



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.7. par periodu no 01.07.2015.g līdz 31.08.2015.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 Virtuālā realitāte: Caurspīdīgi objekti	3
1.1 Ievads	3
1.2 Kontūru noteikšanas metode	4
1.3 Objektu atpazīšanas metode	5
1.4 Attēlu sapludināšanas metode	6
1.4.1 Iezīmju atrašana	7
1.4.2 Iezīmju atbilstību noteikšana	8
1.4.3 Transformācijas atrašana	8
1.4.4 Eksperimenti un novērtējums	9
1.5 Secinājumi	10
2 ŠOPS ar Ramana optisko pastiprinātāju	11
2.1 Ievads	11
2.2 Diskrēta Ramana pastiprinātāja paaugstinātas nelinearitātes šķiedras garuma izvēle	11
2.3 Diskrēta Ramana pastiprinātāja pumpējoša starojuma izvēle un pārraidē attāluma noteikšana	14
2.4 Secinājumi	17
Kopsavilkums	18

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:

- Virtuālā realitāte: Caurspīdīgi objekti
- ŠOPS ar Ramana optisko pastiprinātāju

Turpmākajās nodaļās ir apkopoti galvenie sasniegumi minētajos virzienos.

Nodaļa 1

Virtuālā realitāte: Caurspīdīgi objekti

1.1 Ievads

Mūsdienās virtuālā realitāte tiek izmantota arvien biežāk, viens no virzieniem, kas daudziem varētu likties interesants ir kāda reāla objekta caurspīdīguma nodrošināšana virtuālajā realitātē. Piemēram, ja pa ceļu viena aiz otras pārvietojas divas automašīnas, otrās automašīnas vadītājam varētu būt lietderīgi redzēt „cauri” priekšā braucošajai automašīnai, lai iegūtu labāku priekšstatu par notiekošo uz ceļa. Protams, neko tādu nav iespējams nodrošināt, ja nav pieejams attēls, kas attēlotu to, kas objektam, kuru gribam padarīt caurspīdīgu, atrodas otrā pusē. Šī darba mērķis ir izpētīt esošos risinājumus šāda caurspīdīguma nodrošināšanai un izveidot savu risinājumu, kurš būtu piemēros augstāk aprakstītajam scenārijam, t.i. spētu darboties reālā laikā un sniegt saprotamu priekšstatu par to, kas notiek caurspīdīgajam objektam otrā pusē.

Izvēlētajā scenārijā pa ceļu vienā virzienā viena aiz otras pārvietojas divas automašīnas, kas aprīkotas ar attēlu iegūšanas iekārtām un datu pārraides iekārtām, lai iegūtos attēlus spētu nosūtīt uz serveri un apstrādātos attēlus saņemt no servera. Šādam mērķim ļoti labi kalpo viedtālrunis, kurš piedāvā gan kameru attēlu uzņemšanai, gan mobilā interneta savienojumu datu pārsūtīšanai starp viedtālruni un serveri. Datu apstrāde uz servera izvēlēta tāpēc, lai risinājums nebūtu specifisks kādai no viedtālrunu platformām un arī tāpēc, ka serveris piedāvā lielāku skaitļošanas jaudu, kas attēlu apstrādes gadījumā, īpaši veidojot prototipus, ir ļoti svarīgi. Darba gaitā tika izmēģinātas vairākas pieejas caurspīdīga objekta iegūšanai, tika pārbaudīta iespēja padarīt automašīnu caurspīdīgu to atpazīstot, lai atpazītu automašīnu tika izmantotas kontūru noteikšanas metodes un objektu atpazīšanas metodes, kā arī tika pārbaudīta metode, kas spēj padarīt automašīnu caurspīdīgu nenosakot precīzu tās atrašanās vietu vai kontūru, tam tika izmantota attēlu sapludināšanas metode.

Eksistē vairākas pieejas kā padarīt priekšā braucošo automašīnu caurspīdīgu. Viena no pieejām ir atpazīt to bildē, kas uzņemta no aizmugurē braucošās automašīnas un atpazīto reģionu aizstāt ar attiecīgo daļu no bildes, ko uzņēmusi priekšā braucošā automašīna. Šāds variants būtu ļoti labs, jo sniegtu precīzu

informāciju par to, kas atrodas aiz priekšā braucošās automašīnas, nemainot to informāciju, kas aizmugurē braucošās automašīnas vadītājam jau pieejama no viņa skata punkta. Šādai pieejai ir divas metodes – kontūru noteikšanas metode un objektu atpazīšanas metode.

Otra pieeja ir padarīt automašīnu caurspīdīgu nenosakot precīzu tās atrašanās vietu attēlā, to iespējams izdarīt apvienojot abus iegūtos attēlus vienā. Šādai pieejai tika atrasta viena metode – attēlu sapludināšanas metode.

1.2 Kontūru noteikšanas metode

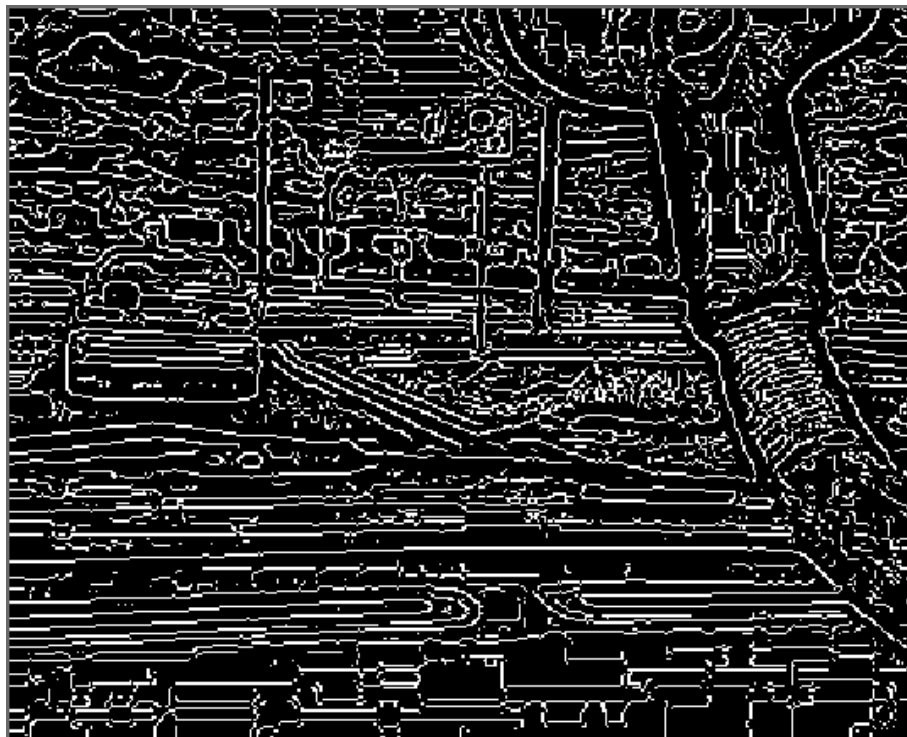
Lai noteiktu automašīnas atrašanās vietu attēlā kā viena no metodēm tika pārbaudīta kontūru noteikšanas metode. Metode sastāv no diviem etapiem, pirmais ir stūru noteikšana, tā angliskais nosaukums ir „Canny edge detector”, tā pamatā ir 5 soļi, kas jāveic, lai samazinātu attēlā redzamo datu apjomu saglabājot attēla struktūras informāciju, ko var izmantot tālākai datu apstrādei. Pēc attēla apstrādes ar šo algoritmu tiek iegūts binārs attēls, kurā atzīmēti visi stūri ko šis algoritms ir atradis, 1.1 att. (a) redzams attēls pēc apstrādes ar Canny algoritmu. Canny algoritmam ir divi parametri, kas maina tā darbību, šos parametrus pielāgo attiecīgi tā, lai iegūtu pēc iespējas detalizētāku informāciju par automašīnas kontūrām, neņemot vērā pārējo iegūto informāciju, kas neattiecas uz automašīnu. Kā redzams attēlā ir saglabājušās automašīnas kontūras, bet vēl jau projām ir arī ļoti daudz informācijas par apkārtējo vidi, kas traucē viennozīmīgi noteikt automašīnas atrašanās vietu bildē, tāpēc tiek lietots otrais etaps, kas binārā attēlā meklē kontūras (1.1 att. (b)). Kā redzams kontūru atlasīšana ir samazinājusi informācijas apjomu, bet tajā vēl joprojām nav iespējams skaidri noteikt automašīnas atrašanās vietu vai iezīmēt izteiktu tās kontūru.



Att. 1.1: Kontūru noteikšanas metodes etapu rezultāti.

Aplūkojot 1.1 att. (a) tika secināts, ka tajā nemaz nav viennozīmīgi iespējams izšķirt automašīnu, jo pilna tās kontūra nav saskatāma, tās sānos iztrūkst vairākas līnijas, lai pārliecinātos, ka šo problēmu neizraisa Canny algoritma darbināšanai izmantotie parametri, šis attēls tika apstrādāts ar pašiem zemākajiem parametriem, lai iegūtu pilnīgi visas kontūras ko vien Canny algoritms spēj atrast. Kā redzams 1.2 att. tomēr nav saskatāma pilna

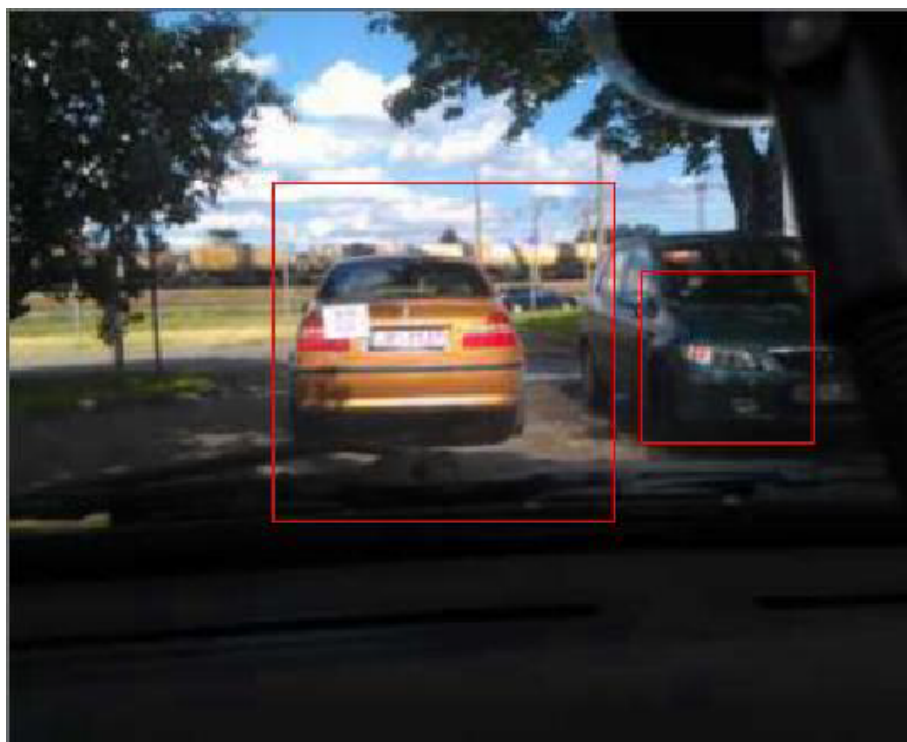
automašīnas kontūra, kas liek secināt, ka lai izmantotu stūru noteikšanas metodi automašīnas atpazīšanai nāktos implementēt kādu interpolācijas algoritmu, kas pilnveidotu mašīnas kontūru.



Att. 1.2: Canny algoritma sniegtais rezultāts ar zemākajiem parametriem.

1.3 Objektu atpazīšanas metode

Lai noteiktu automašīnas vietu attēlā, kā viena no metodēm tika pārbaudīta objektu atpazīšanas metode izmantojot Haar kaskādes, kas tiek plaši izmantotas sejas atpazīšanā. Metodes būtība ir kaskādes datnes izveide, kas apraksta meklēto objektu, šādu datni jāveido no vairākiem attēliem, kas satur meklēto objektu un vairākiem attēliem kas to nesatur. Kad datne ir izveidota, to iespējams izmantot ātrai meklējamā objekta atrašanai attēlos, bet pati datnes veidošana ir ļoti laikietilpīgs process. Lai pārbaudītu vai šāda metode ir pielietojama priekšā braucošās automašīnas atpazīšanai, tika pārbaudīts vai ar šo metodi ir iespējams atpazīt vienu konkrētu automašīnu. Vienas konkrētas automašīnas atpazīšana ir salīdzinoši vienkāršāks process, tāpēc nav nepieciešams ļoti liels daudzums ieejas attēlu. Tika izveidota kaskādes datne izmantojot 209 attēlus, kuros redzama izvēlētajā automašīna un vairāk nekā 500 attēli, kuros šī automašīna nav redzama.



Att. 1.3: Automašīnas atpazīšana izmantojot kaskādes datni.

Pēc datnes iegūšanas tomēr izrādījās, ka automašīnas atpazīšana izmantojot šo kaskādes datni nav precīza un retos gadījumos atgriež pareizu automašīnas atrašanās vietu attēlā un ļoti daudzos gadījumos atgriež vairākas nepareizas automašīnas atrašanās vietas. 1.3 att. redzamas ar sarkanu iezīmētas vietas, kur atrasta automašīna, bet lielākais taisnstūris ietver daudz lielāku apgabalu nekā meklētā automašīna un mazākais taisnstūris vispār nav meklētās automašīnas tuvumā. Viena no problēmām ir zemā attēlu kvalitāte, kas izmantota kaskādes datnes izveidē, bet šādas pašas kvalitātes attēlos arī tiek meklēta izvēlētā automašīna, tāpēc nav īsti skaidrs vai tā tiešām ir problēma. Otrā problēma ir saistīta ar salīdzinoši mazo izmantoto attēlu skaitu kaskādes datnes iegūšanai.

1.4 Attēlu sapludināšanas metode

Metodes pamatā ir doma, ka abi attēli, ko uzņēmušas viena aiz otras braucošās automašīnas satur ļoti daudz kopīgās informācijas, tāpēc šos attēlus būtu iespējams apvienot vienā attēlā veicot attēlu sapludināšanu. Izmantojot šo metodi ir ļoti svarīgi kurā vietā abas mašīnas atradušās brīdī, kad attēls ticis uzņemts. Ja no abām mašīnām tiktu saņemts attēls, kurš uzņemts vienā vietā dažādos laika posmos, ar vienādu izmēru un skata leņķi, šos attēlus būtu ļoti viegli sapludināt un iegūt caurspīdīgu priekšā braucošo automašīnu. Pastāv iespējas apstrādāt abus attēlus, lai iegūtu tuvinājumu augstāk aprakstītajai situācijai un tad iegūt to sapludināto attēlu kurā būtu redzama caurspīdīga priekšā braucošā automašīna. Jāatzīmē, ka lai attēlu sapludināšana sniegtu

korektus rezultātus par to, kas atrodas aiz priekšā braucošās automašīnas, nepieciešams attēlu sapludināšanai izmantot divus attēlus, kas uzņemti pēc iespējas tuvāk viens otram, ideāli vienā un tajā pašā vietā, pretējā gadījumā attēlu sapludināšana var sniegt daļēji vai pilnīgi nepatiesu informāciju par to, kas atrodas aiz priekšā braucošās automašīnas. Lai sagatavotu attēlus sapludināšanai sākumā nepieciešams saprast kā šie dažāda izmēra un skata punkta attēli ir savā starpā saistīti, lai to izdarītu secīgi tiek izmantotas sekojošas darbības: 1. Iezīmju atrašana; 2. Iezīmju atbilstību noteikšana; 3. Transformācijas atrašana; 4. Transformācijas pielietošana.

1.4.1 Iezīmju atrašana

Iezīmju atrašanai tiek izmantotas pelēktoņu bildes, jo tajās novērojams mazāks apgaismojuma īpatsvars, kas ir svarīgi lai korektāk noteiktu iezīmes attēlos. Eksistē vairāki algoritmi iezīmju atrašanai: SURF, SIFT, ORB, u.c. Pēc aprakstiem SIFT ir visefektīvākais, bet ORB visātrākais. Svarīgi ir tas, ka šie iezīmju atrašanas algoritmi spēj labi tikt galā ar troksni un nelielām perspektīvas maiņām, kas nozīmē, ka lielākā daļa attēlā atrastās iezīmes tiks atrastas arī tad, ja attēls tiks nedaudz transformēts, t.i. tiks mainīts skata punkts, kas mūsu gadījumā ir ļoti svarīgi, jo pastāv ļoti liela varbūtība, ka uz abām automašīnām uzstādītajām kamerām skatu punkti nesakrīt. Iezīmju atrašanas algoritms atgriež sarakstu ar iezīmēm un katrai iezīmei tās zīmīgo apgabalu, kas raksturo šo iezīmi. Katras iezīmes zīmīgā apgabala apraksts ir 128 dimensiju vektors. Šis vektors tiek veidots no 16 apgabaliem, katrs apgabals atbilst 4×4 pikseļus lielumam iezīmes tuvumā un visi kopā tie noklāj laukumu ap iezīmi izmērā 16×16 pikseļi. Katram no šiem 16 apgabaliem atbilst 8 vektori, kur katrs vektors satur histogrammu no šī apgabala aprakstītā 4×4 pikseļus lielā laukumā, kas tiek aprēķināta ik pa 45 grādiem. Šāds iezīmju saraksts tiek iegūts no abiem attēliem kuriem gribam noskaidrot to saistību. 1.4 att. redzamas visas iezīmes, ko SIFT algoritms atradis abos attēlos, 1.4 att. (a) atrastas 344 iezīmes, bet 1.4 att. (b) 451 iezīme. Kā redzams tiek atrastas ļoti daudz iezīmes un lielākā daļa no tām ir tikai vienā no attēliem. Tas skaidrojams ar to, ka abiem attēliem ir salīdzinoši maza kopīgā daļa, kurā būtu redzami vieni un tie paši objekti.



(a) Attēls no priekšā braucošās automašīnas

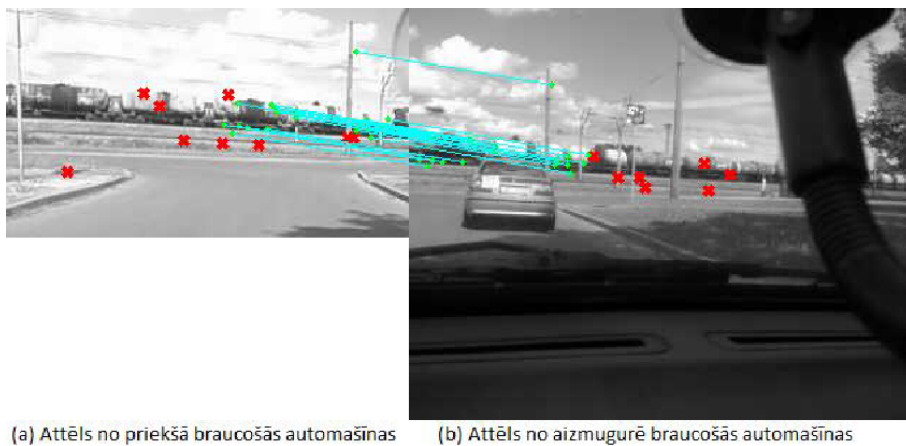
(b) Attēls no aizmugurē braucošās automašīnas

Att. 1.4: Attēlos atrastās iezīmes.

1.4.2 Iezīmju atbilstību noteikšana

Kad diviem attēliem ir noteiktas to raksturīgās iezīmes ir iespējams šīs iezīmes salīdzināt un atrast savā starpā līdzīgās, tādējādi atrodot līdzīgus punktus un to apkārtnes abos attēlos. Iezīmju atbilstību noteikšanu SIFT iezīmēm iespējams veikt izmantojot algoritmu, kas katram punktam identificē tā tuvākās sakritības otrā attēlā izmantojot Eiklīda distanci 128 21dimensiju vektoru telpā. Konkrētajā gadījumā sakritības pareizuma pārbaudei nepieciešams atrast divas tuvākās sakritības otrā attēlā katrai iezīmei.

Tā kā iezīmju atrašanai tika izmantots algoritms, kurš spēj tikt galā ar nelielām perspektīvas nobīdēm, tad šajā etapā abās bildēs tiešām tiek atrasti atbilstoši punkti abās bildēs ar lielu varbūtību, tomēr parasti šāda meklēšana atgriež ļoti daudz nepatiesas sakritības, tāpēc ir nepieciešams atlasīt nost lielu daļu šīs nepatiesās sakritības. Lai atlasītu nost nepatiesās sakritības tiek izmantots nosacījums par divu tuvāko sakritību attālumu attiecību. Ja Eiklīda distance starp konkrēto iezīmi un otru labāko sakritību ir lielāka kā 80



Att. 1.5: Atrastās iezīmes pēc nepatieso sakritību atlasīšanas.

1.5 att. iezīmētas visas 20 sakrītošās iezīmes abos attēlos, zaļā krāsā iekrāsotas tās iezīmes, kas sakrīt, bet sarkanā krāsā tās iezīmes, kurām atbilstošas iezīmes otrā attēlā nav atrastas. Gaiši zilas iezīmētas līnijas, kas savieno atbilstošos sakrītošos punktus abās bildēs. Salīdzinot 1.4 att. un 1.5 att. redzams, ka nepatieso sakritību atlasīšana ir veiksmīgi tikusi vaļā no lielākās daļas nepatieso iezīmju un ir palikušas tikai 9 nepatiesas sakritības 1.5 att. (a) attēlā un 7 nepatiesas sakritības 1.5 att. (b).

1.4.3 Transformācijas atrašana

Ja apgalvojums, ka attēlu, kas uzņemts no priekšā braucošās automašīnas var atrast attēlā, kas uzņemts no aizmugurē braucošās automašīnas ir patiess, tad visticamāk, lai šo atrasto attēlu varētu ievietot attēlā kurā tas tika atrasts, tam būs jāpielieto perspektīvā transformācija. Šajā gadījumā perspektīvo transformāciju jāpielieto attēlam, kas iegūts no priekšā braucošās automašīnas. Pēc perspektīvās transformācijas visas līnijas, kas attēlā bija paralēlas, arī

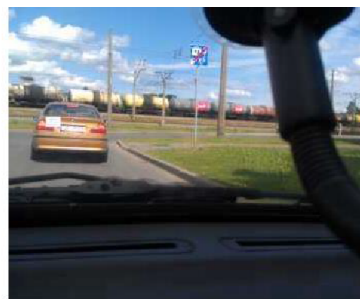
tiks saglabātas paralēlas, bet attēla perspektīva tiks izmainīta. Lai veiktu perspektīvo transformāciju nepieciešams iegūt 3×3 matricu, kas apraksta šo transformāciju, šīs matricas iegūšanai nepieciešams atrast vismaz 4 sakrītošus punktus abos attēlos, t.i. nepieciešams atrast aizmugurē braucošās automašīnas uzņemtajā bildē vismaz 4 tādus punktus, kas sakrīt ar 4 punktiem no attēla, kas uzņemts no priekšā braucošās automašīnas. Jāatzīmē, ka šeit domāti 4 punkti kas sakrīt pēc būtības, t.i. pieder vienam un tam pašam objektam, un atrodas vienā un tajā pašā vietā attiecībā pret šo objektu abos attēlos. Vismaz 4 šādus punktus sniedz SIFT iezīmju meklēšanas algoritms, ja tam ir izdevies atrast vismaz 4 sakrītošas iezīmes, tāpēc kā atbilstošos punktus var izmantot SIFT algoritma rezultātu. Perspektīvās transformācijas matricas iegūšanai tiek izmantots algoritms, kas no atbilstošo punktu koordinātēm izrēķina 3×3 perspektīvās transformācijas matricu, no kuras var iegūt informāciju par to, kurā vietā precīzi jānovieto transformētais attēls, kas iegūts no priekšā braucošās automašīnas, attēlā, kas iegūts no aizmugurē braucošās automašīnas. Kad iegūta perspektīvās transformācijas matrica, atliek vien to pielietot priekšā braucošās automašīnas uzņemtajam attēlam, lai iegūtu attēlu, ko ievietot atbilstošajā vietā aizmugurē braucošās automašīnas uzņemtajam attēlam.

1.4.4 Eksperimenti un novērtējums

Lai novērtētu cik labi ir izdevies izstrādāt šo prototipu caurspīdīgas automašīnas iegūšanai tika veikts eksperiments ar vairākiem pēc kārtas iegūtiem attēliem no divām automašīnām, kas pārvietojas pa ceļu viena aiz otras. Lai pārbaudītu prototipa darbību nepieciešami attēli, kas uzņemti no divām automašīnām, kas pārvietojušās pa ceļu viena aiz otras. Iegūto attēlu paraugi redzami 1.6 att.



(a) Bilde no priekšā braucošās automašīnas



(b) Bilde no aizmugurē braucošās automašīnas

Att. 1.6: Attēlu paraugi.

Kā redzams starp 1.6 att. (a) un 1.6 att. (b) ir ļoti daudz būtisku atšķirību, attēli ir dažāda izmēra, 1.6 att. (a) izmēri ir 480×320 pikseļi, bet 1.6 att. (b) izmēri ir 352×288 26 pikseļi, izmērs gan nav tā būtiskākā atšķirība, jo to var viegli novērst apgriežot lielāko attēlu vai mērogojot mazāko. Lielākas problēmas sagādā tas, ka kameras uz abām automašīnām nav novietotas ar vienādu skata punktu, 1.6 att. (a) redzams, ka kamera vairāk pavērsta uz ceļu un mazāk attēlo to, kas notiek blakus ceļam pa labi no automašīnas, savukārt 1.6 att. (b) kamera pavērsta vairāk uz to, kas atrodas pa labi no ceļa un mazāk attēlo tieši to, kas notiek uz ceļa kreisajā pusē. Vēl viena nianse, kas nav tik labi redzama,

bildēm nav vienāds gaišums, 1.6 att. (a) objekti izskatās gaišāki nekā 1.6 att. (b), tas skaidrojams ar to, ka tika izmantoti dažādi viedtālruņi ar dažādām kamerām.

Lai novērtētu cik veiksmīgi izdevies izstrādāt algoritmu, kas attēlotu priekšā braucošo automašīnu caurspīdīgu, izveidotais attēlu sapludināšanas algoritms tika darbināts uz vairākām secīgām bildēm, kur divas automašīnas pārvietojas pa ceļu viena aiz otras. Visi šajā eksperimentā iegūtie attēli redzami tiešsaistē izvietotajā video <http://youtu.be/f-wg34euXkM>.



Att. 1.7: Vairāki secīgi caurspīdīgas automašīnas attēli.

Lai iegūtu šādus vairākus secīgus attēlus tika izmantots modificēts attēlu sapludināšanas algoritms, kas pirms attēlu sapludināšanas izvēlējās vienu attēlu no aizmugurē braucošās automašīnas un mēģināja tam piemeklēt vislabāk atbilstošo attēlu no priekšā braucošās automašīnas, kā kritēriju labākajai atbilstībai izmantojot sakrītošo iezīmju skaitu. Diemžēl izrādījās, ka iezīmju meklēšana uz šādiem zemas kvalitātes attēliem nestrādā tik labi kā gribētos un priekšā braucošās automašīnas uzņemtais attēls, kam sakrīt visvairāk iezīmju ar aizmugurē braucošās automašīnas uzņemto attēlu ne vienmēr ir optimālais attēls ko izvēlēties attēlu sapludināšanai caurspīdīgas priekšā braucošās automašīnas iegūšanai. 1.7 att. labi redzams, ka, lai arī priekšā braucošā automašīna ir caurspīdīga, tālumā redzamo koku silueti nesakrīt, tas nozīmē, ka ievietotais attēls nav uzņemts tajā pašā vietā, kur oriģinālais attēls vai arī ievietotā attēla perspektīva ir nepareiza. No kā seko, ka informācija, kas attēlota aiz caurspīdīgās automašīnas var būt nepilnīga vai arī pilnīgi nekorekta.

1.5 Secinājumi

Caurspīdīgu automašīnu iegūšanai tika izmantas trīs metodes – kontūru noteikšana, objektu atrašana un attēlu sapludināšana. No šīm trīs metodēm pozitīvu rezultātu izdevās iegūt vienīgi izmantojot attēlu sapludināšanas metodi. Veicot eksperimentus ar attēlu sapludināšanas metodi tika secināts, ka iegūtie attēli nav pietiekoši labi, jo tie satur nepilnīgu vai nepareizu informāciju par to, kas atrodas aiz caurspīdīgās automašīnas.

Nodaļa 2

ŠOPS ar Ramana optisko pastiprinātāju

2.1 Ievads

Ramana pastiprinātāja novērtēšanai tiks apskatīta gan diskrēta, gan sadalīta Ramana pastiprinātāju realizācijas. OptSim piedāvā Ramana pastiprinātāja modeli, kas ir iebūvēta optiskajās šķiedrās un lietotāja interfeisā tiek atspoguļota kā izvēles sekcija, kuru var ieslēgt un definēt visus nepieciešamos parametrus. Uzreiz jāpiezīmē, ka šajā modelī ASE radītais troksnis tiek pievienots tikai pastiprinājuma izmantojamās šķiedras galā un tiek definēts pēc pastiprināta signāla spektra formas. Nekādas mijiedarbības starp ASE trokšņiem un signālu šīs šķiedras ietvaros netiek ņemtas vērā. Diskrētais pastiprinātāja modulis tiks reprezentēts kā paaugstinātas nelinearitātes šķiedras (HNLF) gabals ar pumpējoša starojuma avotu. Sadalītais pastiprinātais tiks realizēts standarta vienmodu šķiedrā. Abi pastiprinātāju veidi tiks apskatīti pie tieši, pretēji un abpusēji vērsta pumpējoša starojuma. Vienādu apstākļu nodrošināšanai pastiprinātāji tiks izvietoti 72 km attālumā no raidītāju bloka.

2.2 Diskrēta Ramana pastiprinātāja paaugstinātas nelinearitātes šķiedras garuma izvēle

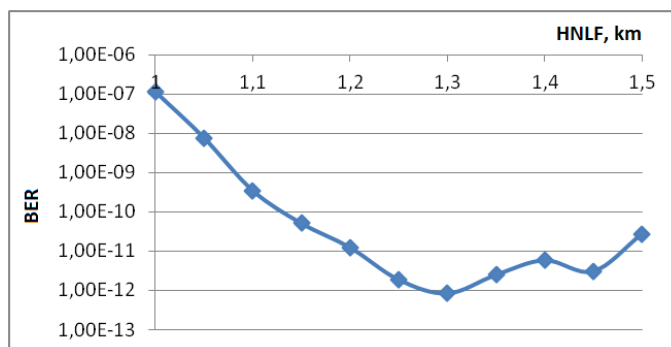
Parasti diskrēti Ramana pastiprinātāji tiek realizēti izmantojot HNLF vai arī DCF šķiedru un jaudīgu pumpējoša starojuma avotu. HNLF šķiedra spēj nodrošināt lielāku pastiprinājumu nekā DCF šķiedra, pateicoties mazākam šķiedras efektīvam laukumam un lielākam nelinearitātes koeficientam, kas tiek panākts, izmantojot specifiskus piemaisījumus. Optisko zudumu lielums pumpējoša starojuma joslā un C joslā (1530-1565 nm) DCF šķiedras gadījumā ir par 0.05 dB lielāki nekā HNLF šķiedrai. Tieši tāpēc tika pieņemts lēmums izmantot tieši HNLF šķiedru. HNLF šķiedras parametri, kas tika izmantoti šī darba ietvaros, tika aprakstīti, kur tika specificēta paaugstinātas nelinearitātes šķiedra, kuru izmanto diskrētos Ramana pastiprinātājos. Šīs

šķiedru raksturojošie parametri ir parādīti 1. tabulā.

1. tabula. HNLF šķiedras parametri.

Parametrs	Lielums
Vājinājums pie 1550 nm	0.5 dB/km
Vājinājums pie 1450 nm	0.61 dB/km
Dispersija pie 1550 nm	-15 Ps/nm/km
Dispersijas slīpums	0.01 Ps/nm ² /km
Efektīvais laukums	10 μm ²
Nelineārais koeficients	15 1/W/km
PMD	0.05 Ps/km ^{0.5}

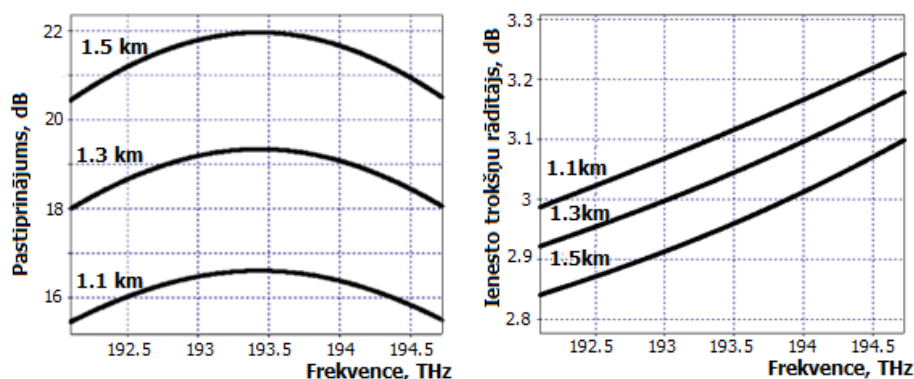
Pumpējoša starojuma frekvences izvēle gadījumos ar vienu pumpējošo avotu tika veikta tā, lai pastiprinājuma atšķirība pārraide izmantotajā viļņa garuma diapazonā būtu minimāla. Tas ir panākts, kad pastiprinājuma spektra pīķis sakrīt ar pārraidē izmantotās frekvenču joslas vidējo frekvenci – 193.45 THz. Šim nolūkam tika izmantots 1451.8 nm jeb 206.497 THz pumpējošais starojums. Tālāk tiks apskatīti diskrēti Ramana pastiprinātāji ar tieši, pretēji un abpusēji vērsto pumpējošiem starojumiem. Vispirms bija nepieciešams noteikt vispiemērotāko HNLF šķiedras garumu. No HNLF šķiedras garuma ir atkarīgs ne tikai pastiprinājums, bet arī signāla kropļojumi un šķērstraucējumi, kuri rodas nelineāro efektu ietekmes dēļ. Augsto pastiprinājuma līmeni var sasniegt pie garas HNLF šķiedras un pie lielas pumpējošas jaudas. Apskatītās pārraides sistēmas gadījumā būtiskākais faktors, kas ierobežo pārraides attālumu, ir nelineāro efektu ietekme, jo to, atšķirībā no dispersijas un signāla vājinājuma, nevar kompensēt, izmantojot konkrēto ierīci. HNLF šķiedras pagarinājums ienesīs lielākus signāla izkropļojumus nekā lielas pumpēšanas jaudas izmantošana, tāpēc ir nepieciešams veikt HNLF šķiedras izvēli tieši pie lielas pumpējoša starojuma jaudas. Tika pieņemts lēmums veikt HNLF šķiedras izvēli pie 900mW 1451.8 nm tieši vērsta pumpējoša starojuma. Iegūtā pārraides sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no HNLF šķiedras garuma ir parādīta 2.1 attēlā.



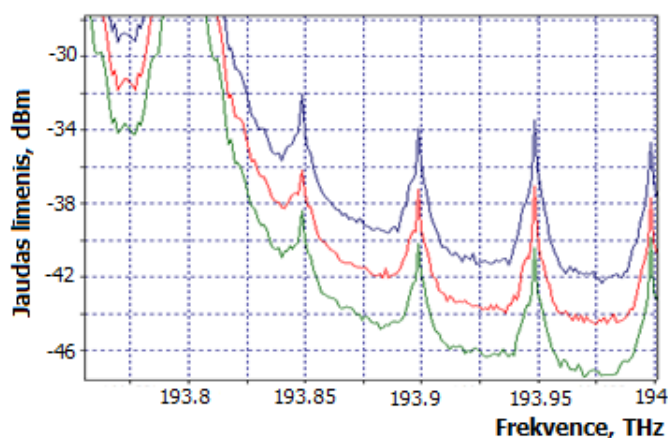
Att. 2.1: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no HNLF šķiedras garuma pie 900mW 1451.8nm tieši vērsta pumpējoša starojuma, 45 km attāluma starp pastiprinātāju un uztvērēju bloku un 17 km garas DCF šķiedras.

Balstoties uz iegūto grafisko sakarību, tika pieņemts lēmums izmantot 1.3 kilometru garu HNLF šķiedru. Pēc 1.3 kilometru HNLF šķiedras garuma

BER lielums sāk palielināties, un tas nevar būt izskaidrojams ar HNLF šķiedras ienesto vājinājumu vai pastiprinātāja radītajiem trokšņiem, jo šķiedras vājinājums C joslā ir tikai 0.5 dB/km. Kā ir redzams 2.2 attēlā, pastiprinājuma pieaugums ir nedaudz vairāk par 1 dB uz 100 metriem, un, palielinoties HNLF šķiedras garumam, pastiprinātāja ienesto trokšņu rādītājs tikai samazinās.



Att. 2.2: Signāla pastiprinājuma (pa kreisi) un ienesto trokšņu rādītāja (pa labi) frekvenču raksturlīknes pie 1.1, 1.3 un 1.5 km HNLF šķiedras garuma.



Att. 2.3: FWM radīto harmoniku spektrs Diskrēta Ramana pastiprinātāja izejā pie 1.1 (zaļš), 1.3 (sarkans) un 1.5 (zils) kilometru garas HNLF šķiedras.

No tā izriet, ka, kad HNLF šķiedras garums pārsniedz 1.3 km, uzkrātā nelineāro efektu ietekme kļūst par dominējošo faktoru, kas ierobežo sistēmas pārraides attālumu. Par to var pārliecināties 2.3 attēlā. Ar katru 100 metru HNLF šķiedras garuma pieaugumu kopējais signāla līmenis paceļas apmēram par 1.25 dB, bet FWM radīto harmoniku pīķi pieaug daudz straujāk. Piemēram, pastiprinātāja izejā pie 193.85 radītas harmonikas maksimums pie 1.1 km garas HNLF šķiedras sastāda -38.4 dBm, pie 1.3 km – -36.2 dBm, bet pie 1.5 km jau -32 dBm. Tika pieņemts lēmums tālākās simulācijās izmantot 1.3 km garu HNLF

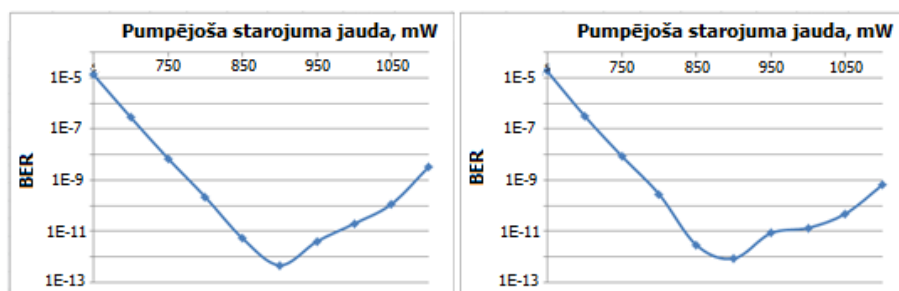
šķiedru.

2.3 Diskrēta Ramana pastiprinātāja pumpējoša starojuma izvēle un pārraides attāluma noteikšana

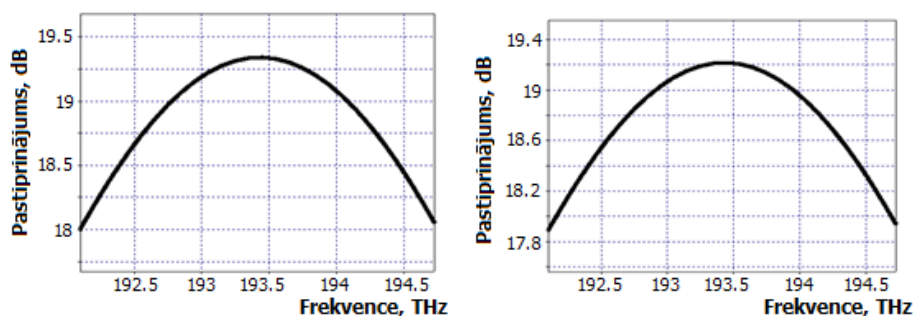
Diskrēta Ramana pastiprinātāja pumpējošais starojums tiks realizēts 3 dažādos veidos:

- 1 - kā tieši vērsta pumpējošais starojums;
- 2 - kā pretēji vērsta pumpējošais starojums;
- 3 - kā abpusēji vērsta pumpējošais starojums.

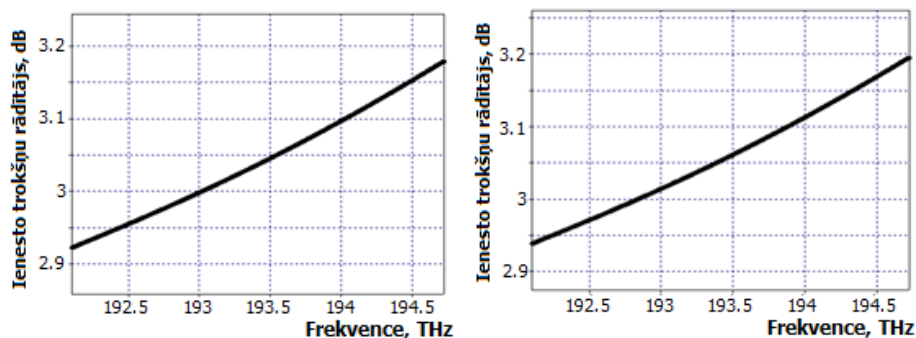
Vispirms paralēli tiks apskatīti tieši un pretēji vērsto pumpējošo starojumu gadījumi, un tad tiks apskatīts gadījums, kad pumpēšana notiek abos virzienos. Gadījumos ar vienu pumpējošo avotu, lai izvēlētos starojuma jaudu, tika iegūtas sistēmas maksimālās BER vērtības atkarības no tieši un pretēji vērsto pumpējošo starojumu jaudas, kuras ir attēlotas 2.4 attēlā.



Att. 2.4: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarības no diskreeta Ramana pastiprinātāja pumpējoša starojuma jaudas tieši vērsta (pa kreisi), un pretēji vērsta (pa labi) pumpējošo starojumu gadījumos pie 45 km attāluma starp pastiprinātāju un uztverošo bloku un 17 km garas DCF šķiedras.



Att. 2.5: Diskrēta Ramana pastiprinātāja radīta pastiprinājuma frekvenču atkarības pie tieši (pa kreisi) un pretēji (pa labi) vērsta 900mW 1451.8 nm pumpējošiem starojumiem.



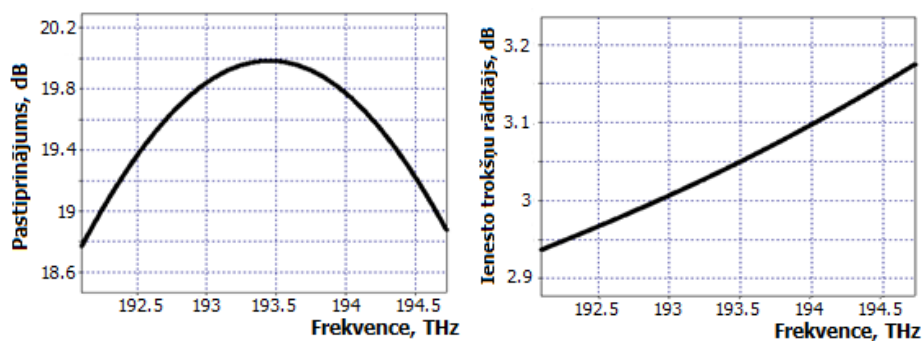
Att. 2.6: Diskrēta Ramana pastiprinātāja ienesto trokšņu rādītāja frekvenču atkarības pie tieši (pa kreisi) un pretēji (pa labi) vērsta 900 mW 1451.8 nm pumpējoša starojuma.

Tika konstatēts, ka abos gadījumos vismazākās BER vērtības tika novērotas pie 900 mW pumpējoša starojuma jaudas, bet BER vērtība pie 900 mW nedaudz mazāka ir tieši vērsta pumpējoša starojuma gadījumā. 2.5 attēlā ir redzams, ka pie tieši vērsta pumpēšanas tika panākts 19.34 dB pastiprinājums, bet pie pretēji vērsta – 19.21 dB. No 2.6 attēla ir redzams, ka ienesto trokšņu rādītājs pie tieši vērsta pumpējoša starojuma ir tikai par 0.02 dB mazāks nekā pretēji vērsta pumpējoša starojuma gadījumā. No tā izriet, ka HNLF šķiedras garums ir pārāk mazs, lai rastos būtiska atšķirība starp tieši un pretēji vērsto pumpēšanu, bet to garumu palielinājums var izraisīt pārmērīgu starpkanālu šķērstraucējumu daudzumu, uz ko norāda BER vērtību palielināšanās pēc 900 mW jaudas vērtības. Abpusēji vērsto pumpējošo starojumu gadījumā ir svarīgi atrast tādu pumpējošo starojumu kombināciju, kura nodrošinātu lielāko pastiprinājumu pie mazākās sistēmas BER vērtības. Tas varētu tikt panākts pie nosacījuma, ja tiks minimizēts ASE radīto trokšņu lielums un pastiprinājuma spektrs izmantotajā frekvenču joslā tiks maksimāli izlīdzināts. Šim nolūkam tika izmēģinātas visdažādākās abpusējās pumpēšanas kombinācijas un novērotas BER lieluma un pastiprinājuma koeficienta izmaiņas. Iegūtie rezultāti ir atspoguļoti 2. tabulā. Jāpiezīmē, ka tika veikta pastiprinājuma pīķa centrēšana attiecībā pret pastiprināmā signāla spektru, un vispiemērotākais variants tika novērots pie 1445 nm tieša virziena un 1458 nm pretēja virziena pumpēšanas.

2. tabula. Sistēmas maksimālās un minimālās BER vērtības pie dažādām pumpējošo jaudu kombinācijām.

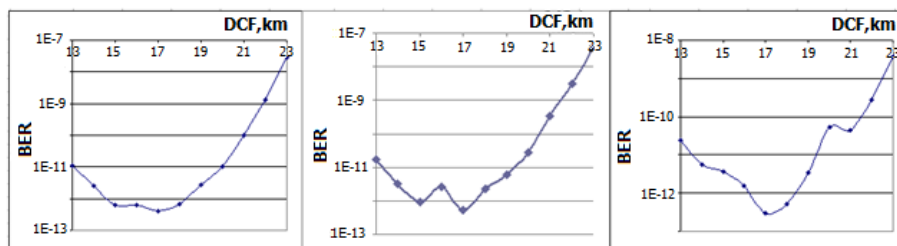
1445 nm tiešās pumpēšanas jaua, mW	1458 nm pretējas pumpēšanas jaua, mW	Maksimāla sastopama BER vērtība	Minimāla sastopama BER vērtība	Pastiprinājuma maksimums, dB
500	700	$1.93 \cdot 10^{-12}$	$1.05 \cdot 10^{-15}$	19.68
525	700	$5.30 \cdot 10^{-13}$	$2.02 \cdot 10^{-16}$	19.84
550	700	$4.16 \cdot 10^{-13}$	$8.38 \cdot 10^{-17}$	20.01
575	700	$1.64 \cdot 10^{-12}$	$3.45 \cdot 10^{-15}$	20.15
600	700	$8.47 \cdot 10^{-13}$	$6.58 \cdot 10^{-15}$	20.30
600	750	$1.56 \cdot 10^{-12}$	$5.84 \cdot 10^{-16}$	20.48
650	750	$1.20 \cdot 10^{-10}$	$1.57 \cdot 10^{-15}$	20.75
550	650	$7.07 \cdot 10^{-13}$	$2.23 \cdot 10^{-16}$	19.89
550	750	$6.61 \cdot 10^{-12}$	$2.61 \cdot 10^{-16}$	20.19
550	725	$3.02 \cdot 10^{-12}$	$2.23 \cdot 10^{-16}$	20.11

Mainot pumpējošo starojumu jaudas, tika konstatēta pastiprinājuma pīka frekvences nobīde. Tāpēc nācās atkārtoti meklēt tādu pumpējošo starojumu viļņa garumu kombināciju, pie kuras pastiprinājuma koeficienta izmaiņas izmantotā frekvenču diapazonā būtu vismazākās. Vismazākā sistēmas maksimālā BER vērtība tika novērota pie kombinācijas 1446 nm 550 mW tieša virziena un 1459 nm 700 mW pretēja virziena pumpēšanas. Iegūtās pastiprinājuma un ienesto trokšņu rādītāja frekvenču atkarības ir atspoguļotas 2.7 attēlā.



Att. 2.7: Diskrēta Ramana pastiprinātāja radītās pastiprinājuma koeficienta (pa kreisi) un ienesto trokšņu rādītāja (pa labi) frekvenču atkarības pie 550mW 1446nm tieši vērstas un 700 mW 1459 nm pretēji vērstas pumpēšanas.

No iegūtajiem rezultātiem izriet, ka iegūtais pastiprinājuma koeficients pārraidē izmantotajā frekvenču diapazonā mainās no 19.87 līdz 19.98 dB un savu maksimumu sasniedz pie frekvences 193.45 THz. Ienesto trokšņu rādītājs pieaug no 3.01 līdz 3.08 dB. Pumpējoša starojuma virziena izvēlei tiks iegūti maksimālie pārraides attālumi katrai apskatītajai pumpējošā starojuma realizācijai. Vispirms katram konkrētam pumpējošam starojumam tika piemeklēts DCF šķiedras garums, kas spēj samazināt sistēmas maksimālo BER vērtību līdz minimumam. Iegūtie rezultāti ir atspoguļoti 2.8 attēlā.



Att. 2.8: Sistēmas maksimālās BER vērtības atkarība no DCF šķiedras garuma pie 1451.8 nm 900 mW tieša virziena pumpēšanas (pa kreisi) pie 1451.8 nm 900 mW pretēja virziena pumpēšanas (pa vidu) un pie 1446 nm 550 mW tieša virziena un 1459 nm 700 mW pretēja virziena pumpēšanas (pa labi).

2.4 Secinājumi

Tika konstatēts, ka visos trīs gadījumos DCF šķiedras garums, kas nodrošina vismazāko sistēmas BER vērtību, atbilst 17 kilometriem. Maksimāla pārraides attāluma noteikšanai tika novērotas sistēmas maksimālās BER vērtības atkarības no attāluma starp pastiprinātāju un uztvērēju bloku, pie katra no apskatītajiem pumpēšanas veidiem.

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:

- Izanalizēta virtuālā realitāte: Caurspīdīgi objekti
- Izanalizēts ŠOPS ar Ramana optisko pastiprinātāju

Projektā iegūtie zinātniskie rezultāti tiks izmantoti tālākos pētījumos citos projektos viedo pilsētu attīstības jomā.