



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Sociālais fonds

Prioritāte: 1.1. Augstākā izglītība un zinātne

Pasākums: 2.1.1.1. Zinātnes un pētniecības potenciāla attīstība

Aktivitāte: 2.1.1.1. Cilvēkresursu piesaiste zinātnei

Projekta nosaukums: "Viedās pilsētas tehnoloģijas dzīves kvalitātes uzlabošanai" (ViPTeh)

Līguma noslēgšanas datums: 16.09.2013.g.

Projekta sākuma datums: 01.09.2013.g.

Projekta beigu datums: 31.08.2015.g.

Vienošanās Nr.2013/0008/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/016

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

ZINĀTNISKĀ PĒTĪJUMA PROGRESU APLIECINOŠA DOKUMENTĀCIJA

Pārskata numurs Nr.5. par periodu no 01.11.2014.g līdz 28.02.2015.g.

<i>Projekta zinātniskais vadītājs:</i>	Kaspars Sudars, Dr.sc.comp., pētnieks
<i>Pētījuma projekta izpildītāju saraksts:</i>	Jurģis Poriņš, Dr.sc.ing., pētnieks
	Ilya Lyashuk, Dr.sc.ing., pētnieks
	Andis Supe, pētnieks
	Sergejs Olonkins, pētnieks
	Igors Homjakovs, Dr.sc.comp., pētnieks
	Krišjānis Nesenbergs, asistents
	Atis Hermanis, asistents
	Ričards Cacurs, programmēšanas inženieris
	Jānis Judvaitis, elektronikas inženieris

ELEKTRONIKAS UN DATORZINĀTŅU INSTITŪTS

Rīga, Latvija
2015.gads

Saturs

Ievads	2
ViPTeh	2
1 LED balstīta attēlu raksturpunktu iegūšana	3
1.1 Ievads	3
1.2 Metode LED punktu iegūšanai no video	3
1.3 Raksturpunktu atrašana, izmantojot ORB	8
1.4 Kopsavilkums	9
2 Optisko pastiprinātāju ieviešana WDM sakaru sistēmā un to parametru pieskaņošana	10
2.1 Ievads	10
2.2 Sakaru sistēma ar pusvadītāju optisko pastiprinātāju	10
2.3 Signāla jaudas noteikšana pastiprinātāja ieejā	11
2.4 Pumpējošās strāvas pieskaņošana	12
2.5 Sakaru sistēmas maksimāla pārraides attāluma noteikšana	14
2.6 Sakaru sistēma ar leģētu šķiedru optisko pastiprinātāju	18
Kopsavilkums	20

Ievads

Anotācija

”Viedās pilsētas tehnoloģijas dzīves kvalitātes uzlabošanai” (ViPTeh) ir ESF atbalstīts projekts zinātnisko grupu veidošanai. Šī projekta zinātniskais mērķis ir viedo pilsētu izpētes ietvaros veikt pētījumus par modernu datu ieguves, datu pārraides un informācijas apstrādes paņēmieniem, kas mērķēti cilvēku dzīves kvalitātes uzlabošanai, tajā skaitā, īpašu uzmanību veltot, jaunas optikas datu pārraides tehnoloģijas izstrādei.

Šajā dokumentā izklāstīts projekta aktivitātēs paveiktais darbs zinātniskajā pētniecībā un rezultāti. Pielikumā ir iekļautas šajā periodā iesniegtās un apstiprinātas zinātniskās publikācijas. Projektu atbalsta Eiropas Savienības fondi, līguma Nr. 2013/0008/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/016.

ViPTeh

”Viedās pilsētas tehnoloģijas dzīves kvalitātes uzlabošanai” (ViPTeh) ir ESF atbalstīts projekts, kura zinātniskais mērķis ir viedo pilsētu izpētes ietvaros veikt pētījumus par modernu datu ieguves, datu pārraides un informācijas apstrādes paņēmieniem, kas mērķēti cilvēku dzīves kvalitātes uzlabošanai, tajā skaitā, īpašu uzmanību veltot, jaunas optisko datu pārraides tehnoloģijas izstrādei.

Par pārskata periodu ViPTeh projekta ietvaros ir veikts zinātniski pētnieciskais darbs sekojošos darbības virzienos:

- Kameru pozīcijas noteikšana telpā, izmantojot LED raksturpunktus
- Optisko pastiprinātāju ieviešana WDM sakaru sistēmā un to parametru pieskaņošana

Turpmākajās nodaļās ir apkopoti galvenie sasniegumi minētajos virzienos.

Nodaļa 1

LED balstīta attēlu raksturpunktu iegūšana

1.1 Ievads

Lai aprēķinātu kameru novietojumu, tad attēlu atbilstošajiem punktiem divās bildēs jābūt precīzi zināmiem. Ņemot to vērā, sākuma solis ir iepriekš definētu LED punktu pozīciju novērtēšana. LED punktu izdalīšanai attēlos tiek izmantota speciāla metode, kas ir aprakstīta tālāk dokumentā un novērtēta, balstoties uz piemēriem. Kameras pozas novērtēšana tiek izdalīta kā atsevišķs solis, jo tipiskās raksturpunktu iegūšanas metodes kā ORB, SIFT, SURF varētu nesniegt pietiekoši labus rezultātus. Kā viena no iespējamajām problēmām ir derīgo raksturpunktu trūkums, tas varētu novest pie pārāk daudz neatbilstošu punktu atrašanās attēlos vai arī atrastie punkti varētu būt pārāk neprecīzi. Kameras pozas novērtēšana, izmantojot iepriekš definētus LED punktus, nodrošina stabilitāti, ka vismaz kādi raksturpunkti tiks atrasti. ORB, SIFT, SURF utt. lietošana var tikt apsvērta pēc kameras pozīciju noteikšanas un kalibrācijas vienkāršai attēlu raksturpunktu triangulācijai 3D telpā.

1.2 Metode LED punktu iegūšanai no video

Tālāk tiek aprakstīta metode kameras pozas noteikšanai. Tā ir bāzēta uz lokālo maksimumu punktu novērošanu noteiktā laika periodā (apstrādājot video failu kadru pa kadram noteiktu laiku). Lai noteiktu LED punktus attēlā mēs izmantojam sekojošu apstrādes shēmu: Sliekšnis → Apgabalu izvēle → Lokālais maksimums → Korelācija → Punkta izvēle.

Lai iegūtu eksperimentālus rezultātus tika izveidots speciāls testa modulis, kas tika aprīkots ar LEDiem. Tas sevī iekļāva LED masīvu, ko kontrolēja Raspberry Pi caur GPIO saskarni, to var redzēt Attēlā 1.1. Tika izveidota programma, lai kontrolētu LED masīvu un veidotu dažādas gaismas spīdēšanas variācijas.

Sliekšnis. Vispirms mēs ierobežojam attēla intensitāti, jo ir zināms, ka LEDiem vajadzētu būt visgaišākajiem attēlā. Sliekšnim vajadzētu atdalīt spīdošus objektus no fona. Mūsu gadījumā mēs lietojam 70-95 % no maksimālās

attēla intensitātes kā robežvērtību (redzams Attēlā 1.2).

$$I^*(u, v) = \begin{cases} I(u, v), & \text{if } I(u, v) > 0.8 \max(I(u, v)) \\ 0, & \text{citos gadījumos} \end{cases} \quad (1.1)$$

kur $I(u, v)$ – attēla intensitāte konkrētā video kadrā; $I^*(u, v)$ – attēls pēc sliekšņa pielietošanas; u and v – attēla rindu un kolonu nummuri $u = \overline{1, U}$, $v = \overline{1, V}$. Attēla izmērs $U \times V$.

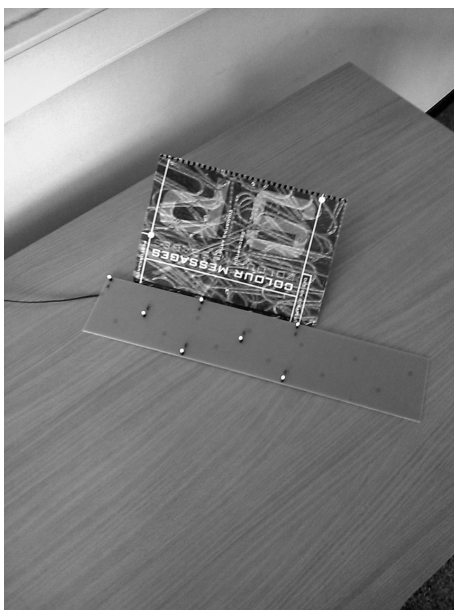
Apgabalu izvēle. Nākošais solis ir interesējošā apgabala izvēle. Mēs lietojam mainīga izmēra pikseļu apgabalus (piem. 64×64) kā logu lai izvēlētos attēla apgabalu. Apgabals tiek bīdīts par pusi no loga garuma (šajā gadījumā 32). Loga izmērs ir atkarīgs no attēla izšķirtspējas un galvenā prasība ir, lai loga izmērs būtu pietiekoši liels, lai tajā ietilptu viens LED punkts, bet pietiekoši mazs, lai izgrieztu citus spīdošus un gaišus apgabalus. Ideāli LED punktam vajadzētu būt vienīgajam logā uz nulles fona.

$$H_{i,j}(a, b) = I^*\left(\frac{i-1}{2}A + a, \frac{j-1}{2}B + b\right) \quad (1.2)$$

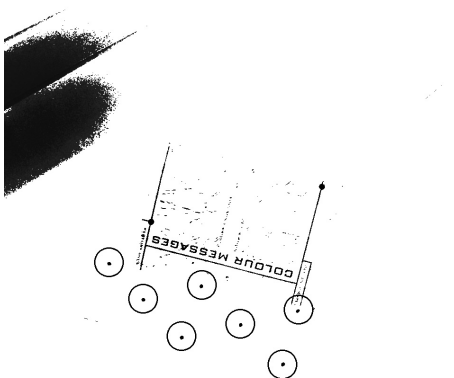
kur $H_{i,j}$ – izvēlētais attēla apgabals; a, b – apgabala elementu indeksi $a = \overline{1, A}$, $b = \overline{1, B}$; i, j – izvēlēta apgabala indakši (loga nummurs); A and B – loga izmērs. Pēc apgabala izvēles tas var tikt atmests, ja neizpildās sekojošs nosacījums:

$$C_1 < \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B H_{i,j}(a, b) < C_2 \quad (1.3)$$

kur C_1 and C_2 – konstantes, kas atbrīvojas no pārgaismotiem apgabaliem un trokšņa. Šie nummuri ir atkarīgi no LED spožuma un tāpēc tos ietekmē attālums starp kameru un LED punktu. Šis kritērijs arī atļauj samazināt aprēķinu slogu tālākā apstrādē. No mūsu eksperimentiem varēja redzēt, ka ir labāk izvēlēties tādus koeficientus, kas ļauj paturēt visus LED punktus un tad atrast tos starp vairākiem kandidātiem, nevis pazaudēt dažus LED punktus mēģinot samazināt kandidātu skaitu.



Att. 1.1: Sākuma attēls



Att. 1.2: Attēls pēc sliekšņa pielietošanas un LED atrašanas

Lokālais maksimums. Pēc apgabalu izvēles mēs izvēlamies lokālo maksimumu koordinātes kā LED punktu kandidātus. Protams, var tikt apsverti arī citi kritēriji. Toties lokālais maksimums ir skaitļošanas ziņā efektīvs kritērijs salīdzināšanai salīdzinot ar piemēram konvolūciju (izvēlēties maksimumu pēc

konvolūcijas). Lokālo maksimumu vērtības ir sekojošas:

$$z_{i,j} = \max(H_{i,j}(a, b)) \quad (1.4)$$

kur $z_{i,j}$ – maksimālā vērtība konkrētajā attēla apgabalā $H_{i,j}$. Lokālo maksimumu koordinātes ir sekojošas:

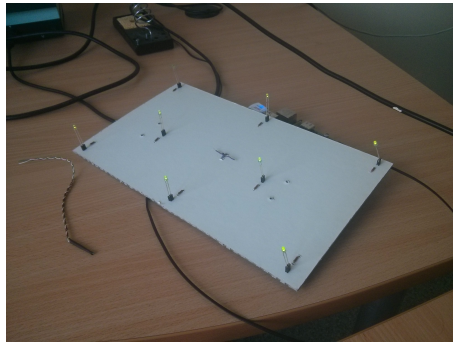
$$p_{i,j} = (l, m) \mid z_{i,j} = I^*(l, m) \text{ and } (i-1)\frac{A}{2} \leq l \leq i\frac{A}{2}, \quad (j-1)\frac{B}{2} \leq m \leq j\frac{B}{2} \quad (1.5)$$

kur $p_{i,j}$ – attēla elementu koordinātes atbilstoši maksimālajām vērtībām katrā attēla apgabala nummurā i, j . Izvēlētajā metodē kandidātu punktu iegūšana tiek veikta izvērtējot 44 testa attēlus (pieejami internetā, izmantojot interneta saiti 1: failiem.lv/u/slmwrxr) un rezultāti ir apkopoti tabulā Tabula 1. Apstrādāto attēlu rezultāti ir pieejami pēc interneta saites 2: failiem.lv/u/mxftlt.

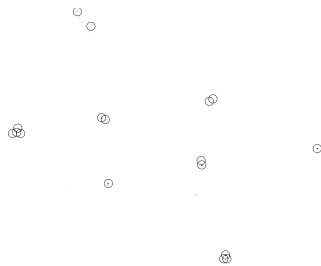
Tabula 1

LED noteikšana	Punkti
Pareizi noteikti LED punkti	308/308
Nenoteikti LED punkti	0/308
Citi punkti noteikti kā LED punkti	>100

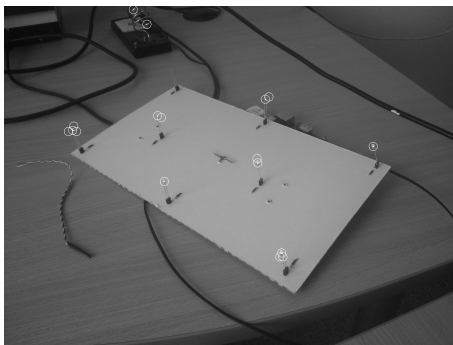
Šeit jāņem vērā gan atkarība no diapazona, apgaismojuma un citiem gaišiem objektiem. Uzrādītie rezultāti varētu strauji kristies kā tas ir gaidīt apskatītajos video: failiem.lv/u/zqbdjrh. Tur ir citi pārgaismoti objekti pārāk tuvu LED punktiem un tāpēc LEDi nevar tikt atdalīti no citiem gaišiem objektiem lietojot lokālo maksimumu.



Att. 1.3: LED punktu noteikšana: Sākuma attēls



Att. 1.4: LED punktu noteikšana: LED punktu kandidāti



Att. 1.5: LED punktu noteikšana: Izvēlētie LED punkti

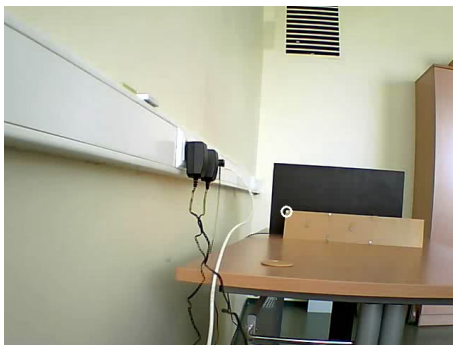
Kandidātu punkti varētu tikt apvienoti izvēloties punktus ar lielāku pikseļa intensitāti vai vidūējot, ja distancē starp tiem ir pārāk maza. Tas samazinātu kandidātu skaitu.

Korelācija un punktu izvēle. Pēc kandidātu punktu izvēles tie tiek novēroti kādu laiku. Kandidāts tiek atzīts par LED punktu, ja tas attēlo pareizos ON-OFF signālus video kadrus.

$$r_{i,j}(t) \in \{0, 1\} \quad (1.6)$$

kur $r_{i,j}(t)$ – ON-OFF signāls atbilstoši kandidāta punkta koordinātēm $p_{i,j}$ kadrus t .

Lai atpazītu LED punktus starp kandidātiem vairāki kritēriji var tikt izmantoti kopā: saskaņotā filtrēšana, Furjē transformācija izvēlētajās frekvencēs, vidējās vērtības tuvu nullei. Uzticamākai darbībai var tikt lietoti Hamminga kodi. Divu kameru gadījumā LED punktam ir liela iespēja tikt redzātam abās kamerās vienlaicīgi. Tas varētu tikt izmantots kā kritērijs korelāciju aprēķināšanai.



Att. 1.6: Līdzīgie LED punkti: Kreisais attēls



Att. 1.7: Līdzīgie LED punkti: Labais attēls

Savos pētījumos mēs izmantojam Furjē koeficientus izvēlētajās frekvencēs pieskaņotus LED punktu mirgošanai. To var redzēt Attēlos 1.6 un 1.7, kur pirmais LED punkts ir redzams abos attēlos (baltie aplī). Apstrādātie video ir pieejami: failiem.lv/u/iihapwg.

1.3 Raksturpunktu atrašana, izmantojot ORB

Lai lokalizētu objektus, mēs izvēlamies izmantot pašreiz vadošo raksturpunktu noteikšanas algoritmu ORB (arī piemērots fundamentālās matricas aprēķināšanai). ORB tiek aprakstīts [1]. Pamatā ORB sastāv no FAST (Features from Accelerated Segment Test) [2] stūru noteicēja un BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features) [2] punktu aprakstītāja, kuri ir stipri modificēti labākas ātrdarbības iegūšanai. Tā kā ORB ir binārs zīmīgo punktu aprakstītājs, tad ir salīdzinoši vienkārši salīdzināt divus zīmīgos punktus, aprēķinot to Heminga distanci [3]. Ja divi zīmīgie punkti no dažādiem attēliem, tad tas dod Haminga distanci mazāku kā mūsu izvēlētais sliekšnis un mēs uzskatām, ka šie abi punkti dažādos attēlos realitātē ir viens un tas pats punkts.

Galvenā ORB ideja ir sekojoša. FAST stūru noteicējs stūru noteikšanu veic pēc pilnās pārslases principa, pārbaudot katru pikseli attēlā. Katram pikselim tiek pārbaudīts vai tas nav kāda stūra centra pikselis. Pārbaude

notiek salīdzinot 16 pikseļus, kas izvietoti aplī ap centra pikseli (tiek izmantots Bresenhama aplis ar rādiusu 3) [2] [4]. Konkrētais centra pikselis tiek atzīts par stūra centra pikseli tad, ja vismaz 12 pēc kārtas esoši pikseļi aplī pēc intensitātes ir lielāki vai mazāki par centra pikseli par noteiktu sliekšni. Šāds piegājiens ļauj optimizēt stūru noteikšanu. Pārbaudot apla pikseļus ar numuriem 1, 9, 5 un 13 pietiek, lai noteiktu vai konkrētais punkts atbilst mūsu nosacījumiem. FAST stūru noteicējs ir ātrs, bet diemžēl tas nesatur nekādu informāciju par stūra orientāciju. Orientācija tiek noteikta, izmantojot vienkāršu un efektīvu stūru orientācijas mērīšanas metodi sauktu par intensitātes centroīdu [5], tā pamatideja ir pieņemt, ka stūra intensitāte ir nobīde no tā centra, tādējādi šis vektors var tikt izmantots intensitātes aprakstīšanai.

Otra ORB daļa ir BRIEF punktu aprakstītājs. BRIEF punktu aprakstītājs ir attēla daļas aprakstīšana, izmantojot bitu virknes, kas iegūtas no vairākiem bināriem intensitātes testiem. Šie testi tiek veikti katram testam izvēloties divus nejaušus pikseļus un salīdzinot to intensitātes, salīdzināšanas rezultātu var aprakstīt ar vienu bitu, attiecīgi vai pirmā pikseļa intensitāte ir lielāka par otrā pikseļa intensitāti. ORB implementācija izmanto 256 šādus pikseļu pārus, attiecīgi katrs punkts tiek aprakstīts ar 256 bitiem. Protams, lai salīdzinātu dažādus punktus, testiem izvēlēto pikseļu koordinātas attiecībā pret centru visiem testiem ir vienādas. BRIEF punktu aprakstītājs ir ātrs un to vajadzētu pielāgot stūra orientācijai no FAST, tādā gadījumā pat pēc rotācijas plaknē binārajiem intensitātes testiem tiktu izvēlēti tie paši pikseļi. Populārāko punktu aprakstītāju un BRIEF salīdzinājumu var atrast [1]. Viegļākais veids kā izmantot ORB ir atrast to OpenCV attēlu apstrādes bibliotēkā.

1.4 Kopsavilkums

Raksturpunktu atrašana 2 attēlos ir būtisks datorredzes uzdevums, lai noteiktu abu attēlu uzņemšanas vietu jeb kameru pozīciju un orientāciju 3D telpā. Nodaļā tika aprakstīta LED balstīta kameru pozīciju kalibrācijas metode, kas atspoguļota publikācijā K.Sudars, R.Cacurs, I.Homjakovs, J.Judvaitis "LEDs based video camera pose estimation", kas iesniegta žurnālam Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences. Tāpat nodaļā tika apskatīta attēlu raksturpunktu noteikšanas alternatīva – ORB metode.

Nodaļa 2

Optisko pastiprinātāju ieviešana WDM sakaru sistēmā un to parametru pieskaņošana

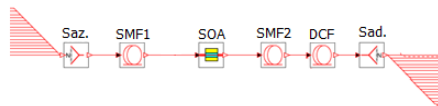
2.1 Ievads

Optisko pastiprinātāju darbības novērtēšanai pastiprinātāji tiks ievietoti izveidotajā sakaru sistēmas modelī kā līnijas pastiprinātāji. Iegūto rezultātu ticamības nodrošināšanai visbūtiskāko optisko pastiprinātāju parametru izvēle tiks veikta ar domu, ka jāiegūst tādu pastiprinātāja konfigurāciju, kas spētu pēc iespējas maksimāli pagarināt pārraides attālumu. Visiem optiskajiem pastiprinātājiem ir jānodrošina vienādi apstākļi rezultātu iegūšanai, tāpēc visu pastiprinātāju gadījumos tiks nodrošināts vienāds ieejas signāla līmenis un netiks mainīts neviens raidītāju bloka vai uztvērēju bloka parametrs.

2.2 Sakaru sistēma ar pusvadītāju optisko pastiprinātāju

Pusvadītāju optiskā pastiprinātāja darbības novērtēšanai tika izmantots OptSim piedāvātais SOA modelis. Tas ir realizēts kā TW-SOA informatīvā starojuma pastiprinātājs ar līdzenu pastiprināšanas spektru, kurā tiek ņemta vērā signāla laika dinamika. Šis modelis ir bāzēts uz optiskā starojuma viļņu izplatīšanas vienādojumu analīzes. Ir būtiski piezīmēt, ka šajā modelī netiek ņemta vērā pastiprinātāja parametru atkarība no pārraidāmā signāla frekvences. Netiek ņemta vērā arī ierīces parametru polarizācijas atkarība, bet optiskā starojuma polarizācija ir ievērota pastiprinājuma piesātināšanas procesā. Šis modelis prognozē dažus ar polarizācijasaistītus efektus, piemēram, SOA četru viļņu mijiedarbības efekta atkarību no pumpējoša starojuma relatīviem polarizācijas stāvokļiem. Tā kā šajā darbā ir paredzēts izpētīt optisko pastiprinātāju darbību kā līnijas pastiprinātāju, pastiprinātājs tika ievietots

shēmā tā, kā tas ir parādīts Attēlā 2.1.



Att. 2.1: Pusvadītāju optiska pastiprinātāja izvietojums simulācijas shēmā.

Tabula 2: Pusvadītāju optiska pastiprinātāja materiālu parametri

Parametrs	Lielums
Pastiprinātāja garums	$750 \cdot 10^{-6}$ m
Aktīvā slāņa platums	$2 \cdot 10^{-6}$ m
Aktīvā slāņa biezums	$0.2 \cdot 10^{-6}$ m
Gaismas ierobežošanas faktors	0.41
Līmeņa spontālais dzīves laiks	0.3 Ns
Brīvo nesēju koncentrācija	$1.5 \cdot 10^{18}$ cm ⁻³
Materiāla pastiprinājuma koef.	$2.1 \cdot 10^{-16}$ cm ²
Joslas paplašināšanas faktors	3
Materiāla ienestie zudumi	10.5 cm ⁻¹
Ienestie zudumi ieejā	3 dB
Ienestie zudumi izejā	3 dB

Maksimāla pārraides attāluma iegūšanai ir nepieciešams izvēlēties pusvadītāju pastiprinātāja parametrus. Tika pieņemts, ka aktīva slāņa ģeometriskie parametri un materiāla īpašību raksturojošie parametri ir tādi paši kā, kur ir aprakstīts InGaAlAs pusvadītāju optiskā pastiprinātāja optimāls modelis 20 kanālu DWDM sakaru sistēmai ar RZ-DPSK modulācijas formātu, 10 Gb/s pārraides ātrumu kanālā un 50 GHz starpkanālu intervālu. Visas iestādītās SOA parametru vērtības var aplūkot Tabulā 2. Vispiemērotākais pumpēšanas strāvas lielums šādai pastiprinātāja konfigurācijai ir 400 mA, kas arī tika iestādīts kā pagaidu lielums un tiks precizēts vēlāk šī darba ietvaros.

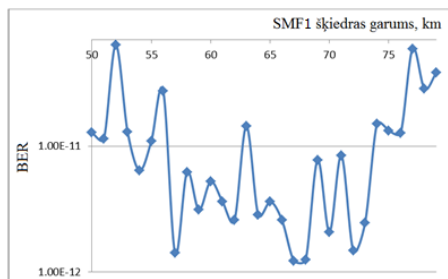
Ievadot augstāk parādītās pastiprinātāja parametru vērtības, tika iegūts, ka piesātinājuma jauda ir 19.85 dBm, tāds pats rezultāts arī tika novērots.

2.3 Signāla jaudas noteikšana pastiprinātāja ieejā

Realizējot sistēmu ar pusvadītāju optiskajiem pastiprinātājiem, ir ļoti svarīgi pareizi izvēlēties signāla jaudu pastiprinātāja ieejā, jo, palielinoties signāla jaudai, ierosināto nesēju skaits aktīvā slānī samazinās, kas savukārt noved pie pastiprinājuma samazināšanās. Šis process, kuru mēdz saukt par pastiprinātāja piesātinājumu, var izraisīt būtiskus signāla kropļojumus un ierobežot sasniedzamo pastiprinājumu gadījumā, kad pastiprinātājs tiek pielietots daudzkanālu sistēmā.

Šī iemesla dēļ ir svarīgi atrast tādu ieejas signāla līmeni, kurā balance starp signāla pastiprinājumu, trokšņiem un citiem signāla kropļojumiem spētu nodrošināt labāko pārraides kvalitāti jeb minimālo BER lielumu uztverošā galā.

Šim nolūkam SOA pastiprinātājs tika ievietots līnijā 40 km attālumā no uztvērēju bloka, un tika mainīts SMF šķiedras garums, kas atrodas starp raidītāju bloku pastiprinātāju. Iegūtie rezultāti ir atspoguļoti attēlā 2.2.



Att. 2.2: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no SMF šķiedras garuma starp raidītāju bloku un SOA, pie 50 km garas SMF šķiedras starp SOA un uztvērēju bloku un 15 km garas DCF šķiedras.

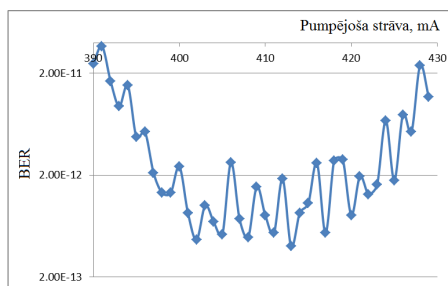
Šāds atkarības raksturs var būt paskaidrojams ar to, ka, palielinot līnijas garumu pirms optiskā pastiprinātāja, mainās ne tikai pati pastiprinātāja uzvedība, bet arī palielinās vājinājuma un dispersijas ietekmes, kuras nav absolūti identiskas visiem kanāliem. Pusvadītāju optiskie pastiprinātāji ir stipri nelineāras ierīces, un, mainot ieejas signāla līmeni, mainās arī pastiprinātāja nelineārā reakcija. Tātad 2.2 Attēlā atspoguļotie rezultāti ir atkarīgi no vairākiem faktoriem, ar ko arī tiek pamatots šāds raksturlienes raksturs.

Balstoties uz 2.2 Attēlā redzamajiem rezultātiem, tika pieņemts lēmums pusvadītāju optisko pastiprinātāju izvietot 72 kilometru attālumā no raidītāju bloka, kur kanālu jaudas maksimumu līmeņi svārstās diapazonā no -22.42 līdz -22.34 dBm, bet kopējā ieejas signāla jauda sasniedz -8.362 dBm (0.146 mW).

2.4 Pumpējošās strāvas pieskaņošana

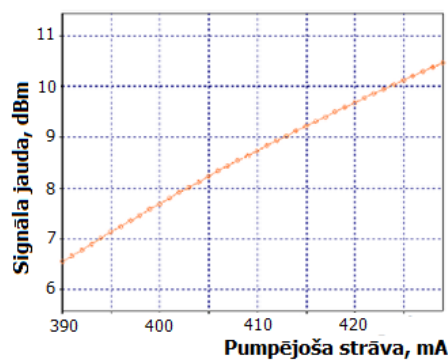
Jebkura tipa pastiprinātājam lielu lomu spēlē pumpējošā enerģija. Mūsu izmantotajā modeli šī enerģija ir elektriskā strāva. Gadījumā, ja strāvas lielums ir pārāk mazs, tiks ierosināts nepietiekams nesēju skaits efektīvai ieejas signāla pastiprināšanai. Ja strāvas lielums būs pārmērīgs, tad pastiprinātājs radīs lielāku trokšņu un signāla kropļojumu daudzumu, kas var būtiski pasliktināt signāla-trokšņu attiecību.

Pumpēšanas strāvas noteikšanai par galveno kritēriju tika izvēlēta uztvērēju blokā maksimālās iegūtās BER vērtības atkarība no pumpēšanas strāvas vērtības. Iegūtā raksturliene ir aplūkojama 2.3 Attēlā.

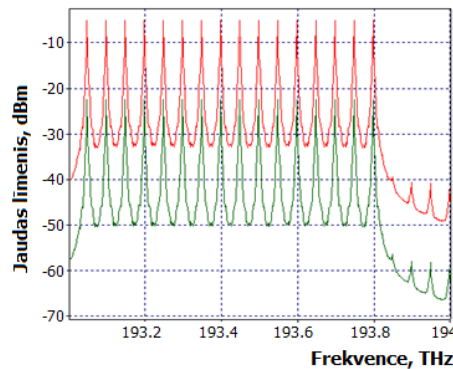


Att. 2.3: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no pumpēšanas strāvas lieluma.

Iegūtās sakarības raksturu var skaidrot gan ar BER vērtības aprēķinu nenoteiktību, gan ar to, ka, palielinoties pumpēšanas strāvai, pieaug arī augstāka enerģētiskā līmeņa populācija. Pusvadītāju optiskajos pastiprinātājos, palielinoties augstāka līmeņa populācijai, pieaug ne tikai derīga signāla pastiprinājums, bet arī pastiprinātas spontānas emisijas radīto trokšņu lielums, jo enerģētiskā līmeņa spontānais dzīves laiks aktīvajā slānī ir ļoti īss.



Att. 2.4: Pastiprinātā signāla jaudas atkarība no pumpēšanas strāvas lieluma.

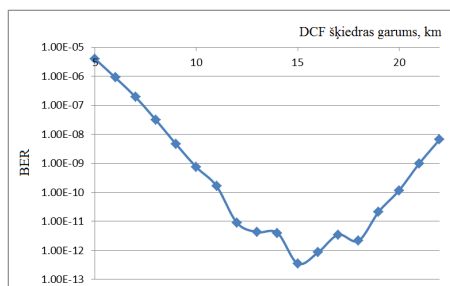


Att. 2.5: Spektru salīdzinājums pastiprinātāja ieejā(zaļš) un pastiprinātāja izejā(sarkans).

Pie šāda secinājuma var nonākt, aplūkojot 2.3 un 2.4 Attēlus. Ir redzams, ka, sākot ar noteiktu pumpēšanas strāvas vērtību, BER vērtība sāk strauji palielināties, bet pastiprinātāja izejas jaudas lielums turpina palielināties, kas liecina par pastiprinātāja radīto trokšņu un citu signāla kropļojumu pieaugumu. Diemžēl izmantotais pastiprinātāja modelis nedod iespēju novērtēt signāla pastiprinājumu un radītos trokšņus. No iegūtās raksturliknes ir redzams, ka balance starp signāla pastiprinājumu un pārraides kvalitāti degradējošiem faktoriem ir diapazonā no 400 līdz 420 mA. Tika izvēlēta pumpēšanas strāvas vērtība 413 mA, jo tā nodrošināja vismazāko sistēmas maksimālo BER vērtību. Šādas optiskā pastiprinātāja konfigurācijas radīto pastiprinājumu var novērtēt 2.5 Attēlā. Iegūtais optiskā signāla pastiprinājums pie esošās SOA konfigurācijas sasniedz 17.4 dBm, un tas ir spēkā visā pārraidē izmantotā frekvenču diapazonā (193.05 – 193.8 THz).

2.5 Sakaru sistēmas maksimāla pārraides attāluma noteikšana

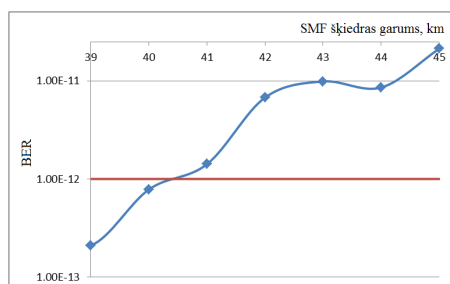
Pirms mēģina noteikt maksimālo pārraides attālumu, ir jāizmaina dispersiju kompensējošas šķiedras garums tā, lai pēc iespējas likvidētu dispersijas ietekmi un neienestu pārāk lielu optiskā signāla vājinājumu. Šim nolūkam tika mainīts DCF šķiedras garums diapazonā no 5 līdz 22 kilometriem un novērots maksimālais sastopamais starp visiem kanāliem BER lielums. Tika meklēts tāds DCF šķiedras garums, pie kura BER lielums būtu minimāls. Šis minimuma punkts atbilst DCF šķiedras garumam, pie kura dispersijas ietekme kļūst mazāka par DCF šķiedras ienesta vājinājuma radīto ietekmi uz sistēmas veiktspēju. Iegūtie rezultāti ir apkopoti 2.6 Attēlā.



Att. 2.6: Maksimālās starp visiem kanāliem BER vērtības atkarība no DCF šķiedras garuma.

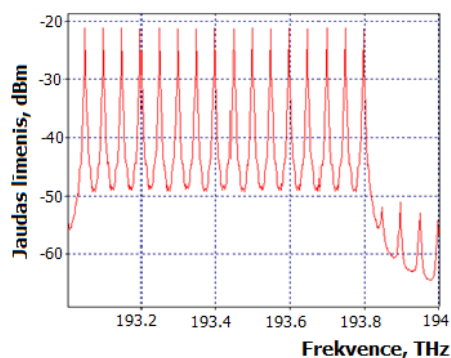
Ir redzams, ka minimuma punkts atbilst 15 kilometru garai DCF šķiedrai. Pie šāda DCF šķiedras garuma maksimālais BER, kas ir satopams uztvērēju blokā, ir 3.55×10^{-13} , un tas tika konstatēts 4. kanālā.

Maksimālā pārraides attāluma noteikšanai sakaru sistēmā ar pusvadītāju optisko pastiprinātāju ar soli 1 km tika palielināts SMF optiskās šķiedras garums starp pastiprinātāju un uztvērēju bloku. Tika noteikts tāds maksimālais garums, pie kura visos kanālos BER lielums būtu mazāks par 1×10^{-12} . Sistēmas maksimālās starp visiem kanāliem BER vērtības atkarība no SMF šķiedras garuma ir atspoguļota 2.7 Attēlā.



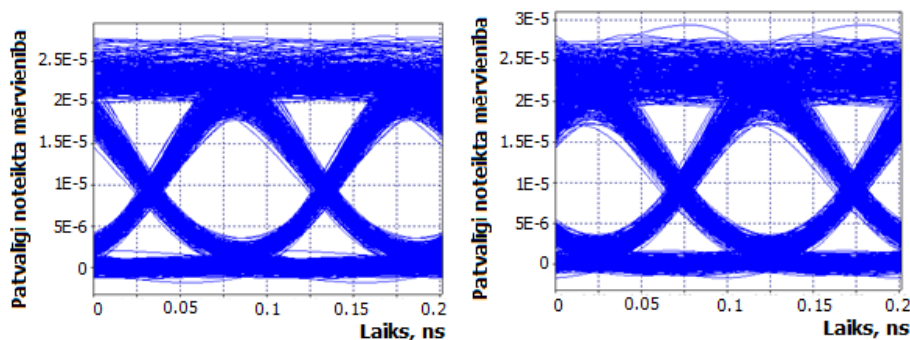
Att. 2.7: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no SMF šķiedras garuma.

Ir redzams, ka esošā pārraides sistēmas konfigurācija spēj apmierināt nosacījumu, ka BER līmenim ir jābūt mazākam par 10×10^{-12} , kā arī SMF šķiedras garums starp pastiprinātāju un uztvērēju bloku nepārsniedz 40 km. Signāla spektrs pārraides līnijas izejā ir atspoguļots 2.8 Attēlā.



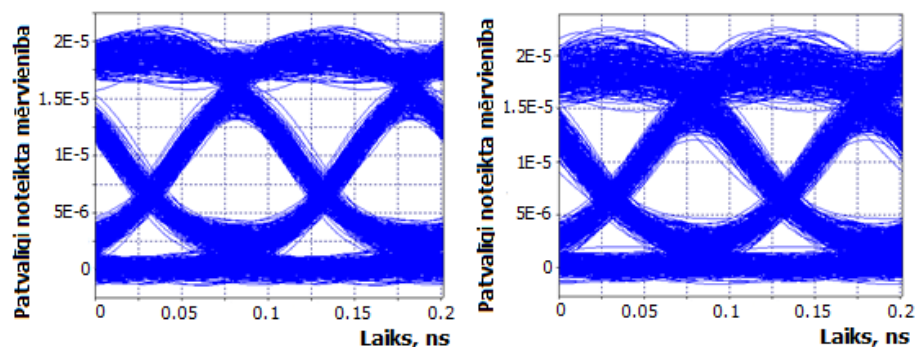
Att. 2.8: Signāla spektrs līnijas izejā pie kopēja pārraides attāluma 112 km un DCF šķiedras garuma 15 km.

Ir redzams, ka signāla līmenis ir virs minimāli nepieciešamās vērtības, bet BER lielums ir tikai nedaudz mazāks par kritisko lielumu. To var izskaidrot ar pastiprinātāja radītajiem trokšņiem. Svarīgi arī ir piezīmēt nelineāro efektu izpausmes ietekmi uz pārraidāmā signāla kvalitāti. Ir novērojams, ka FWM radīto spektrālo komponentu īpatsvars palielinājās, salīdzinot ar signāla spektru pastiprinātāja izejā, un sasniedza -51.72 dBm vērtību. Tas parāda, ka pat 17.4 dB pastiprinājums pie esošās sistēmas konfigurācijas ir pietiekams nelineāro efektu izraisīšanai un to ietekmes uzkrāšanai. Acu diagrammas, kuras tika iegūtas kanālos, kur tika konstatētas vismazākā un vislielākā BER vērtības, ir atspoguļotas 2.9 Attēlā.



Att. 2.9: Uztvērta signāla acu diagrammas 13. kanālā ($1,36 \cdot 10^{-14}$, pa kreisi) un 9. kanālā ($7,85 \cdot 10^{-13}$, pa labi).

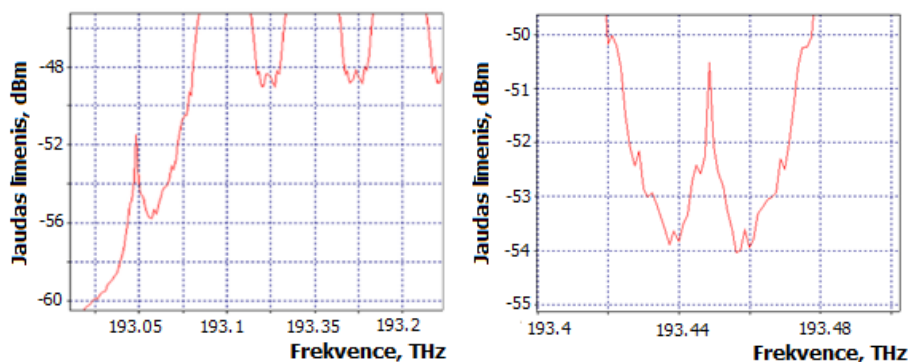
No 2.9 Attēla ir redzams, ka pastiprinātāja radītie ASE trokšņi būtiski ietekmēja pārraidāmā signāla kvalitāti. Uz to norāda loģiska „1” līmeņa biezums abu kanālu gadījumos. Apkopojot iegūtos rezultātus, tika konstatēts, ka ar esošo pusvadītāju optiskā pastiprinātāja konfigurāciju ir iespējams iegūt 17.4 dB pastiprinājumu, kas ļauj palielināt pārraides attālumu no 69 km līdz 112 km. Tātad ienestais pārraides attāluma pagarinājums ir 43 km.



Att. 2.10: 9. kanālā pārraidītā optiskā signāla acu diagrammas ar pielīdzinātiem intensitātes līmeņiem pusvadītāju optiskā pastiprinātāja ieejā (pa kreisi) un izejā (pa labi).

Pusvadītāju optiskā pastiprinātāja radīto informatīva signāla kropļojumu novērtēšanai tika apskatītas 9 kanālu acu diagrammas pirms un pēc optiskā pastiprinātāja. Signāls pastiprinātāja izejā tika speciāli novājināts iegūtā pastiprinājuma ietekmes kompensēšanai un līdz ar to pastiprinātāja ieejas un izejas signālu līmeņu izlīdzināšanai. Iegūtās acu diagrammas ir aplūkojamas 2.10 Attēlā.

No iegūtajām acu diagrammām ir redzams, kā pēc iziešanas caur pusvadītāju optisko pastiprinātāju palielinājās četru viļņu mijiedarbes ietekme uz pastiprināmo signālu. Šī ietekme izpaužas kā intensitātes pacēlumi virs bināra „1” līmeņa. Ir arī novērojams, ka palielinājās ASE radīto trokšņu lielums, uz ko norāda bināra „1” līmeņa paplašināšanās. Konstatēta arī pāreju paplašināšanās starp loģisko „0” un loģisko „1”. Tas liecina par to, ka pastiprinātāja pārvades funkcija rada no frekvences atkarīgus fāzes izkropļojumus optiskā signāla, kas noved pie impulsu paplašināšanās laika apgabalā. Starppkanālu šķērštraucējumu un citu trokšņu ietekmes novērtēšanai tika lemts izslēgt kāda konkrēta kanāla raidītāju un aplūkot spektru līnijas galā. Vispirms, lai iegūtu priekšstatu par situāciju sānu kanālu gadījumā, tika izslēgts 1. kanāla raidītājs, un nākamā simulācijā, lai noskaidrotu to pašu centrālo kanālu gadījumā, tika izslēgts 9. kanāla raidītājs. Iegūtie rezultāti ir parādīti 2.11 Attēlā.



Att. 2.11: Starpkanālu šķērstraucējumu ietekme 1. kanālā (pa kreisi), un 9. kanālā (pa labi).

Starpkanālu šķērstraucējumu vērtība 1. kanālā sasniedz -51.45 dBm līmeni, bet 9. kanālā -50.05 dBm. Šo šķērstraucējumu līmenis papildus tiek paaugstināts ar pusvadītāju pastiprinātāja radītajiem trokšņiem. Šķērstraucējumu līmeņu atšķirību starp 1. un 9. kanālu var skaidrot ar to, ka četru viļņu mijiedarbe vairāk izpaužas centrālo kanālu gadījumā, jo uz tiem iedarbojas abās malās novietotie kanāli. Sānu kanālu gadījumā tikai no vienas malas izvietotie kanāli iedarbojas, pie tam ne visi, jo četru viļņu mijiedarbes ietekme samazinās, palielinoties intervālam starp FWM iesaistītajiem kanāliem. Kad SMF šķiedrās šis intervāls pārsniedz 1 nm, FWM jau neienes tik lielus trokšņus, lai tie būtiski ietekmētu sistēmas darbību.

2.6 Sakaru sistēma ar leģētu šķiedru optisko pastiprinātāju

Leģēto šķiedru optiskā pastiprinātāja darbības novērtēšanai tika izmantots Optsim piedāvātais „Fiziskais” EDFA modelis. Tika izvēlēts tieši šis modelis, jo tas detalizēti atspoguļo pastiprinātāja piesātinājumu un signāla pastiprinājuma frekvenču atkarību. Šis modelis pieņem, ka pie katra viļņa garuma emisijas un absorbcijas koeficienti var tikt iegūti, sareizinot emisijas un absorbcijas spektru šķērsgrizumus ar koeficientu, kas ir atkarīgs no šķiedras leģēšanas blīvuma un šķērsgrizuma efektīva laukuma, bet nav atkarīgs no pastiprināmā signāla momentānas optiskās jaudas vai frekvences. Fiziskais EDFA modelis prasa specificēt dažus parametrus, kurus var sadalīt divās pamatgrupās: 1 – Parametri, kuri raksturo tieši optisko pastiprinātāju: leģētas šķiedras garums, pastiprinātāja ieejas un izejas savienojumu radītie zudumi, pumpējoša starojuma viļņa garums, virziens un jauda. 2 – Parametri, kas apraksta leģētas šķiedras fiziskas īpašības: piesātinājumam nepieciešama jauda, emisijas un absorbcijas koeficientu atkarība no starojuma frekvences, un optiskie zudumi uz 1 leģētas šķiedras metru. Šie parametri tiek specificēti datu failos. EDFA „Fiziskā” modelī pie 980 nm pumpējoša starojuma viļņa garuma datu failā „DOPEDFIB.DAT” šķiedras emisijas un absorbcijas parametri ir vienādi diapazonā no 800nm līdz 1450nm, tātad iespējams, ka tie nav pietiekami precīzi aprakstīti, lai varētu teikt, ka simulācijas rezultāti varētu precīzi

aprakstīt reālo situāciju. Šī iemesla dēļ 980 nm pumpējošais starojums netiks atsevišķi izmantots, bet tiks izmantots tikai pastiprinātāja modelī ar abpusējo pumpēšanu, lai salīdzinātu pastiprinātāja darbības pie garenvirziena, pretēja virziena un abpusējas pumpēšanas. Gadījumos ar vienvirziena pumpēšanu tiks izmantots 1480 nm pumpējošais starojums. Neskatoties uz to, ka EDFA pastiprinātāja efektivitātei, tāpat kā pusvadītāju pastiprinātāja gadījumā, ieejas signāla līmenis ir ļoti svarīgs, lai nodrošinātu vienādus apstākļus pastiprinātāju darbības novērtēšanai, tas tiks ievietots 72 km attālumā no raidītāju bloka. No parametriem, kas raksturo tieši optisko pastiprinātāju, netiks pieskaņoti tikai ieejas un izejas savienojumu ienesto zudumu lielumi, visi pārējie pastiprinātāja parametri tiks pieskaņoti zemāk. Ieejas un izejas savienojumu radīto zudumu lielums ir 1.2 dB un 0.8 dB attiecīgi. Tika pieņemtas tādas vērtības, jo EDFA optisko pastiprinātāju tipiskais savienojumu ienesto zudumu lielums ir 2 dB. Ieejas savienojuma zudumi ir lielāki, jo pastiprinātāja ieejā notiek pāreja no šķiedras ar lielāko efektīvo laukumu uz šķiedru ar mazāko efektīvo laukumu, bet izejā ir pretēja situācija. Parametri, kas raksturo leģēto šķiedru, ir aprakstīti datu failā „DOPEDFIB.dat” un ir apkopoti sekojošā tabulā.

Tabula 3: Leģēto šķiedru raksturojošie parametri

Parametrs	Lielums
Frekvenču diapazons	800 – 1450 nm vai 1450 – 1600 nm
Piesātinājuma jauda	$8.67 \cdot 10^{14} \text{ W/m}^2$
Emisijas koef. [dB/m]	0 vai Min: 0.0189 (1450); Max: 7.442 (1533)
Absorbcijas koef.[dB/m]	3.49167 vai Min: 0.1046 (1450); Max: 7.547(1532)
Vājinājums [dB/m]	0.0250

Kopsavilkums

Galvenās zinātniskās darbības, kas paveiktas projekta "Viedās pilsētas tehnoloģijas dzīves kvalitātes uzlabošanai" (ViPTeh) aktivitāšu 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 un šī pārskata perioda ietvaros:

- publikācijas K.Sudars, R.Cacurs, I.Homjakovs, J.Judvaitis "LEDs based video camera pose estimation" sagatavošana un iesniegšana žurnālam Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences;
- pētījums par optisko pastiprinātāju ieviešanu WDM sakaru sistēmā un to parametru pieskaņošanu.

Tālāk paredzēts turpināt darbu pie zinātniskās pētniecības viedo pilsētu tehnoloģiju jomā.

Literatūra

- [1] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige and G. Bradski. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF, http://www.vision.cs.chubu.ac.jp/CV-R/pdf/Rublee_ccv2011.pdf.
- [2] E. Rosten. FAST Corner Detection, <http://www.edwardrosten.com/work/fast.html>.
- [3] R.W. Hamming. Error detecting and error correcting codes. *The Bell System Technical Journ.*, 29, 1950.
- [4] J.E. Bresenham. Algorithm for computer control of a digital plotter. *IBM SYSTEMS JOUR.*, 4, 1965.
- [5] P.L. Rosin. Measuring corner properties. *Computer Vision and Image Understanding*, 73:291–307, 1999.