plaukstu reģionu. Attēlā **d** šis plaukstu reģions definēts, kā tāds reģions, kurš veidots, izpildot morfoloģisko erozijas un dilation operācijas.

Tika arī uzsākti pētījumi par krāsainu attēlu izmantošanu, pieņemot, ka izmantojot šādus attēlus, būtu iespējams iegūt informāciju gan par rievām, gan asinsvadiem, tikai ar viena attēla palīdzību. Tas iespējams, jo eksistē krāsu sensori, kuri redz arī infrasarkanajā gaismā (ar maksimālo jutību pie viļņa garuma 850nm, pie kura arī iespējams redzēt asinsvadus).

Plaukstu datu rotācijas un mēroga invariances nodrošināšanas sakarā izpētīti izplatītākie paņēmieni objektu rotācijas un mēroga invariantai detektēšanai un atpazīšanai. Izvēlētie raksti iepazīšanai ar tēmu ietver (bet neierobežojas ar):

1. A Novel Algorithm for Translation, Rotation and Scale Character Recognition by Asif Iqbal et al.
2. Invariant Object Recognition Using Radon-Based Transform by Tomasz Arodz.
3. A Rotation-Invariant [*piezīme: Radon-Fourier Based*] Transform for Target Detection in SAR images by Wenxing Ye et al.
4. Rotation-Invariant Neural Network-Based Face Detection by Henry A. Rowley et al.
5. Rotation-invariant pattern matching using wavelet decomposition by D. M. Tsai et al.
6. Rotation-Invariant Object Recognition Using Edge Profile Clusters by Ryan Anderson et al.
7. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection by Navneet Dalal et al.

8. Circular Fourier-HOG Features for Rotation Invariant Object Detection in Biomedical Images by Henrik Skibbe et al.
9. Efficient Rotation Invariant Object Detection using Boosted Random Ferns by Michael Villamizar et al.
10. 2D/3D Rotation-Invariant Detection using Equivariant Filters and Kernel Weighted Mapping by Kun Liu et al.

[1] atrod objekta centru, objekta kontūram jābūt skaidri redzamai, noslēgtai, nedubultotai līnijai. Polārajās koordinātās pret atrasto centru tiek apskatīta kontūra līnija kā funkcija  $f(\rho, \theta)$ . Funkcijai  $f$  tiek meklēta simetrijas ass, kas visiem apskatāmiem simboliem ir garantēti atkārtojamā, un pēc funkcijas formas var atpazīt simbolu; metodes precīzāks nosaukums – Radial Sector Coding (RSC). [2] sadala rotācijas invariantus atpazīšanas algoritmus klasēs: 1) tiešie – kas apstrādā attēlu pikseļu apgabālā (image domain), veicot Afīnas transformācijas ar attēlu un analizējot objektu formu un 2) transformācijas, kas ir invariantas pret rotācijām (šai metožu klasei gan ir trūkums, ka daļa no attēlā esošās informācijas apstrādes gaitā pazūd). Jāpiebilst gan, ka ir iespējamās kombinētās metodes, kad metodi (2) veic lokāli, bet attēlu apstrādā pēc (1) principa – tā sauktās „punktu pazīmes” (point features), kā piemērs. Rakstā pierādītas pārbīdes, mērogošanas un rotācijas invariances panākšanas Radon transformētā apgabālā (radon domain). [3] izmanto līdzīgu paņēmienu objektu detektēšanai – līdzīgi pierādīta pārbīdes un rotācijas invariance, kaut gan tiek izmantota tikai pēdējā, kas ir panākta apvienojot Radona un Furjē transformācijas. Attēls tiek apstrādāts ar slidošu logu (sliding window), katrā loga pozīcijā transformējot pārklāto attēla reģionu Radona-Furjē apgabālā. Iegūtie koeficienti tiek izmantoti kā punktu pazīmes objektu detektēšanai. [4] izmanto neironu tīklus (Neural Networks) attēla pikseļu orientācijas leņķiskai korigēšanai pirms atpazīšanas, kā arī pašai atpazīšanai. Divi neatkarīgi neironu tīkli diviem dažādiem uzdevumiem, slīdoša loga paņēmiens ar papildus krāsu korekcijām precizitātes palielināšanai. [5] izmanto Wavelet transformācijas (Complex Wavelet Transform, CWT) attēla pakāpeniskai sadalīšanai aproksimācijas un detalizācijas koeficientos (image pyramids), kuriem ar noteiktiem matemātiskiem paņēmienu ir iespējams konstatēt viena un tā paša objekta esamību, neatkarīgi no šā objekta rotācijas leņķa. Metodes ir matemātiski ļoti sarežģītas un nav mēroga invariantas. [6] lokālie malu profili (local edge profiles) tiek izmantoti kā punktu pazīmes, ir lokāli invarianti pret pamat-Afīnām transformācijām, t. sk. rotāciju, kā arī pret apgaismojuma nelineārām, piem. gamma intensitātes kropļojumu, izmaiņām; aprakstā atgādina to, ko kompleksie salāgotie filtri (Complex Matched Filters, CMF) detektē kā līnijveidīgus objektus (line-like objects, LLO). Lokālo malu profilu detektēšanai izmanto attēla subreģionu sadalīšanu Wavelet (Dual-Tree CWT, jeb DT-CWT) koeficientos. Attēls tiek salīdzināts ar paraugu koordināšu (spatial) apgabālā pēc punktu pazīmēm. [7] attēls tiek sadalīts reģionos, kas daļēji pārklājas un katrā aprēķināta lokālo gradientu histogramma (Histogram of Oriented Gradients, HOG), izmantojot šīs histogrammas kā punktu pazīmes. Vienam un tam pašam objektam, neatkarīgi no objekta rotācijas HOG līknes būs ar vienādām īpašībām, ko ir iespējams konstatēt salīdzināšanas procesā. Attēlu salīdzināšana notiek koordināšu apgabālā. [8] modificē HOG, izmantojot Furjē transformāciju un panāk augstāku noturību pret trokšņiem un apgaismojuma nelinearitātēm; attēlu salīdzināšanā izmanto nelineāro filtru (Holomorphic filter) un vairāku klasifikatoru lēmumu svērto apvienošanu (voting). [9] pielieto HOG rezultātu apstrādi ar Random Ferns paņēmienu (pose estimation), lai atrastu potenciālās vietas, kurās pēc attēla rotācijas leņķa korekcijas (image derotation) var mēģināt detektēt meklējamo objektu (classification). Attēla leņķiskā korekcija pirms atpazīšanas ir līdzīga [4] izmantotai. [10] veido harmonisku filtru klasi, kuru maskas ir definētas polārajās koordinātās un ir līdzīgas GCMF. Izmantotas maskas, kas spēj veikt pilno fāzes kompensāciju, izmantojot īpašību, ka kompleksi saistīto lielumu reizinājums ir reāls skaitlis, kā arī noteikt objekta orientāciju, izmantojot īpašību, ka komplekso skaitļu reizinājums, ja leņķu atšķirība ir  $\phi$ , ir kompleksais skaitlis ar šādu fāzes leņķi. Filtra reakciju apvienošanai izmanto nelineārās operācijas, svērto lēmumu apvienošanu (voting). Ideju paplašina arī uz 3D apgabalu. Trūkums ir ka apstrādāt attēlu ar piedāvāto filtru banku uz 3.2GHzx4CPU procesora aizņem sekunžu desmitus.

- Plaukstu datu iegūšanas un apstrādes algoritmu paralelizācija un implementēšana iegultās sistēmās - šajā laika posmā tika veikta izpēte par esošajām tendencēm iegulto sistēmu aparatūrā, to pielietojums biometrisku sistēmu veidošanā. Paraleli tam, tika veikta izpēte attēlu apstrādes algoritmu implementācijai iegultās sistēmās - novērtēta to veiktspēja. Tika salīdzinātas dažādas iegulto sistēmu arhitektūras, kā arī iespēja implementēt algoritmus šajās iegultajās sistēmās. Ņemot vērā, ka mūsu līdzšinējā darbība bija cieši saistīta ar programmējamajiem loģiskajiem masīviem (FPGA), tad izvērtējot esošās tehnoloģijas, par prioritāti tika uzskatīta tieši esošā tehnoloģija. Otrs, arī ne mazāk svarīgs faktors bija veiktspēja, kas FPGA gadījumā ir lielāka nekā CPU balstītajās iegultajās sistēmās.

- Plaukstu datu šifrēšanas paņēmienu izpēte - Lai izstrādātu efektīvu biometrijas datu šifrēšanas metodes, bija nepieciešams ņemt vērā vairākus ietekmējošos faktorus arī biometrijas datu uzņemšanas un priekšapstrādes laikā. Tādēļ tika izpētīta globālās sliekšņošanas, kā arī vairākas adaptīvās sliekšņošanas metodes, kas varētu samazināt kopējo trokšņu daudzumu attēlā, atvieglojot parametru izdalīšanas procedūru, kā arī samazinot kļūdaini sašifrēto datu apjomu. Tika izpētītas sekojošas attēla intensitāšu sliekšņošanas metodes: Globālā sliekšņošanas metode, Otsu metode, Adaptīvā Sauvola sliekšņošanas metode un Adaptīvā Bradley sliekšņošanas metode. Tika veikts dažādu krāsu telpu īpašību un priekšrocību novērtējums (RGB, HSV, O1-O2, L1 L2 L3). Izpētītas arī sekojošas biometrijas datu šifrēšanas metodes: 1) metode, kur katrs nozīmīgais biometrijas vektors tiek šifrēts atsevišķi, lai iegūtu kopējo šifrēto datu vektoru; 2) fāzes korelācijas matricas izmantošanas iespējas biometrijas datu šifrēšanā; 3) biometrijas datu šifrēšana, izmantojot bioscript algoritmu un 4) biometrisko datu šifrēšana izmantojot biometriskos šablonus. Biometrijas datu vektorā, noteiktās pozīcijās tiek ieliktas iezīmes un vēlāk vektors tiek reprezentēts kā attēls, kas arī tiek izmantots kā iezīmju karte.
  - Plaukstu datu nolasītāja datu drošības risinājumu, datu arhitektūras un nepieciešamā līmeņa izpēte – šajā pārskata periodā tika izpētīti esošie plaukstu datu nolasītāja datu drošības risinājumi, un to iespējamie pielietojumi biometrijas sistēmās. Tika apskatītas algoritmu apstrādes metodes un realizācijas iespējas. Izpētītas datu drošības algoritmu matemātiskās funkcijas, un uzsākta to pielāgošana biometrijas sistēmām.
- Šie pētījumi tiek veikti, lai vēlāk uzsākamās „Eksperimentālās izstrādes” aktivitātes ietvaros varētu izveidot pilnvērtīgu projektā izstrādājamās plaukstu datu nolasīšanas un apstrādes sistēmas prototipu.

## Secinājumi

Projekta PALMs pētnieciskā darbība „Rūpniecisko pētījumu” aktivitātē ir sekmīgi uzsākta. Noris plaukstu datu apstrādes algoritmu izpēti, plaukstu datu iegūšanas un apstrādes algoritmu paralelizācija un implementēšana iegultās sistēmās un plaukstu datu šifrēšanas paņēmieni izpēti.

Turpmāka „Rūpniecisko pētījumu” apakšaktivitātes „Plaukstu datu apstrādes algoritmu izpēti” ietvaros paredzēts pētīt optimālu plaukstu apgaismojumu, pētīt iespēju izmantot krāsainus attēlu sensorus, *reizē* iegūtu informāciju gan par plaukstu asinsvadiem, gan vēnām.

No izpētītajiem izplatītākajiem paņēmieniem objektu rotācijas un mēroga invariantai detektēšanai un atpazīšanai (state of the art methods) secināts, ka tos var iedalīt trīs grupās: 1. Apstrādā pikselus pa taisni, koordināšu apgabālā (neefektīvs paņēmiens, jo rotācijas invariances nodrošināšanai jāveic sarežģītas operācijas, un tikmēr tās tiks nodrošinātas, algoritms pāries klasē 3); 2. Apstrādā attēlu transformētajā apgabālā, kuram rotācijas invariance ir garantēta (vismaz pagaidām neefektīvs veids, jo zināmo transformāciju veikšanai nepieciešamas sarežģītas manipulācijas, kā arī tās nenodrošina invarianci arī pret pārējām attēla deformācijām); 3. Kombinētais paņēmiens – lokāli pēc principa (2) un pēc tam visam attēlam pēc principa (1). Pagaidām šis variants izskatās perspektīvākais, pie tam, esošie pašu izstrādātie algoritmi, kā GCMF var nodrošināt punktu pazīmes, pat ja ar šiem algoritmiem efektīvi aprakstīt asinsvadu un rievojumu lokālās izpausmes, neatrisinātais pagaidām paliktu tikai divu attēlu salīdzinājums globālais salīdzinājums koordināšu apgabālā pēc principa (1).

Apakšaktivitātes „Plaukstu datu iegūšanas un apstrādes algoritmu paralelizācija un implementēšana iegultās sistēmās” ietvaros plānots izpētīt jaunākās 2D konvolūcijas metodes implementēšanai FPGA un SDC komandas pielietošanai praksē, plānots turpināt attīstīt komunikāciju starp datoru un FPGA un projektēt iespiedplates, lai nodrošinātu kvalitatīvus pētnieciskus eksperimentus.

Bet apakšaktivitātes „Plaukstu datu šifrēšanas paņēmieni izpēti” ietvaros nākamajā pārskata periodā paredzēts izpētīt pēdējo gadu zinātnieku sasniegumus biometrijas datu šifrēšanas jomā.

„Rūpniecisko pētījumu” apakšaktivitātes „Plaukstu datu nolasītāja datu drošības risinājumu, datu arhitektūras un nepieciešamā līmeņa izpēti” ietvaros turpmāk tiks apskatīti papildus plaukstu datu nolasītāja datu drošības risinājumi. Plānots iepazīties arī ar datu arhitektūras uzbūvi un struktūrām.

Publicitātes aktivitātes ietvaros ir izveidota un tiek uzturēta projekta mājas lapa EDI mājas lapas ietvaros, bet par projekta uzsākšanu ir ievietota preses relīze nacionālā ziņu aģentūrā LETA un projekta norises vietā ir izvietota plāksne. Sekmīgi ir nodrošināta projekta vadība, regulāri notiek vadības grupas sēdes. Uzraudzības padomes sēdē veikta projekta gaitas un iespējamo risku analīze. Projekta pētnieciskie rezultāti tiek apspriesti izpildītāju iknedēļas sanāksmēs.

Par projekta pētnieciskiem sasniegumiem tiek plānots informēt arī piedaloties ar referātiem un publikācijās konferencēs un semināros.