

**Valsts pētījumu programmas Kiberfizikālās sistēmas, ontoloģijas un biofotonika
drošai&viedai pilsētai un sabiedrībai(SOPHIS)**

**Projekts Nr.3 „Biofotonika: attēlošana, diagnostika un
monitorings”
1.posma zinātniskā atskaite**

SATURS

1. METODIKA VAIRĀKU MONOHROMATISKU SPEKTRĀLO ATTĒLU IEGŪŠANAI NO VIENA DIGITĀLA KRĀSU ATTĒLA DATIEM.	3
RGB pārklāšanās (crosstalk) korekcija	4
Ādas hromoforu sadalījuma karšu aprēķināšana	6
2. METODIKA SIRDSDARBĪBAS UN ASINSRITES PARAMETRU BEZKONTAKTA MONITORINGAM TUVAJĀ INFRASARKANAJĀ SPEKTRA DIAPAZONĀ.	8

Projekta pamatmērķis: attīstīt inovatīvas tehnoloģijas bioobjektu attēlu iegūšanai un apstrādei.

1.posma pētnieciskie uzdevumi:

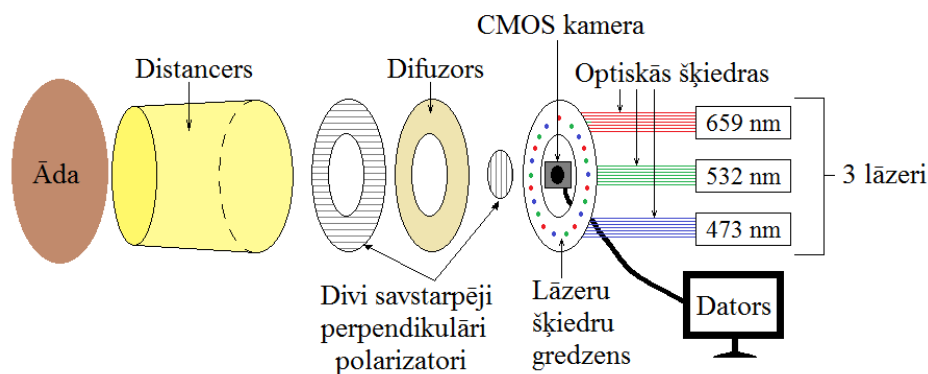
1. Izstādāt eksperimentālo mērījumu metodikas jauno attēlošanas tehnoloģiju aprobācijai laboratorijas apstākļos:

1.1. vairāku monohromatisku spektrālo attēlu iegūšanai no viena digitāla krāsu attēla datiem.

1.2. sirdsdarbības un asinsrites parametru bezkontakta monitoringam tuvajā infrasarkanajā spektra diapazonā.

1. METODIKA VAIRĀKU MONOHROMATISKU SPEKTRĀLO ATTĒLU IEGŪŠANAI NO VIENA DIGITĀLA KRĀSU ATTĒLA DATIEM.

Kā pirmo soli šajā virzienā aplūkosim situāciju, kad objekts tiek apgaismots vienlaicīgi ar trim spektrālīnijām un no viena uzņemtā digitālā RGB attēla tiek izdalīti trīs monohromatiski spektrāli attēli. Izveidotās eksperimentālās iekārtas shēma sniegta 1. attēlā. Iekārtā objekta apgaismošanai izmantoti trīs lāzери ar starojuma viļņu garumiem 473 nm, 532 nm un 659 nm. Katra lāzera stars caur SMA savienotāju tiek ievadīts 7 optisko šķiedru kūlī. Tās visas tiek apkopotas speciāli izveidotā gredzenā ar 21 randomizēti izvietotiem šķiedru distāliem galiem objekta apgaismošanai. Gredzenam priekšā atrodas difuzors, lai iegūtais apgaismojums būtu pēc iespējas vienmērīgāks. Lai nodrošinātu to, ka visos eksperimentos attālums no kameras līdz objektam ir vienāds, tiek lietots ekranējošs distancers. Attēls tiek uzņemts ar CMOS kameru un nosūtīts uz datoru, kur tas tiek apstrādāts ar Matlab programmatūras palīdzību.

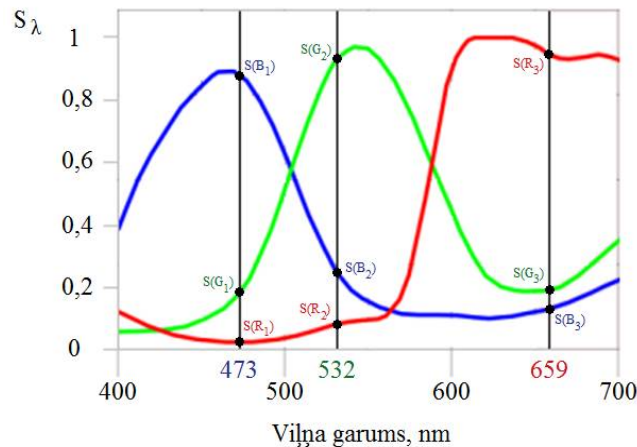


1. att. Eksperimentālās iekārtas shēma

Lai noslāpētu no objekta (piemēram, ādas) virsmas atstaroto gaismu, izmantoti divi krusteniski orientēti polarizatori. Pirmais, gredzenveida polarizators novietots aiz lāzери šķiedru gredzena un difuzora, tāpēc visa objektu apstarojošā gaisma ir lineāri polarizēta. No virsmas tieši atstarotā gaisma saglabā savu polarizācijas virzienu, bet no dziļuma difūzi atstarotā gaisma ir nepolarizēta. Otrs polarizators, kas ir novietots priekšā kamerai, orientēts perpendikulāri pirmajam, izslēdzot tieši atstarotās gaismas reģistrāciju.

Izmantotie lāzeru modeļi un starojuma jaudas: 659 nm lāzers – modelis DB650-12-3, 12mW jauda; 532 nm lāzers – modelis DD532-10-5, 10mW jauda; 473 nm lāzers – modelis 1011750, 30mW jauda (tika vājināts)

Darbā izmantots CMOS attēlu sensors UI-1221LE-C-HQ ar izmēru 1/3 collas. Pikseļu skaits kadrā ir 752 x 480. Kameras matricas R-, G- un B-kanālu relatīvās jūtības līknes sniegtas 2.attēlā.



2.. att. RGB attēlu sensora krāsu kanālu relatīvās jūtības līknes.

RGB pārklšanās (crosstalk) korekcija

Aplūkosim attēlu sensora signālus no baltas references (piemēram, balta papīra), ja to apgaismo vienlaikus ar 3 spektrālīnijām. Katra pikseļa kopējo detektēto signālu katrā no uztverošajiem R, G un B kanāliem var aprakstīt sekojoši:

$$R = R_1 + R_2 + R_3, \quad G = G_1 + G_2 + G_3, \quad B = B_1 + B_2 + B_3, \quad (1),$$

kur saskaitāmie ar indeksiem 1,2 un 3 raksturo katru izmantotā viļņu garuma „piesesumu” kanāla izejas signālam spektrālās jūtības līkņu pārklšanās dēļ. Šīs komponentes ir iespējams atdalīt, tādējādi novēršot uztverošo kanālu „šķērsrunu” (*crosstalk*) kļūdu, un rezultātā izveidot izkorigētus 3 monohromatiskus spektrālus attēlus no viena digitāla RGB attēla datiem.

Katram no izvēlētajiem viļņu garumiem tika atrastas kameras spektrālās jūtības vērtības katrā RGB kanālā – $S(B_1)$, $S(G_1)$, $S(R_1)$, $S(B_2)$, $S(G_2)$, $S(R_2)$, $S(B_3)$, $S(G_3)$ un $S(R_3)$ (2. att.), kur 1, 2 un 3 apzīmē izmantotos viļņu garumus: 1 = 473 nm, 2 = 532 nm, 3 = 659 nm. Sensora pikseļu relatīvās jūtības katram no trim viļņu garumiem katrā krāsu kanālā ir fiksētas, un to savstarpējās attiecības ir nemainīgas:

$$S_{R12} = \frac{S(R_1)}{S(R_2)}, \quad S_{R13} = \frac{S(R_1)}{S(R_3)}, \quad S_{R23} = \frac{S(R_2)}{S(R_3)}, \quad (2)$$

$$S_{G12} = \frac{S(G_1)}{S(G_2)}, S_{G13} = \frac{S(G_1)}{S(G_3)}, S_{G23} = \frac{S(G_2)}{S(G_3)},$$

$$S_{B12} = \frac{S(B_1)}{S(B_2)}, S_{B13} = \frac{S(B_1)}{S(B_3)}, S_{B23} = \frac{S(B_2)}{S(B_3)}.$$

kur R_1 , G_1 un B_1 ir katrā kanālā uztvertās vērtības pie izmantotā viļņu garums 473 nm, R_2 , G_2 un B_2 – pie 532 nm un R_3 , G_3 un B_3 – pie 659 nm viļņa garuma. Pieņemot, ka pikseli nav pārgaismoti, un izmantojot zināmās spektrālās jūtības vērtības pie katra no viļņu garumiem, kameras uztverto signālu atsevišķās komponentes var izteikt šādi:

$$R_1 = \frac{R}{1 + \frac{1}{S_{R12}} + \frac{1}{S_{R13}}}, R_2 = \frac{R}{S_{R12} + 1 + \frac{1}{S_{R23}}}, R_3 = \frac{R}{S_{R13} + S_{R23} + 1},$$

$$G_1 = \frac{G}{1 + \frac{1}{S_{G12}} + \frac{1}{S_{G13}}}, G_2 = \frac{G}{S_{G12} + 1 + \frac{1}{S_{G23}}}, G_3 = \frac{G}{S_{G13} + S_{G23} + 1}, \quad (3)$$

$$B_1 = \frac{B}{1 + \frac{1}{S_{B12}} + \frac{1}{S_{B13}}}, B_2 = \frac{B}{S_{B12} + 1 + \frac{1}{S_{B23}}}, B_3 = \frac{B}{S_{B13} + S_{B23} + 1}.$$

Tas ļauj no katrā attēla pikselī integrāli uztvertajiem R,G un B signāliem izdalīt „patiesos” signālus pie katra no trim viļņu garumiem, resp. veikt RGB šķērsrunas (crosstalk) korekciju. Tālākajos aprēķinos izmantotas attiecīgi koriģētās vērtības R_3 , G_2 un B_1 . No šīm pikseļu vērtībām tiek konstruēti trīs izkorigēti monohromatiski spektrālie attēli viļņu garumiem 473nm, 532nm un 659nm.

Ekspērimētos sākumā par referenci tika izmantota balta papīra lapa, jo tā atstaro gandrīz visu krītošo gaismu. Attīstot pielietotos algoritmus, par referenci tika piedāvāts izmantot veselas ādas apgabalus attēla zonā. Šādā gadījumā nevar izmantot iepriekš aprakstītos pārklāšanās (crosstalk) koeficientus. Tādēļ tika papildus sastādīti algoritmi, kā aprēķināt nepieciešamos korekcijas koeficientus. Veselas ādas paraugs tika uzņemts četros dažādos veidos – apgaismojot to trihromātiski, kad apgaismojumam izmantoti trīs lāzeri vienlaicīgi, un 3 veidos ādu apgaismojot monohromātiski: atsevišķi ar zilo, zaļo un sarkano lāzeri. No iegūtajiem attēliem tika izdalīti trīs reģioni un sastādītas atbilstošās trīs vienādojumu sistēmas katram no kanāliem.

Ādas hromoforu sadalījuma karšu aprēķināšana

Lai noteiktu melanīna, oksihemoglobīna un deoksihemoglobīna koncentrāciju sadalījumu ādā, tika izmantots triju hromoforu modelim pielāgots Bēra – Lamberta likums:

$$\begin{cases} I_1 = I_{01} \cdot \exp[-(k_{a1} + k_{b1} + k_{c1}) \cdot l_1] \\ I_2 = I_{02} \cdot \exp[-(k_{a2} + k_{b2} + k_{c2}) \cdot l_2], \\ I_3 = I_{03} \cdot \exp[-(k_{a3} + k_{b3} + k_{c3}) \cdot l_3] \end{cases} \quad (4)$$

kur I_l ir no ādas atstarotā gaismas intensitāte pie λ_l , I_{0l} ir no references atstarotās gaismas intensitāte, l_l ir vidējais gaismas iespiešanās dziļums ādā pie λ_l , k_{a1} , k_{b1} un k_{c1} ir absorbcijas koeficienti pie λ_l . Līdzīgi ar λ_2 un λ_3 , kur $\lambda_1=473$ nm, $\lambda_2=532$ nm un $\lambda_3=659$ nm. Indeksi a , b un c apzīmē meklētās hromoforas: a – oksihemoglobīns, b – deoksihemoglobīns un c – melanīns.

Absorbcijas koeficienti (k_{a1} , k_{b1} un k_{c1}) pie λ_l var tikt izteikti kā:

$$\begin{cases} k_{a1} = c_a \cdot \varepsilon_a(\lambda_1) \\ k_{b1} = c_b \cdot \varepsilon_b(\lambda_1), \\ k_{c1} = c_c \cdot \varepsilon_c(\lambda_1) \end{cases} \quad (5)$$

kur c_a , c_b un c_c ir attiecīgo hromoforu koncentrācijas, ε_a , ε_b un ε_c ir ekstinkcijas koeficienti, kuri katrai no 3 hromoforām pie katra no 3 viļņu garumiem ir zināmi (tabulēti).

Attiecībā uz fotonu optiskā ceļa garumu ādā pirms atgriešanās gaisā, tas tika dažādi aproksimēts un par optimālu atzīta vērtība $4l_i$, kur l_i – vidējais iespiešanās dziļums pie i -tā viļņu garuma. Pie 473nm l_i vērtība ir salīdzināma ar epidermas biezumu; šajā gadījumā pieņemts, ka absorbē epidermas melanīns (optiskā ceļa $4 l_{473}$) un nedaudz arī dermas hemoglobīns (optiskais ceļš pieņemts divreiz mazāks – $2l_{473}$). Pie 532nm un 659nm melanīna absorbcijas ceļš epidermā aproksimēts ar $4 l_{473}$, hemoglobīnu absorbcijas ceļi dermā attiecīgi ir $4 (l_{532} - l_{473})$ un $4 (l_{659} - l_{473})$.

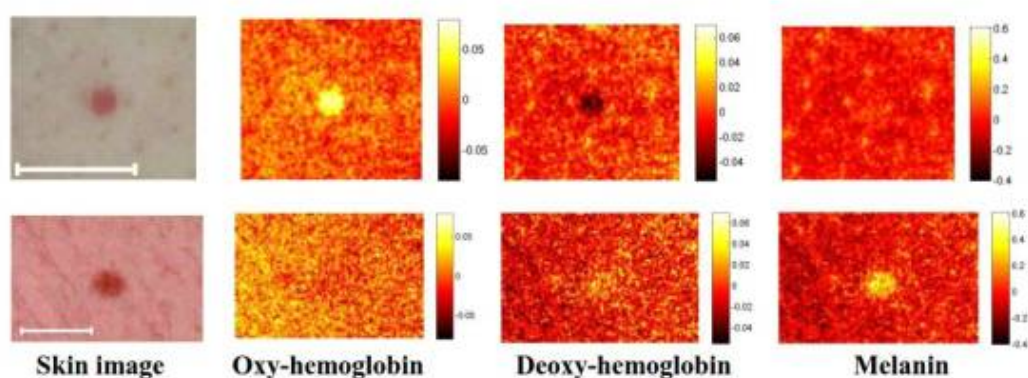
Rezultātā iegūstam šādu vienādojumu sistēmu:

$$\begin{cases} \ln\left(\frac{I_1}{I_{01}}\right) = -2 \cdot l_1 (c_a \cdot \varepsilon_a(\lambda_1) + c_b \cdot \varepsilon_b(\lambda_1) + 2c_c \cdot \varepsilon_c(\lambda_1)) \\ \ln\left(\frac{I_2}{I_{02}}\right) = -4 \cdot (l_2 - l_1) (c_a \cdot \varepsilon_a(\lambda_2) + c_b \cdot \varepsilon_b(\lambda_2)) - 4 \cdot l_1 \cdot c_c \cdot \varepsilon_c(\lambda_2) \\ \ln\left(\frac{I_3}{I_{03}}\right) = -4 \cdot (l_3 - l_1) (c_a \cdot \varepsilon_a(\lambda_3) + c_b \cdot \varepsilon_b(\lambda_3)) - 4 \cdot l_1 \cdot c_c \cdot \varepsilon_c(\lambda_3) \end{cases} \quad (6)$$

Attiecības $k_1 = \frac{I_1}{I_{01}}$, $k_2 = \frac{I_2}{I_{02}}$, $k_3 = \frac{I_3}{I_{03}}$ apzīmē relatīvos spektrālās vājināšanas koeficientus –

no patoloģijas rajona un no tam apkārt esošās veselās ādas rajona atstaroto intensitāšu attiecības.

Izstrādātā attēlu apstrādes metodika tika aprobēta, uzņemot divu veidu ādas patoloģiju – pigmentētu veidojumu un asinsvadu veidojumu – attēlus trihromātiskā lāzeru apgaismojumā. No fizioloģiskiem apsvērumiem sagaidāms, ka pigmentētā veidojumā ir palielināta melanīna koncentrācija epidermā (būtiski nemainot hemoglobīna koncentrāciju dermā), savukārt asinsvadu veidojumā ir paaugstināta hemoglobīna koncentrācija dermā bez būtiskām epidermas melanīna izmaiņām. Tādu rezultātu pēc datu apstrādes arī ieguvām (3.attēls) – augšējā rindā sniegtas vaskulāra veidojuma hromoforu relatīvā sadalījuma kartes, bet apakšējā rindā – pigmentēta veidojuma kartes.



3.att. Hromoforu sadalījuma kartes ādas asinsvadu (augšējā rinda) un pigmentētam (apakšējā rinda) veidojumiem. Mēroga nogrieznis 1 cm.

Šie rezultāti ar atsauci uz SOPHIS projekta atbalstu ir publicēti recenzētā 3 lpp. tiešsaistes rakstā ar SCOPUS referenci:

- J.Spigulis, I.Oshina. „3x3 technology for snapshot mapping of skin chromophores”, *OSA Technical Digest*, doi:[10.1364/BODA.2015.JT3A.39](https://doi.org/10.1364/BODA.2015.JT3A.39) (2015).

Pētījumu rezultāti, pieminot SOPHIS atbalstu, ir prezentēti trijās starptautiskās konferencēs:

- J.Spigulis, I.Oshina, „3x3 technology for snapshot mapping of skin chromophores”, *OSA Optics in the Life Sciences* (Vancouver, CA, 12-15/04/2015);

- I.Oshina, J.Spigulis, „Snapshot mapping of skin chromophores at triple-wavelength illumination”, *Developments in Optics and Communications* (Rīga, 10-12/04/2015);

- I.Oshina, J.Spigulis, „Image processing for snapshot mapping of skin chromophores”, *IONS Karlsruhe 2015* (Karlsruhe, DE, 26-29/06/2015).

Par šo tēmu izstrādāts un izcili (10) aizstāvēts LU FMF fizikas bakalaura darbs:

- I.Ošiņa, „Ādas hromoforu kartēšana trihromātiskā lāzeru apgaismojumā” (vadītājs J.Spīgulis).

2. METODIKA SIRDSDARBĪBAS UN ASINSRITES PARAMETRU BEZKONTAKTA MONITORINGAM TUVAJĀ INFRASARKANAJĀ SPEKTRA DIAPAZONĀ.

Piemērotākā ķermeņa daļa šādiem mērījumiem ir plauksta, jo tā ir viegli novietojama videokameras darba rajonā. Uz plaukstas pirkstiem vienlaicīgi var novietot medicīniskās mērierīces, veikt bezkontakta PPG signāla mērīšanu, iedarboties ar siltuma avotiem un reģistrēt temperatūras izmaiņas. Bezkontakta PPG mērījumi veikti 760nm LED apgaismojumā; rezultāti tika salīdzināti ar datiem, kas iegūti zaļā (540nm) LED apgaismojumā. Mērījumu veikšanai tika izvēlēti 24 brīvprātīgie dalībnieki 20 - 35 gadu vecumā. 12 sievietes un 12 vīrieši. Visi brīvprātīgie bija veseli un par problēmām ar sirdi nesūdzējās.

Lai reģistrētu PPG kontaktsignālu, izmantots LU ASI izstrādātais bezvadu pulsoksimetrijas sensors (4.att.).



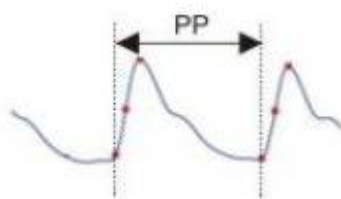
4.att. **Bezvadu PPG uzpirkstenis**



5.att.Programmas «DataScope» ekrāna uzņēmums.

Digitalizētā sensora signāls ar Bluetooth adaptera palīdzību tiek pārraidīts reģistrācijai datorā, izmantojot datorprogrammu «DataScope» (5.att.). Tā arī ir speciāli izstrādāta LU ASI, lai apstrādātu daudzkanālu PPG sensora digitalizēto signālu. Programma «DataScope» ļauj saņemt reālā laikā hemodinamikas rādītājus, reģistrē tos ar laika intervālu un saglabā iegūto datu informācijas failu cietajā diskā.

Programma «DataScope» analizē signāla formu un atrod minimālo vērtību katrā pulsu svārstības periodā. Pulsa periodu PP nosaka kā laika intervālu starp divām minimālajām vērtībām (6.att.).



6.att.Pulsa perioda noteikšanas metode

Ar «DataScope» programmu reālā laikā nosakāmi šādi sirdsdarbības parametri:

HR - sirdsdarbības frekvence (sitieni/min);

HRSD - sirdsdarbības frekvences standartnovirze (sitieni/min);

MMHR - maksimālās un minimālās reģistrētās sirdsdarbības frekvences vērtību starpība (sitieni/min);

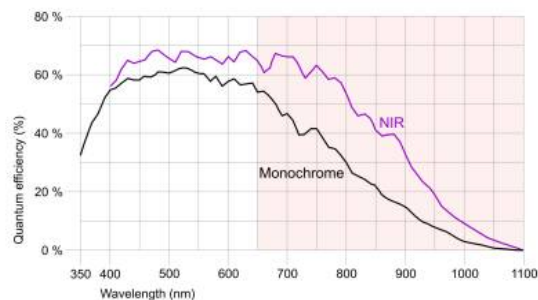
RR - pulsa intervāls (ms);

RRSD - pulsa intervāla standartnovirze (ms);

RMSSD - kvadrātsakne no vidējās blakus esošu RR intervālu starpības kvadrātu summas (ms);

NN50 - secīgu pulsa intervālu starpību, kas lielākas par 50ms, skaits, izteikts procentos (%).

Sensor	
Sensor Technology	CMOS Mono
Manufacturer	e2v
Resolution (MPix)	1.31
Resolution (h x v)	1280 x 1024
ADC	10 bit
Color depth (camera)	8 bit
Pixel Class	SXGA
Sensor Size	1/1.8
Shutter	Rolling shutter/Global shutter/Global start shutter
max. fps in Freerun Mode	25.8
Binning Modes	M/C automatic
Subsampling Modes	-
Sensor Model	EV76C560ABT
Pixel size	5.3 μm
Optical Size	6.784 mm x 5.427 mm
Optical sensor diagonal	8.69 mm (1/1.84")



7.att. Videokameras UI-1242LE raksturlielumi

Bezkontakta PPG signālu reģistrēšanai izmantota CMOS kamera UI-1242LE (7.att.)

Izvirzīto uzdevumu izpildei nepieciešams fiksēt PPG videokameras signālu un salīdzināt to ar signālu no PPG kontaktsensora. Abus signālus fiksē vienādos apstākļos. Par sildīšanas elementiem izmantoti termofors un elektriskais matu žāvētājs. Kā liecina kontroleksperimenta rezultāti, līdz 6-10 grādiem atdzesēta plauksta, sildot ar parasto termoforu, uzsilst līdz istabas temperatūrai (apmēram 22C) 10 minūšu laikā, bet, izmantojot elektrisko matu žāvētāju, to pašu rezultātu var sasniegt 5 minūtēs.

Lai samazinātu eksperimenta kļūdu, katrs mērījums veikts 2-3 reizes pēc sekojoša protokola:

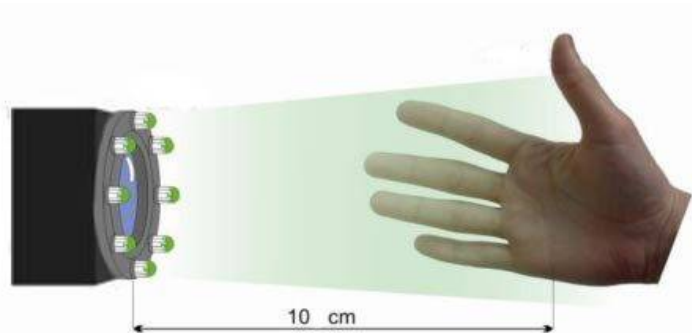
- iegūts kvalitatīvs videosignāls;
- iegūti dati no kontakta PPG sensora;
- veikti ādas temperatūras mērījumi sildīšanas procesā.

Mērījumu norise:

- plauksta ādas atdzesēšana, izmantojot auksto ūdeni vai termogēlu, līdz iespējamai 6-10 grādu temperatūrai;
- rokas plauksta novietošana 10 cm attālumā no videokameras objektīva darbības zonas;
- rokas pirkstu un plauksta fiksācija uz speciāli šim nolūkam izstrādāta paliktņa;
- medicīniskās sensora PPG fiksācija uz plauksta lielā pirksta;

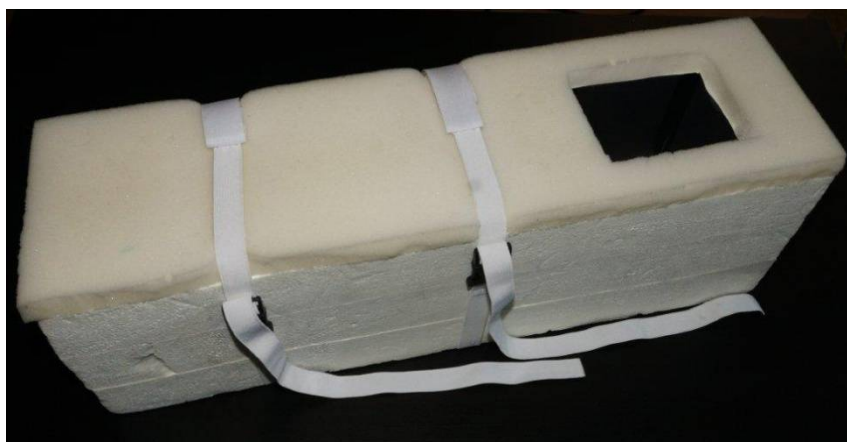
- Sildīšanas elementa novietošana uz plaukstu aizmugures. Eksperimentā ar elektrisko matu žāvētāju gaiss tiek plūsts no aizmugures;
- Mērījumu uzsākšana;
- Videosignāla un mērierīces datu fiksēšana 10 minūšu laikā, bet eksperimentā ar matu elektrisko matu žāvētāju 5 minūšu laikā;
- plaukstu temperatūras mērīšana katru minūti.

Katram brīvprātīgajam tika veikti 3 mērījumi pa 10 minūtēm, ar sildīšanas elementiem uz labās rokas plaukstu, un tādi paši 3 mērījumi kreisās rokas plaukstu. Kā arī sildot ar elektrisko matu žāvētāju 3 mērījumi pa 5 minūtēm labās rokas plaukstu. Visi mērījumi reģistrēti datu bāzē tālākai analīzei.



8.att. Bezkontakta PPG signāla reģistrācija no pacienta rokas.

Eksperimenti pierādīja, ka roka nenogurst, kad tās stāvoklis ir ar delnu uz leju un ar atbalstu zem elkoņa. Rezultātā tika izveidots speciāls rokas balsts (9.att.), kurš fiksē plaukstu virs kameras 10 cm attālumā un reizē atbalsta elkoni. Rokas balsta izgatavošanai tika izvēlēti blīvs putuplasts un porolons. Rokas fiksācijai izmantota plata tekstila gumija ar regulējamiem slēdžiem un tekstila sprādzi.



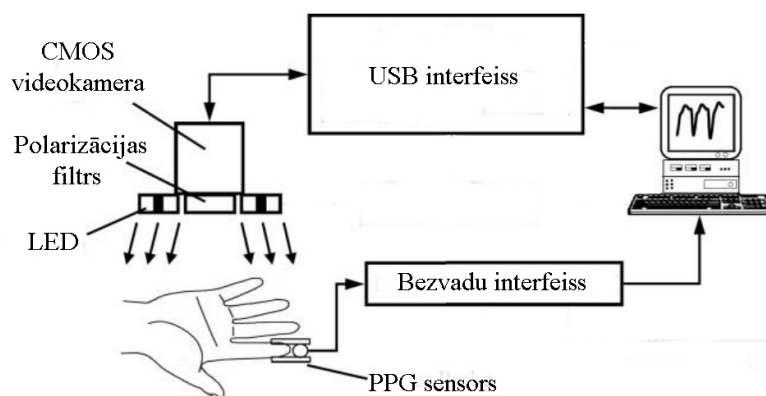
9.att. Rokas balsts

Neskatoties uz rokas fiksāciju, pirksti mērījuma laikā reizēm kustas. Sakarā ar temperatūras izmaiņām plaukstas audos šāda pirkstu kustība notiek refleksīvi. Lai samazinātu pirkstu kustību mērījuma laikā, papildus izgatavots pirkstu fiksētājs (10.att.). Pirkstu fiksatorā izmantota tekstila aizdare, kas ļauj nostiprināt pirkstus, neizdarot stipru spiedienu un ietekmi uz asins plūsmu.



10.att.Pirkstu fiksators

Metodiskās sadaļas noslēgumā sniegta mērījumu blokshēma un roka mērījumu laikā (11.att.).



11.att.bPPG un PPG signālu mērījumu shēma un nofiksēta roka ar PPG kontaktsensoru.

Datorprogrammatūras algoritma apraksts

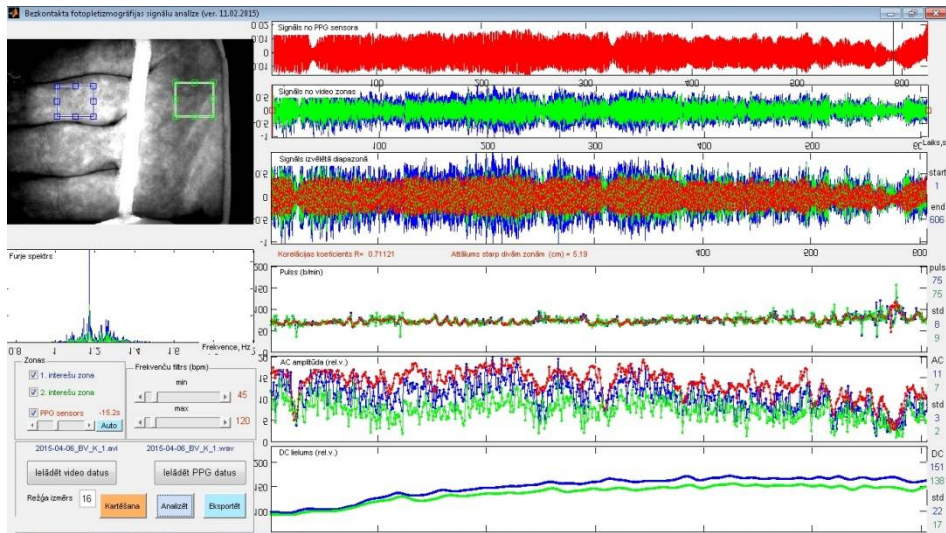
Analīzei izstrādāta datorprogramma uz Matlab bāzes. Šajā programmā var veikt visus nepieciešamos aprēķinus un saglabāt rezultātus vajadzīgajā formā. Mūsu gadījumā ir vajadzīgs modulis, kas atver videosignālu, pārveido to PPG formātā, salīdzina to ar PPG signālu no kontakta sensora, veic nepieciešamos salīdzinājumus un korelācijas.

Darbības soļi šādam modulim ir sekojoši:

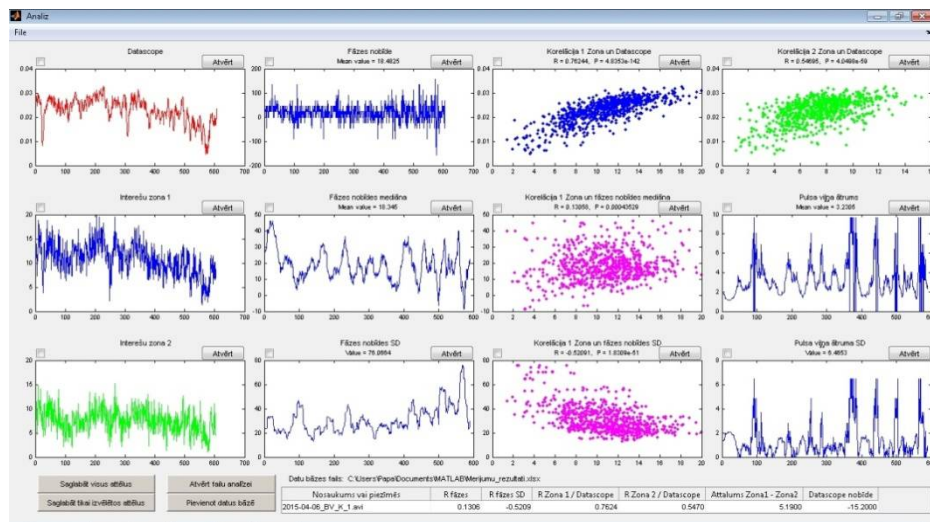
- Ierakstītā videofaila atvēršana un ielādēšana;
- PPG signāla atvēršana un ielādēšana;
- Videosignālam interešu zonu noteikšana ;
- Videosignāla no interešu zonas pārveidošana PPG formātā (veidosim bPPG);
- Furje pārveidošana bPPG signālam. Lai analizētu bPPG signāla frekvenču sastāvdaļas;
- bPPG un PPG signālu sinhronizēšana laikā;
- bPPG un PPG signālu pulsa vērtības noteikšana;
- bPPG un PPG signālu AC un DC sastāvdaļas noteikšana;
- bPPG un PPG signālu parametru attēlošana un salīdzināšana grafikos;
- PPG signāla interpolēšana pēc bPPG datiem;
- bPPG un PPG signālus korelācijas attēlošana un pārbaude, korelācijas koeficientu noteikšana;
- bPPG signāla fāžu nobīdes starp divām interešu zonām noteikšana;
- bPPG signāla fāžu nobīde mediānas (ME) un standarta novirzes (SD) noteikšana;
- fāžu nobīdes (ME) un (SD) korelācijas ar bPPG signālu pārbaude;
- Pulsa viļņa izplatīšanas ātrumu noteikšana;
- Pulsa viļņa izplatīšanas ātrumu mediānas (ME) un standarta novirzes (SD) noteikšana;
- Analīzes rezultātu saglabāšana datu bāzē.

Visi minētie soļi izpildīti programmā, kas ietver divus modulus.

- 1) Ielādes modulis – ielādē videofailu un PPG signālu, pārveido un sinhronizē tos un izpilda pirms analīzes (12.att).
- 2) Otrais modulis – palīdz analizēt ielādētus datus un attēlo tos grafikos (13.att.).



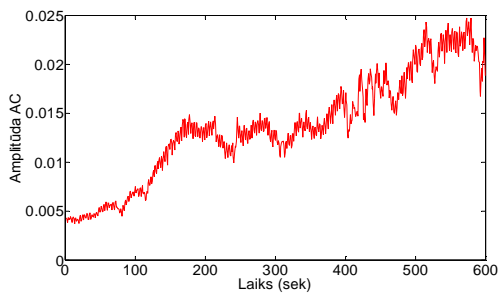
12.att.Datorprogrammas ielādes modulis



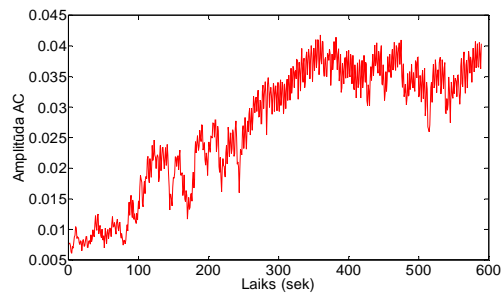
13.att.Datorprogrammas analīzes modulis

Mērījumu rezultāti

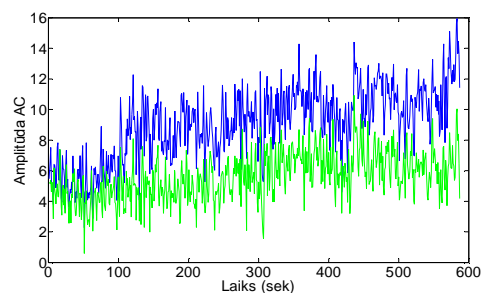
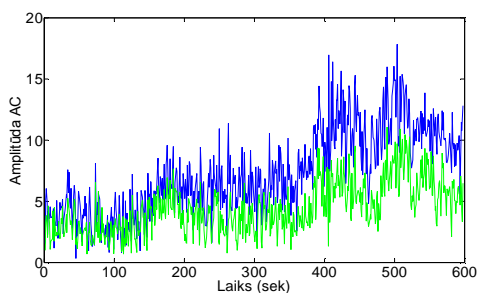
2015-03-12_VS_K_2 mērījums



2015-03-29_GA_K_1 mērījums

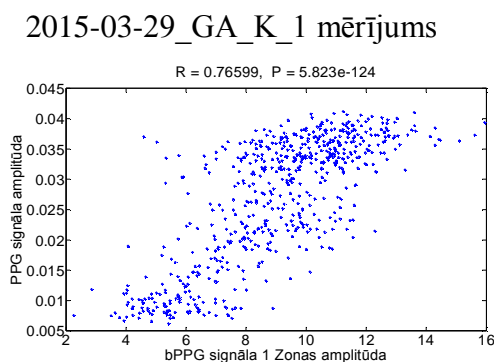
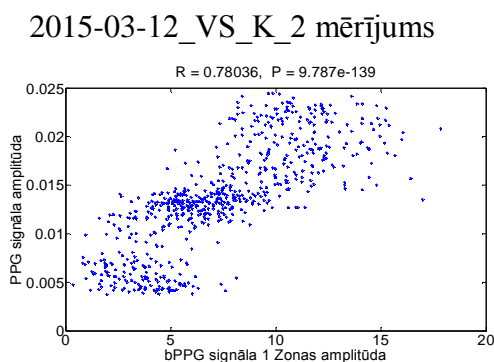


14.att. Kontakta PPG signālu amplitūdas, pieaugot rokas temperatūrai



15.att. **Bezkontakta PPG signāla AC komponente divās atšķirīgās interešu zonās**

Kā redzams no diagrammām, PPG un bPPG metodes sniedz gandrīz identiskus rezultātus; korelāciju grafiki sniegti 16.attēlā.



16.att. **Kontakta un bezkontakta PPG signālu korelācija**

Korelācijas koeficienti par visu mērījuma periodu (10 min) vidēji ir lielāks par 0,7; dažās zonās korelācijas koeficients pat izrādījās lielāks par 0,95.

Par šo tēmu izstrādāts un aizstāvēts LU FMF fizikas maģistra darbs:

- O.Ļašuka. „Pulsa viļņa izplatīšanās ātruma noteikšana ar bezkontakta fotopletizmogrāfijas metodi”.

Iegūtie rezultāti tiek vēl apkopoti un papildināti; tos plānots iesniegt publicēšanai 2.posma laikā. Visumā rezultāti vieš optimismu par bezkontakta fotopletizmogrāfijas iespējām ādas asinsrites monitoringā.