



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



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.6. par periodu no 01.03.2015.g līdz 31.06.2015.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 3D punktu rekonstrukcijas eksperimentālie rezultāti	3
1.1 Ievads	3
1.2 LED punktu 3D rekonstrukcijas precizitātes novērtēšana	3
1.3 Objektu lokalizācijas eksperimentālie rezultāti	6
2 Ar erbiju leģētas šķiedras garuma izvēle	9
2.1 Ievads	9
2.2 EDFA pumpējošā starojuma un maksimālā pārraides attāluma noteikšana	11
Kopsavilkums	19

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:

- Objektu 3D punktu rekonstrukcijas no attēliem eksperimentālie rezultāti
- Ar erbiju leģētas optiskās šķiedras garuma izvēles analīze

Turpmākajās nodaļās ir apkopoti galvenie sasniegumi minētajos virzienos.

Nodaļa 1

3D punktu rekonstrukcijas eksperimentālie rezultāti

1.1 Ievads

Šajā nodaļā tiek apskatīts sekojošu 3D punktu rekonstrukcijas metožu eksperimentāls salīdzinājums: 1) kad kameru kalibrēšana tiek veikta, izmantojot fundamentālo matricu un 2) izmantojot iepriekš zināmus LED punktus priekš kameru pozīcijas telpā kalibrācijas. Pēc kameras pozīcijas noteikšanas tiek rekonstruēti 3D punkti, izmantojot attēlu raksturpunktus, kas iegūti, izmantojot ORB punktu izdalīšanas metodi. Lai noteiktu 3D punktu rekonstrukcijas precizitāti, tie tiek salīdzināti arī ar definēta lieluma etalon-objektu.

1.2 LED punktu 3D rekonstrukcijas precizitātes novērtēšana

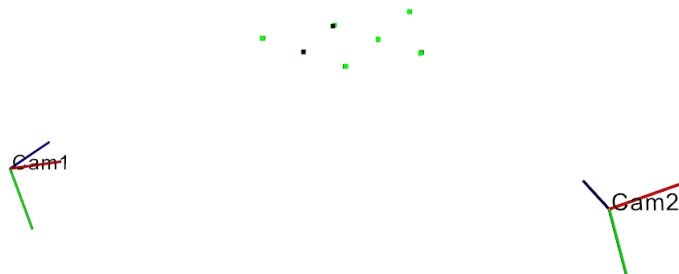
Lai novērtētu LED punktu 3D rekonstruēšanas precizitāti, tika izmantota lokalizācijas sistēma, kas sastāv no divām video kamerām. No kamerām tiek iegūti attēli ar ātrumu 30 kadri sekundē, attēlu izšķirtspēja ir 640x480 pikseli un dati tiek straumēti MPEG-4 formātā. Video kameru novietojums ir redzams 1.1 attēlā.



Att. 1.1: Objektu lokalizācijai izmantotās video kameras.

Kameru iekšējo parametru matricas tiek atrastas, izmantojot OpenCV attēlu apstrādes bibliotēkas, veicot kameru kalibrēšanu. Kā kalibrēšanas objekts tiek izmantots melnbalts šaha dēlis.

Lai noteiktu kameru pozīcijas 3D koordinātēs, tika izmantots no LED veidots objekts, kam ir zināmas punktu koordinātes un tās salīdzinātas ar no attēliem rekonstruētajām 3D punktiem.



Att. 1.2: Kameras pozīcijas un 3D punktu rekonstruēšana, izmantojot zināmus LED objektus. Melnie punkti ir kalibrēšanas objekta rekonstruētās koordinātes, zaļie punkti ir kalibrēšanas objekta reālās koordinātes.

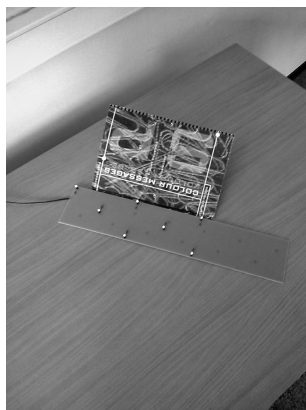
Attēlā 1.2 redzamas rekonstruētās kameru pozīcijas, kā arī attēlotas kameru koordinātu sistēmas asis katrai kamerai, redzami arī rekonstruētie 3D punkti LED objektam. Rekonstrukcijas precizitāte var tikt novērtēta ar Eiklīda distanci (1.1):

$$d_i(p, p_{rec}) = \sqrt{(x - x_{rec})^2 + (y - y_{rec})^2 + (z - z_{rec})^2} \quad (1.1)$$

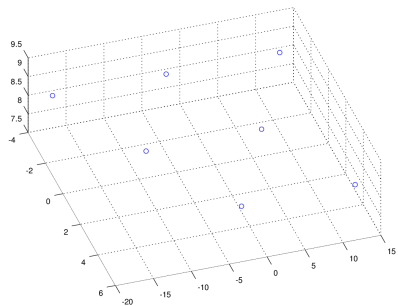
Vienādojumā $d_i(p, p_{rec})$ ir attālums telpā starp rekonstruētajiem punktiem un īstajiem punktiem, x, y, z ir īsto punktu atbilstošās koordinātes un $x_{rec}, y_{rec},$

z_{rec} ir rekonstruēto punktu koordinātes 3D telpā. Rekonstruēto punktu RMS kļūda ir 1.7 mm un maksimālā kļūda ir 8.5 mm.

Tie paši LED punkti var tikt rekonstruēti, izmantojot fundamentālo matricu (neizmantojot zināšanas par LED punktu savstarpējo atrašanos telpā). Pēc datorsimulācijas rezultāti ar šo 3D punktu rekonstruēšanas metodi var tikt sasniegti labāki vienīgi, kad attēlu punktu izdalīšanas kļūda (novirze) ir relatīvi maza (līdzvērtīga dažiem pikseliem). Lai iegūtu precīzu 3D punktu rekonstrukciju, izmantojot fundamentālās matricas pieeju, ir jādoma par LED punktu koordinātu noteikšanas precizitātes uzlabošanu.



Att. 1.3: Datora simulācijas LED punktu rekonstruēšanai, izmantojot fundamentālo matricu: Attēls ar LED punktiem

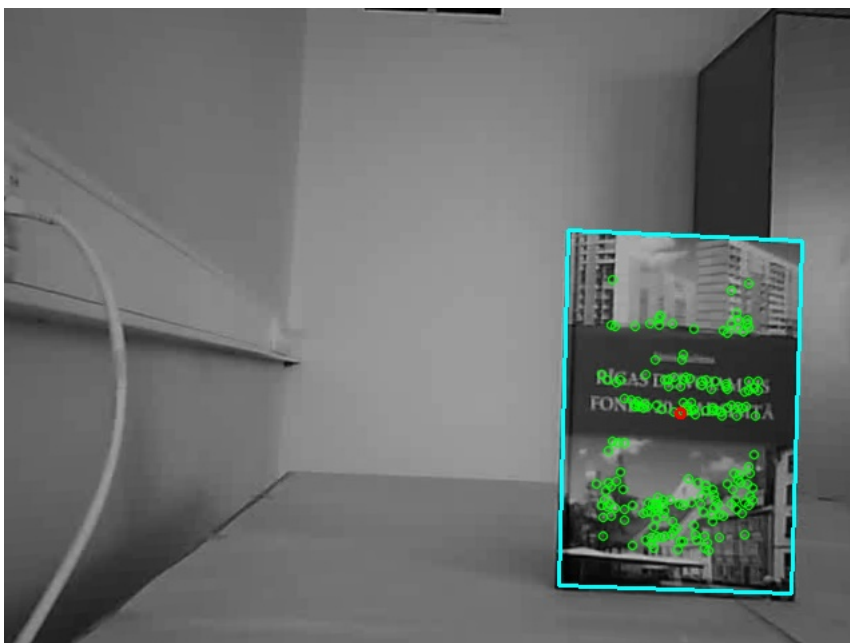


Att. 1.4: Datora simulācijas LED punktu rekonstruēšanai, izmantojot fundamentālo matricu: Rekonstruētie LED punkti

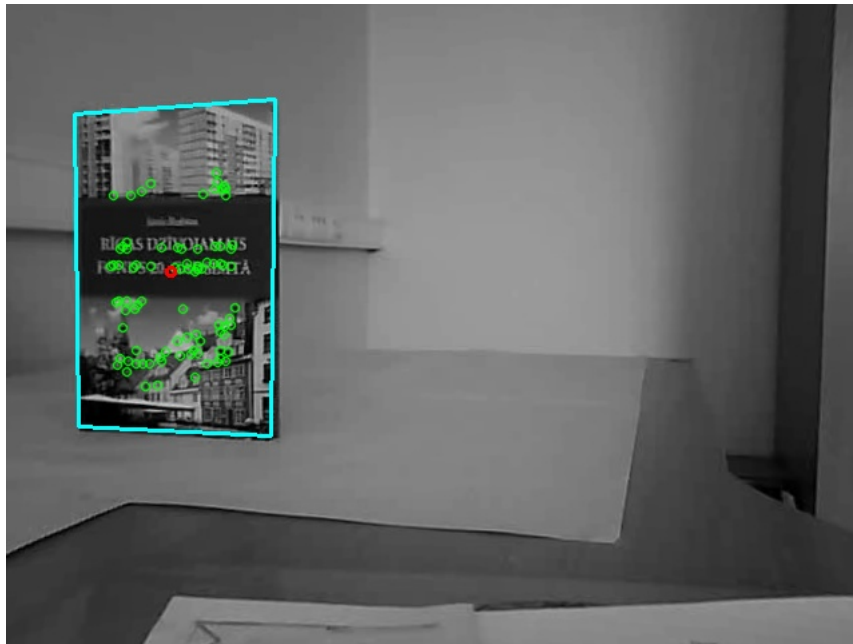
1.3 un 1.4 Attēlos ir redzama LED punktu rekonstrukcijas simulācija, izmantojot fundamentālo matricu, kad LED punktu novērtējums ir perfekts.

1.3 Objektu lokalizācijas eksperimentālie rezultāti

Pēc kameru kalibrācijas ar "zināmā objekta metodi", tika implementēta objektu sekošana 3D telpā, kas balstīts, izmantojot ORD atslēgpunktu detektoru un saskaņotāju. Atslēgpunkti tiek iegūti no katra kadra abām kamerām un tie tiek salīdzināti ar iepriekš iegūtajiem atslēgpunktiem sekojamajam objektam. Objekts tiek uzskatīts par atpazītu, ja tiek atrasts noteikts daudzums sakrītošu punktu abu kameru kadros, un tad tā pozīcija var tikt noteikta, izmantojot triangulācijas metodi. 1.6 attēlā redzama objekta atrašana abās kamerās. Objekta robežas tiek iegūtas, aprēķinot perspektīvo transformāciju objekta robežām, kas iegūtas no apmācīšanas attēla, izmantojot attiecīgos atslēgpunktus. Pēc robežu noteikšanas objekta robežu veidotā četrstūra diagonāļu krustpunkts tiek izmantots kā atskaites punkts objekta izsekošanai.



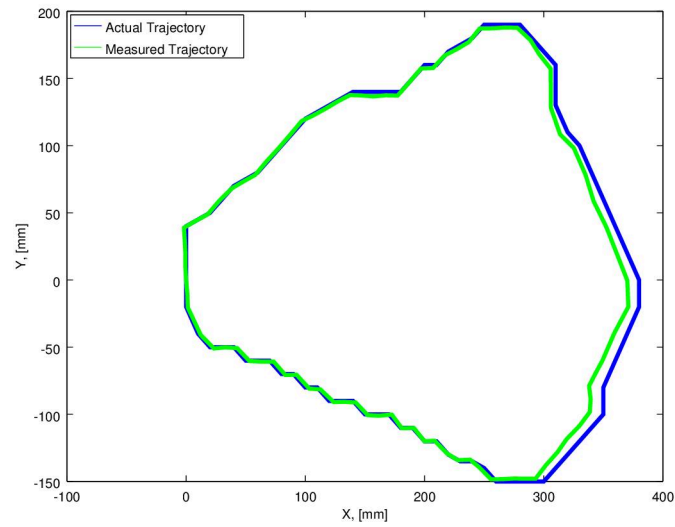
Att. 1.5: Objekta noteikšana lokalizācijai labajā un kreisajā kamerā: Kreisās kameras bilde



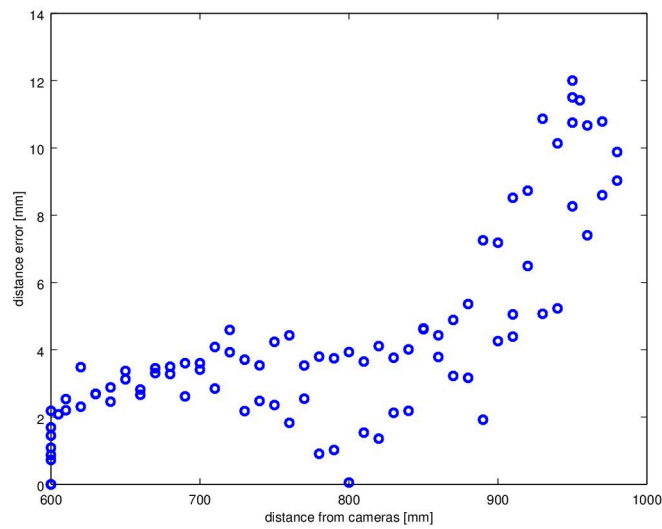
Att. 1.6: Objekta noteikšana lokalizācijai labajā un kreisajā kamerā: Labās kameras bilde

Lai novērtētu objektu lokalizācijas precizitāti, tika veikts eksperiments, kurā dotam objektam tika aprēķinātās ("dziļuma") koordinātes 3D telpā un tās salīdzinātas ar tā patiesajām koordinātēm. Reālās objekta koordinātes tika iegūtas to novietojot uz atzīmēta koordinātu tīkla. 1.6 attēlā redzamā grāmata tika izmantota kā lokalizējamais objekts. Lokalizētā objekta koordinātes uz koordinātu tīkla tika noteiktas ar 0.5mm precizitāti. Izsekojamā objekta trajektorija bija viena plakne (objekta atrāšanās "dziļums" no kamerām jeb Z plakne).

Objekta atrāšanās vieta tika noteikta 87 vietās, objekta trajektorija ir redzama 1.7 attēlā. Ir redzams, ka aprēķinātās objekta koordinātes ir tuvu patiesajām objekta koordinātēm. Kā kļūdas metrika precizitātes noteikšanai tika izvēlēta Eiklīda distance starp punktiem (1.1).



Att. 1.7: Salīdzinājums starp aprēķināto un patieso objekta trajektoriju.



Att. 1.8: Objekta lokalizācijas kļūda atiecībā pret attālumu no kamerām.

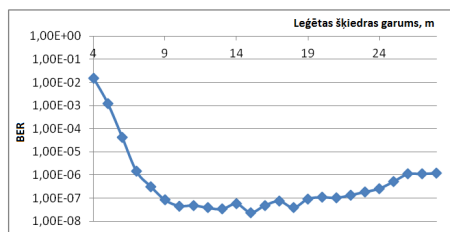
Objekta pozīcijas noteikšanas kļūda bija no 0.7 mm līdz 12 mm. 1.8 attēlā redzama objekta lokalizācijas kļūda attiecībā pret attālumu no kamerām, kā redzams, pozīcijas noteikšanas kļūdai ir tendence pieaugt kopā ar attālumu no kameras kā tam arī būtu jābūt.

Nodaļa 2

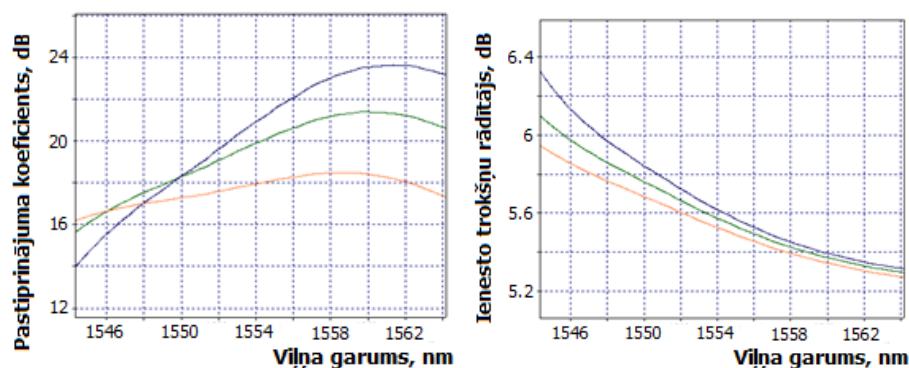
Ar erbiju leģētas šķiedras garuma izvēle

2.1 Ievads

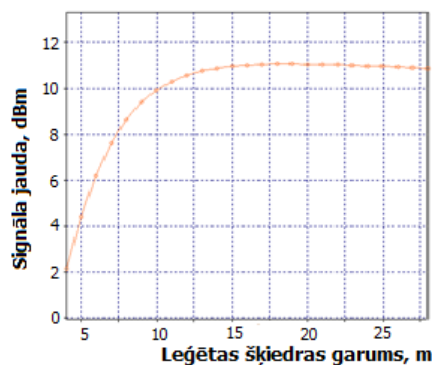
Ar erbiju leģētas šķiedras garuma izvēlei ir nepieciešams atrast bilanci starp signāla pastiprinājumu, radīto ASE trokšņu daudzumu un nelineāro efektu ietekmi. Gan optiskā signāla pastiprinājums, gan radītais ASE trokšņu lielums ir stipri atkarīgi no leģētas šķiedras garuma. Jo lielāks ir optiskā signāla pastiprinājums, jo lielāka ir uzkrātā nelineāro efektu ietekme uz signālu līnijas beigās. Bilances noteikšanai starp visiem šiem faktoriem ir nepieciešams izvēlēties pumpējoša starojuma lielumu, pie kura tiks meklēta šī balance. Informatīvā signāla līmenis pastiprinātāja ieejā ir ap -21.3 dBm, bet parasti EDFA gadījumā pastiprināmā signāla līmenis ir ap -40 dBm, tāpēc pie 25-30 dB pastiprinājuma nelineāro efektu izpausmes rezultātā pārraides sistēmas darbība nebūs atbilstīga izvirzītajām prasībām. No citas puses, pārāk mazas izvēlētas nominālas pumpēšanas avota jaudas gadījumā nebūs iespējams sasniegt pietiekamo signāla pastiprinājumu leģētas šķiedras lielo ienesto optisko zudumu dēļ. Šī iemesla dēļ tika izvēlēta 15 dBm nomināla pumpēšanas avota jauda. Tika izvēlēta tieši tāda pumpējoša starojuma avota jauda, jo ar to ir pietiekami, lai sasniegtu nedaudz vairāk par 20 dB pastiprinājumu un neizraisītu pārāk lielu garenvirziena un atpakaļgaitas ASE 14 metru garā leģētu šķiedrā ar 1480 nm pumpējošā starojuma viļņa garumu. EDFA optiskajos pastiprinātājos pie tieši vērsta 1480 nm pumpējošā starojuma populācijas inversiju panāk pie lielākas pumpējoša starojuma jaudas nekā pretēji vērsta starojuma gadījumā. Tādēļ tika pieņemts lēmums veikt leģētas šķiedras garuma izvēli pie tieši vērsta pumpējoša starojuma. Iegūtie rezultāti ir attēloti 2.1, 2.2 un 2.3 attēlos.



Att. 2.1: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no leģētas šķiedras garuma pie 60 km garas SMF šķiedras starp optisko pastiprinātāju un uztvērēju bloku.



Att. 2.2: EDFA pastiprinājuma koeficienta (pa kreisi) un ienesto trokšņu rādītāja (pa labi) viļņa garuma atkarības pie 10 (oranžs), 15(zaļš) un 20(zils) metru garas leģētas šķiedras un 1481 nm tieši vērsta 15 dBm pumpējoša starojuma.



Att. 2.3: Pastiprināta starojuma kopējas jaudas atkarība no leģētas šķiedras garuma EDFA izejā.

2.1 attēlā ir redzams, ka vispirms BER lielums ātri samazinās, jo, palielinoties leģētas šķiedras garumam, palielinās arī signāla pastiprinājums.

Tad, sākot ar 15 metru leģētas šķiedras garumu, BER lielums sāk lēnām palielināties. Šādam BER palielinājumam ir trīs galvenie iemesli:

1 - Leģētas šķiedras absorbcijas lielums ir pietiekoši liels, lai tik stipri novājinātu informatīvo signālu, ka pastiprinājums kļūst neefektīvs un pastarpināma signāla jauda sāktu samazināties. Tas labi ir redzams 2.3 attēlā.

2 - Palielinoties leģētas šķiedras garumam, pastiprinājuma frekvenču raksturlīknes slīpums kļūst lielāks, tātad palielinās dažādu kanālu pastiprinājuma starpība. Palielinās arī nepieciešamā pumpējošā starojuma jaudas vērtība, lai sasniegtu noteikto populācijas inversijas līmeni, kas arī atspoguļojas uz iegūta pastiprinājuma spektra. Sākot ar 16 metru leģētas šķiedras garumu, kanāls ar mazāku viļņa garumu pastiprinājums kļūst pat mazāks ar katru pievienoto metru. To var novērot 2.2 attēlā. Šāds pastiprinājuma nelīdzenums noved pie tā, ka intensitātes maksimums nobīdās uz kanāliem ar lielāko viļņa garumu, kas dod rezultātā lielāko nelineāro optisko efektu ietekmi šajos kanālos kanāliem.

3 - Palielinoties leģētas šķiedras garumam, palielinās arī garenvirziena un atpakaļgaitas ASE, kas noved pie pastiprinātāja radīto trokšņu pieauguma. Tas ir redzams 2.2. attēlā.

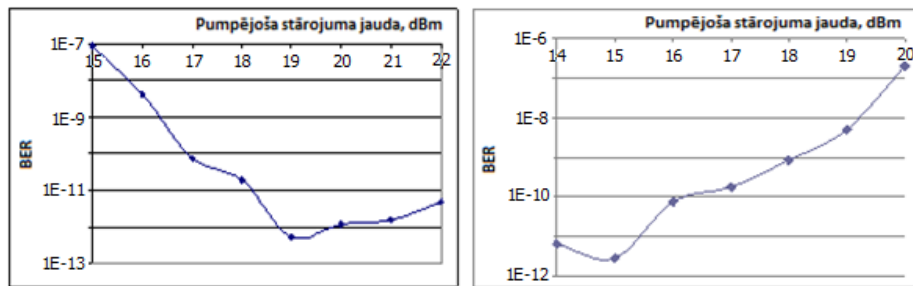
Apkopojot iegūtos rezultātus, tika secināts, ka vispiemērotākais leģētas šķiedras garums ir 15 metri. Šādu izvēli var pamatot ar to, ka pie šāda šķiedras garuma tika konstatēts vislielākais signāla pastiprinājums, pie kura nav novērojama pastiprinājuma samazināšanas kanāliem ar mazāko signāla viļņa garumu. Pie šāda leģētas šķiedras garuma arī tika novērota vismazākā sistēmas maksimālā BER vērtība: $2.80 \cdot 10^{-8}$.

2.2 EDFA pumpējošā starojuma un maksimālā pārraides attāluma noteikšana

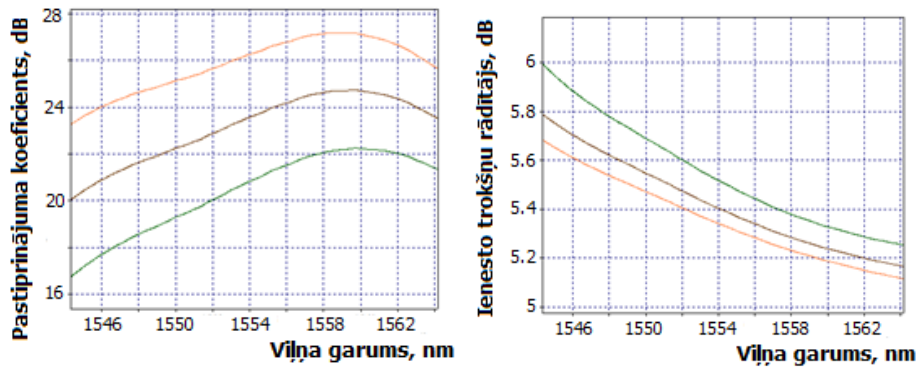
Šī darba ietvaros EDFA pumpēšana tiks realizēta 4 dažādos veidos:

- 1 - ar garenvirziena starojumu pie 1480 nm viļņa garuma;
- 2 - ar pretēja virziena starojumu pie 1480 nm viļņa garuma;
- 3 - ar garenvirziena 980 nm starojumu un 1480 nm pretēji vērsto starojumu;
- 4 - ar pretēji vērsto 1480 nm starojumu un 980 nm starojumu garenvirzienā;

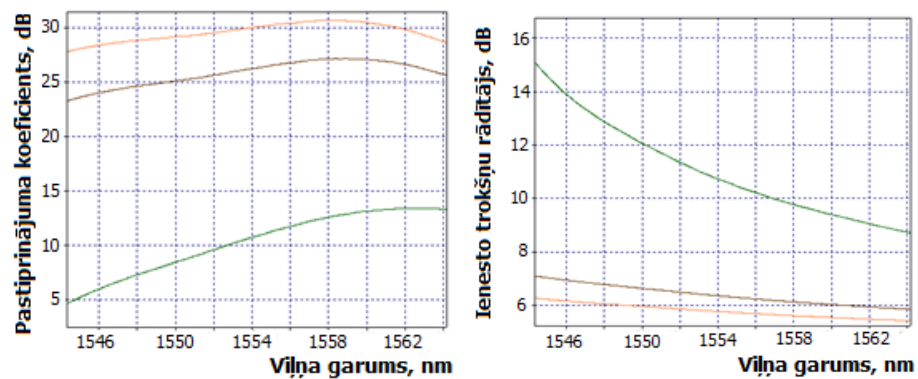
Gadījumos ar vienu pumpējošo avotu, lai izvēlētos starojuma jaudu tika iegūtas sistēmas maksimālās BER vērtības atkarības no tieši un pretēji vērsta 1480 nm pumpējoša starojuma jaudas. Šīs atkarības ir attēlotas 2.4 attēlā.



Att. 2.4: Sistēmas maksimālas BER vērtības atkarība no pumpēšanas starojuma jaudas pie 15 metru garas leģētas šķiedras ar 1480 nm tieši vērsto (pa kreisi) un pretēji vērsto (pa labi) pumpējošo starojumu, pie 60 km garas SMF šķiedras starp pastiprinātāju un uztverošo bloku, un 18 km garas DCF šķiedras.



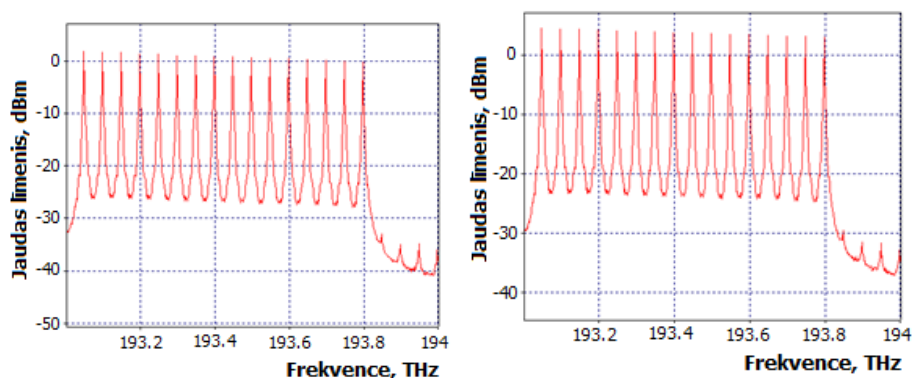
Att. 2.5: EDFA radītais signāla pastiprinājuma koeficienta (pa kreisi) un pastiprinātāja ienesto trokšņu rādītāja (pa labi) lielumu atkarības no viļņa garuma pie 1480 nm garenvirzienā raidīto 16 dBm (zaļš), 19 dBm (brūns) un 22dBm(oranžs) pumpējoša starojuma.



Att. 2.6: EDFA radīta pastiprinājuma (pa kreisi) unpastiprinātāja ienesto trokšņu rādītāja (pa labi) lielumu atkarības no viļņa garuma pie 1480 nm atpakaļ vērsta 10 dBm (zaļš), 15 dBm (brūns) un 20dBm(oranžs) pumpējoša starojuma.

Kā ir redzams 2.4 attēlā, pie atpakālejoša pumpējoša starojuma BER lielums sāk augt pie mazākas pumpējoša avota jaudas, nekā tieši vērsta starojuma gadījumā. Šo tendenci var skaidrot, analizējot 2.5 un 2.6 attēlos redzamās raksturliķnes. Pie pretēji vērsta pumpējoša starojuma optiskā signāla pastiprinājums ir lielāks pie tādas pašas pumpējošas jaudas, un līdz ar to uzkrāsies lielāka arī nelineāro efektu ietekme uz signālu. Palielinoties pumpējoša starojuma jaudai, samazinās pastiprinātāja ienesto trokšņu raidītājs, kas nozīmē, ka pastiprinātājs tuvojas maksimālam populācijas inversijas līmenim un signāla-trokšņu attiecība EDFA izejā palielinās.

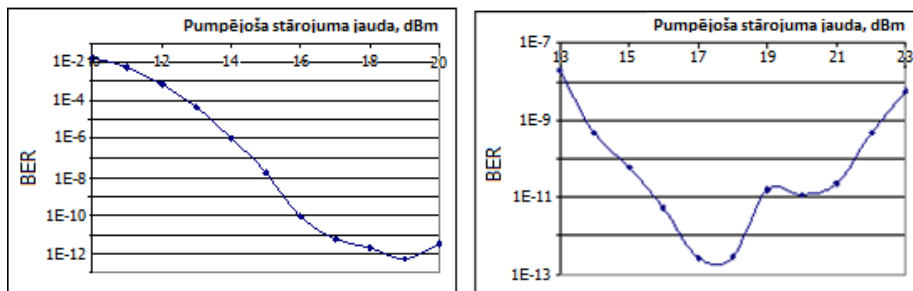
No 2.4 attēlā atspoguļotajiem rezultātiem var secināt, ka pie esošās sistēmas konfigurācijas tieši vērsta pumpējoša starojuma gadījumā vispiemērotākā jauda ir 19 dBm, un pretēji vērsta pumpējoša starojuma gadījumā - 15 dBm. Signāla spektri pastiprinātāja izejā abos gadījumos ir atspoguļoti 2.7 attēlā.



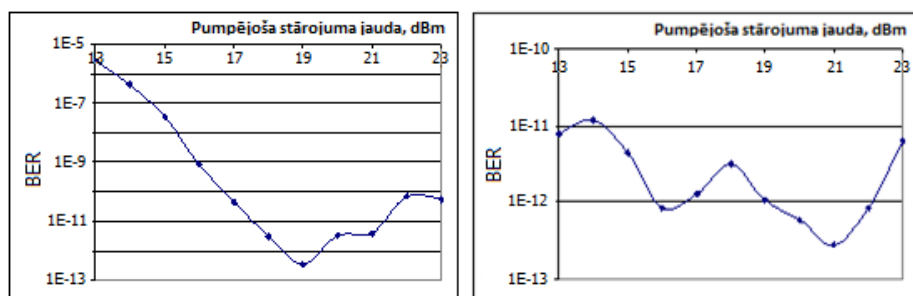
Att. 2.7: Optiskā signāla spektri EDFA pastiprinātāja izejā pie 19 dBm tiešā virzienā raidīta pumpējoša starojuma (pa kreisi), un pie 15 dBm pretēji vērsta pumpējoša starojuma (pa labi).

No 2.7 attēlā redzamajiem spektriem izriet, ka pretēji vērsta pumpējoša starojuma gadījumā pat pie 4 dB mazākas pumpējoša starojuma jaudas signāla pastiprinājums ir lielāks. Cēlonis tam ir tas, ka pretēji vērsta pumpējoša starojuma jaudas izmaiņas gar leģēto šķiedru ir labāk piemērotas signāla jaudas izmaiņām nekā pie tieši vērsta pumpējoša starojuma. Pie pretēji vērsta pumpējoša starojuma signāla jauda ir lielāka tur, kur ir lielāka pumpējoša starojuma jauda, kas nodrošina efektīvāku enerģijas pāreju starp enerģētiskajiem līmeņiem. Pie tam šādā gadījumā mazāka pumpējoša starojuma daļa tiek patērēta ASE trokšņu ģenerēšanai.

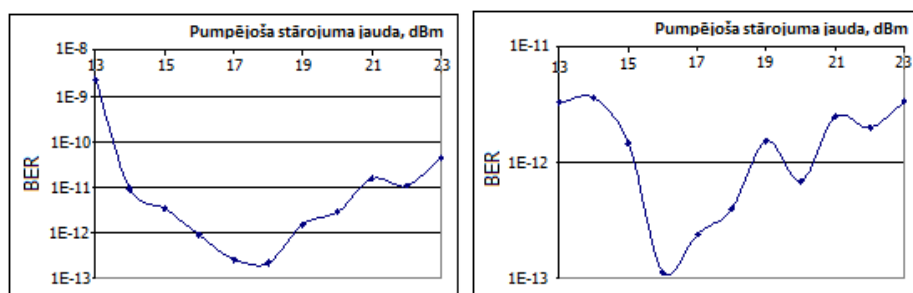
Gadījumos ar abpusējo pumpēšanu, lai izvēlētos pumpējošo starojumu jaudu, tika iegūtas sistēmas maksimālas BER vērtības atkarības, mainot vispirms abu pumpējošo starojumu jaudas, lai tuvināti noteiktu nepieciešamo kopējo jaudu, un tad mainot tieši un pretēji vērsto pumpējošo starojumu jaudas atsevišķi. Rezultāti ir aplūkojami sekojošos attēlos.



Att. 2.8: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarības no abu pumpēšanas avotu starojuma jaudas, pie 15 metru garas leģētas šķiedras ar 980 nm garenvirzienā un 1480 nm pretēji vērsta pumpējoša starojuma (pa kreisi), un 1480 nm garenvirziena un 980 nm pretēji vērsto (pa labi) pumpējošiem starojumiem, pie 60 km garas SMF šķiedras starp pastiprinātāju un uztverošo bloku, un 18 km garas DCF šķiedras.



Att. 2.9: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no pumpējošo avotu starojuma jaudas, pie 15 metru garas leģētas šķiedras ar 980 nm garenvirzienā (pa kreisi) un 1480 nm pretēji vērsta pumpējoša starojuma (pa labi), pie 60 km garas SMF šķiedras starp pastiprinātāju un uztverošo bloku, un 18 km garas DCF šķiedras.



Att. 2.10: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no pumpēšanas avotu starojuma jaudas, pie 15 metru garas leģētas šķiedras ar 1480 nm garenvirzienā (pa kreisi) un 980 nm pretēji vērsta pumpējoša starojuma (pa labi), pie 60 km garas SMF šķiedras starp pastiprinātāju un uztverošo bloku, un 18 km garas DCF šķiedras.

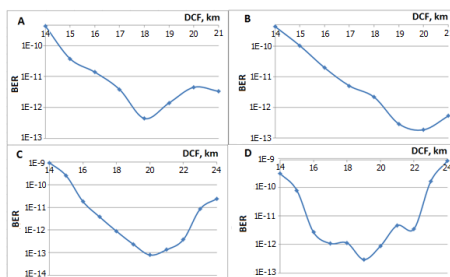
Kā ir redzams 2.8 attēlā, pie 980 nm tieši vērsto un 1480 nm pretēji vērsto pumpējošiem starojumiem vismazākā sistēmas maksimālā BER vērtība ir novērojama, kad abu pumpējošo avotu jaudas sasniedz 19 dBm vērtību. Gadījumā, kad garenvirziena pumpējošam starojumam viļņa garums ir 1480 nm un pretēji vērsta – 980 nm, šis minimums ir novērojams pie abu pumpējošo avotu jaudām 17 dBm. Tagad, kad ir noskaidrota aptuvena nepieciešama pumpējošo avotu jauda, tika atsevišķi piemeklētas tiešajā virziena un atpakaļvirziena izmantoto pumpējošo starojumu jaudas. Iegūtie rezultāti ir attēloti 2.9 un 2.10 attēlos.

2.9 attēlā ir redzams, ka 980-1480 nm pumpējošo starojumu kombinācijas gadījumā minimālā sistēmas BER vērtība ir novērojama pie 19 dBm tieši vērsta 980 nm un 21 dBm pretēji vērsta 1480 nm starojumiem. Savukārt, iegūtie rezultāti 1480-980 nm pumpējošo starojumu kombinācijas gadījumā parāda, ka minimālais sistēmas BER atbilst 18 dBm 1480 nm tieši vērsta un 16 dBm pretēji vērsta starojumiem. Tas izriet no 2.10 attēlā atspoguļotajiem rezultātiem.

Absorbcijas koeficients 980 nm diapazonā ir par kārtu lielāks nekā 1480 nm diapazonā, tātad pie pumpējoša starojuma viļņa garuma 980 nm lielāks fotonu skaits tiek absorbēts. Tas noved pie lielāka atomu skaita ierosināšanas un populācijas inversijas sasniegšanas pie mazākas pumpējoša avota jaudas nekā 1480 nm starojuma gadījumā. Kā jau tika noskaidrots iepriekš, pie pretēji vērsta pumpējoša starojuma konkrēts signāla pastiprinājuma līmenis tika sasniegts pie mazākas pumpēšanas jaudas. Šo apstākļu dēļ gadījumos, kad 980 nm starojums tika vērsts pretēji pastiprināmajam signālam, minimālais sistēmas BER tiek novērots pie mazākam jaudām nekā gadījumos, kad tika izmantots 1480 nm pretēji vērsta pumpējošais starojums.

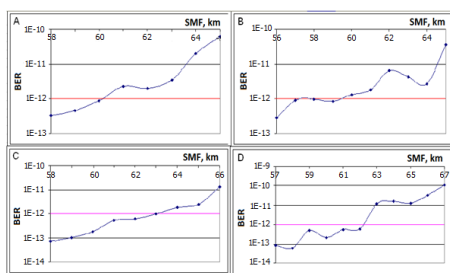
Konkrētas pumpējošo starojumu kombinācijas izvēlei tika atrasti maksimālie pārraides attālumi visos 4 gadījumos. Vispirms katram apskatītajam gadījumam tika piemeklēts DCF šķiedras garums. Iegūtie rezultāti ir atspoguļoti 2.11 attēlā.

No 2.11 attēla ir redzams, ka pie 1480 nm tieša virziena pumpēšanas vispiemērotākais DCF šķiedras garums ir 18 km, pie 1480 pretēji vērsta pumpējoša starojuma - 20 km, pie 980 nm tieši un 1480 nm pretēji vērsto pumpējošo starojumu arī 20 km, un pie 1480 nm tieši un 980 pretēji vērsta pumpējoša starojuma – 19 km.



Att. 2.11: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no DCF šķiedras garuma pie 1480 nm tiešā virziena pumpēšanas (A), 1480 nm pretēja virziena pumpēšanas (B), 980 nm tiešā virziena un 1480 nm pretēja virziena pumpēšanas (C), 1480 nm tiešā virziena un 980 nm pretēja virziena pumpēšanas (D).

Maksimālā pārraides attāluma noteikšanai tika novērotas sistēmas maksimālās BER vērtības atkarības no SMF šķiedras garuma starp pastiprinātāju un uztvērēju bloku pie katra no apskatītajiem pumpēšanas veidiem. Iegūtas raksturlieknes ir parādītas 2.12 attēlā.



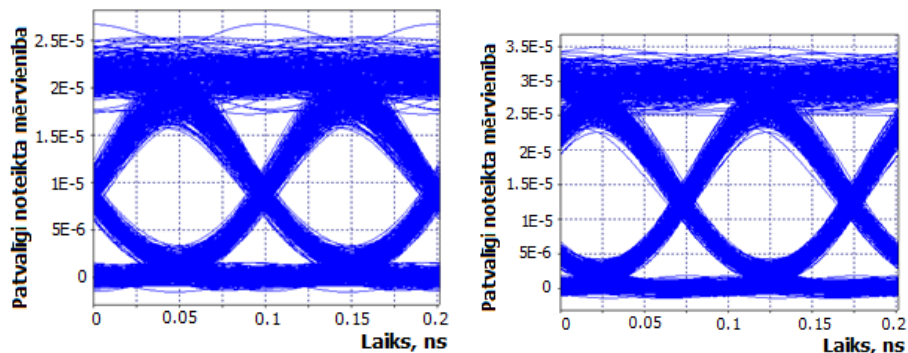
Att. 2.12: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no SMF šķiedras garuma starp EDFA pastiprinātāju un uztvērēju bloku pie 1480 nm tiešā virziena pumpēšanas (A), 1480 nm pretēja virziena pumpēšanas (B), 980 nm tiešā virziena un 1480 nm pretēja virziena pumpēšanas (C), 1480 nm tiešā virziena un 980 nm pretēja virziena pumpēšanas (D).

Kā ir redzams 2.12 attēlā, maksimālais attālums starp EDFA pastiprinātāju un uztvērēju bloku tika sasniegts pie 19 dBm 980 nm tiešā virziena un 21 dBm 1480 nm pretēja virziena pumpēšanas, un tas sastādīja 63 km, kas kopā ar 72 km garu posmu līdz optiskajam pastiprinātājam dod 135 km kopējo pārraides attālumu. Minimālā BER vērtība pie šādas pārraides sistēmas konfigurācijas tika novērota 2. kanālā, un tā sasniedza $8.17 \cdot 10^{-15}$. Maksimālā BER vērtība ir konstatēta 15. kanālā, un tā atbilst $9.89 \cdot 10^{-13}$. Acu diagrammas, kuras tika iegūtas šajos divos kanālos, ir parādītas 2.13 attēlā.

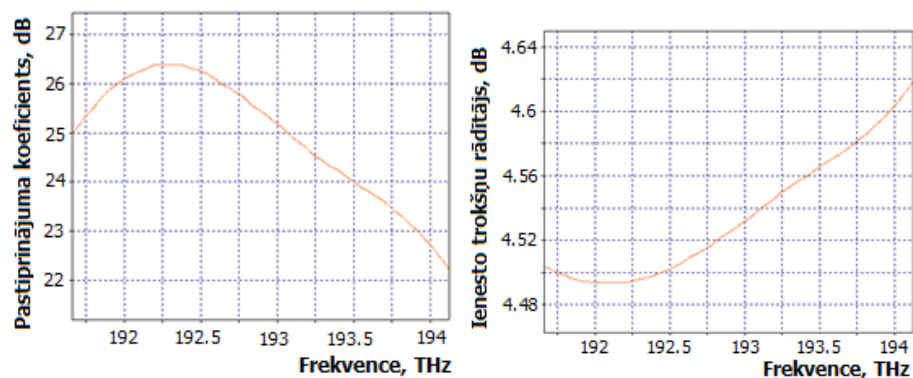
Optiskā signāla pastiprinājuma un ienesto trokšņu rādītāja frekvenču atkarības, pie kurām tika iegūti šādi rezultāti, ir atspoguļoti 2.14 attēlā.

Aplūkotas pārraides sistēmas optiskā signāla pastiprinājums frekvenču diapazonā no 193.05 līdz 193.8 THz ir robežās no 23.4 līdz 25.1 dB. Optiskais pastiprinājums izmantotajā frekvenču diapazonā samazinās, pieaugot signāla

frekvencei. Pastiprinājuma atšķirība ir starp 1 un 16 kanālu, un sasniedz 1.7 dB. Šī iemesla dēļ vislielākā BER vērtība tika novērota 15. kanālā, un tā atbilst $9.89 \cdot 10^{-13}$. Minimālais BER pie šādas sistēmas konfigurācijas tika novērots 2. kanālā, un sastāda $8.15 \cdot 10^{-15}$.



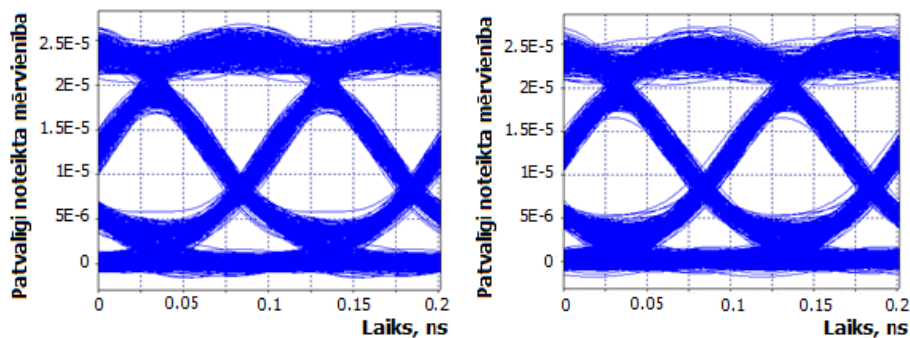
Att. 2.13: Uztvertā signāla acu diagrammas 15. kanālā ($BER = 9,89 \cdot 10^{-13}$, pa kreisi), 2. kanālā ($BER = 8,17 \cdot 10^{-15}$, pa labi).



Att. 2.14: EDFA pastiprinātāja radīta signāla pastiprinājuma un ienesto trokšņu rādītāja frekvenču atkarības pie 19 dBm 980 nm tieša virziena un 21 dBm 1480 nm pretēja virziena pumpēšanas.

EDFA ienesto trokšņu rādītāja atkarība no signāla viļņa garuma ir atspoguļota 2.14 attēlā, kur ir redzams, ka, palielinoties signāla frekvencei, palielinās arī ienesto trokšņu daļa. Frekvenču diapazonā no 193.05 līdz 193.8 šis lielums mainās no 4.53 līdz 4.58 dB.

EDFA optiskā pastiprinātāja radīto informatīva signāla kropļojumu novērtēšanai tika apskatītas 15. kanāla acu diagrammas pirms un pēc optiska pastiprinātāja. Pastiprinātais signāls tika speciāli novājināts līdz tādām pašām līmenim, kurā bija tā intensitāte pirms pastiprināšanas. Iegūtās acu diagrammas ir aplūkojamas 2.15 attēlā.

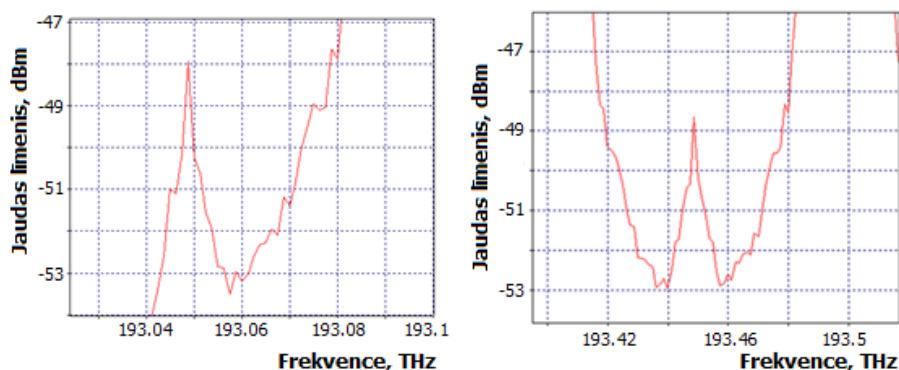


Att. 2.15: 15. kanālā pārraidītā optiskā signāla acu diagrammas ar pielīdzinātiem intensitātes līmeņiem EDFA optiska pastiprinātāja ieejā (pa kreisi) un izejā (pa labi).

Abas acu diagrammas izskatās gandrīz identiskas. Vienīgā atšķirība, kuru var pamanīt, ir neliels ASE trokšņu un starpkanālu šķērštraucējumu palielinājums. Tas liecina par to, ka EDFA optiskais pastiprinātājs gandrīz neienesa signāla formas kropļojumus un neizraisīja ievērojamu nelineāro efektu ietekmi pastiprināšanas procesā.

Tāpat kā pusvadītāju pastiprinātāja gadījumā, starpkanālu šķērštraucējumu un pārējo trokšņu novērtēšanai tika izslēgts kāda konkrēta kanāla raidītājs un aplūkotas spektru līnijas galā. Tiks apskatīts kanāls ar vislielāko pastiprinājumu – 1. kanāls un viens no centrālajiem kanāliem – 9. kanāls. Iegūtie rezultāti ir parādīti 2.16 attēlā.

Tika konstatēts, ka 1. kanālā starpkanālu šķērštraucējumu lielums sasniedz -47.92 dBm, un 9. kanālā -48.63 dB. Šos rezultātus var interpretēt šādi: 1. kanālā un apkārtesošajos kanālos tika novērots lielāks pastiprinājums nekā 9. kanālā, kas izraisīja lielāko nelineāro efektu ietekmi. Šī ietekme arī kļuva par galveno iemeslu liela starpkanālu šķērštraucējumu daudzuma uzkrāšanās. Vērts piebilst, ka pastiprinājums 1. kanālā sasniedza 25.1 dB, un 9. kanālā – 24.4 dB.



Att. 2.16: Starpkanālu šķērštraucējumu lielums 1. (pa kreisi) un 9. kanālos (pa labi).

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:

- Iegūti un izanalizēti objektu 3D punktu rekonstrukcijas no attēliem eksperimentālie rezultāti
- Analizētas ar erbiju leģētas optiskās šķiedras garuma izvēles iespējas

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.