



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 APLIECINOŠĀ DOKUMENTĀCIJA

Pārskata numurs Nr.4. par periodu no 01.07.2014.g līdz 31.10.2014.g.

Projekta zinātniskais vadītājs: Kaspars Sudars, Dr.sc.comp., pētnieks
Pētījuma projekta izpildītāju saraksts: Jurgis Poriņš, Dr.sc.ing., pētnieks
Ilya Lyashuk, Dr.sc.ing., pētnieks
Andis Supe, pētnieks
Sergejs Olonkins, pētnieks
Igoris 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

2014.gads

Saturs

Ievads	2
ViPTeh	2
1 Viedie apgērbī viedo pilsētu iedzīvotājiem	3
1.1 Ievads	3
1.2 Situācija	3
1.3 Arhitektūra un prasību specifikācija	4
1.4 Progress un nākotnes perspektīvas	6
2 DWDM sakaru sistēmas simulācijas modeļa izveide	8
2.1 Ievads	8
2.2 16 kanālu 10 GBit/s DWDM sakaru sistēmas simulācija un iegūto rezultātu analīze	11
2.3 Pārtraides attāluma noteikšana	12
Kopsavilkums	16

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:

- Viedie apgērbi viedo pilsētu iedzīvotājiem
- DWDM sakaru sistēmas simulācijas modeļa izveide

Turpmākajās nodaļās ir apkopoti galvenie sasniegumi minētajos virzienos.

Nodaļa 1

Viedie apģērbi viedo pilsētu iedzīvotājiem

1.1 Ievads

Viedo pilsētu galvenais mērķis ir uzlabot dzīves kvalitāti to iedzīvotājiem. Viena no viedo pilsētu pieejām mijiedarbībai ar tās iedzīvotājiem ir viedo apģērbu izmantošana. Šādi apģērbi varētu iegūt dažādus lietotāju datus, nosūtīt tos infrastruktūrai apstrādāšanai, kā arī saņemt ziņojumus no pilsētas infrastruktūras, kas ļautu uzlabot lietotāju ikdienas gaitas. Šajā nodaļā aplūkots darba grupas veikums viedo apģērbu infrastruktūras izveidē, kas pielāgota viedo pilsētu vajadzībām.

1.2 Situācija

Viedajās pilsētās ir plašs viedo apģērbu pielietojuma potenciāls - cilvēku uzvedības analīze ļautu optimizēt procesus, satiksmi, enerģijas padevi u.tml., infrastruktūra varētu sadarboties ar apģērba valkātāju, piemēram, atbilstoši regulējot satiksmi, brīdinot par briesmām, izsaucot ātro palīdzību u.tml.

Lai gan viedo apģērbu jomā pēdējo gadu laikā ir notikusi strauja attīstība, joprojām neeksistē universāli viedo apģērbu standarti, kas ļautu veidot individuālus viedo apģērbu risinājumus, kas visi spētu sadarboties ar vienu un to pašu viedo pilsētu infrastruktūru.

Eksistējošie viedo apģērbu risinājumi bieži vien nav savietojami viens ar otru, kā arī ar ārējo infrastruktūru. Šī iemesla dēļ tiek patērēts daudz laika un enerģijas katru reizi no jauna veidojot datu vākšanas infrastruktūru un valkājamās sistēmas. Standartizācija ļautu novirzīt šo laiku no datu ieguves uz datu analīzi ļaujot viedajai pilsētai labāk sadarboties ar valkājamajām tehnoloģijām.

Papildus tam šāda tipa standartizācija varētu viedo apģērbu tirgū radīt straujāku izaugsmi, ļaujot ražotājiem ātrāk nonākt līdz gala produktam un tādā pašā laikā iziet cauri lielākam skaitam izstrādes ciklu.

Sobrīd mēģinājumi standartizēt viedo apģērbu jomu ir tikai bezvadu sensoru jomā - tāda sporta rokas pulksteņu kompānija, kā Garmin[1], ir izstrādājusi

standartu ANT+[2], kas ļauj valkāt vairākus bezvadu sensorus, kuriem katram ir individuāla baterija, un kas noraida visus datus bezvadu ceļā. Diemžēl šādi risinājumi nav atbilstoši viedo pilsētu vajadzībām. Pirmkārt, daudzi no šiem protokoliem pieder izstrādātājiem un ir aizvērti, liedzot plašāku adaptāciju. Otrkārt, palielinot sensoru skaitu uz ķermeņa, kā arī sistēmu lietojošo cilvēku blīvumu bezvadu signāli no daudzajiem individuāliem sensoriem savā starpā mijiedarbotos, traucējot cits citam. Tas palielina trokšņu līmeni sistēmā, radot iespēju pazaudēt datus, kā arī rada nepieciešamību patērēt vairāk enerģijas, kas valkājamās iekārtās ir ļoti limitēts resurss. Papildus tam, daudzās bezvadu ierīces, katra satur savu bateriju, kas lietotājam ir regulāri jāuzlādē un tas rada papildus neērtības, kas savukārt palēnina šādas sistēmas adaptāciju.

Pirmo punktu mēģina labot ieviešot zema energopatēriņa standartu Bluetooth LE[3], kas ļauj nelieliem sensoriem sūtīt datus standartizētā veidā. Tas ļautu dažādiem viedās pilsētas infrastruktūras punktiem saņemt datus vai nu tiešā veidā, vai arī savākt tos caur tālruņiem un citām iekārtām, kam ir gan bluetooth, gan interneta savienojums.

Tāpat esošajos risinājumos eksistē izvietojuma problēma - katras konkrētas problēmas risināšanai ir nepieciešams izvietot sensorus ļoti specifiskās ķermeņa vietās. Tas nozīmē, ka viedā apģērba izgatavotāji nevar ņemt gatavu infrastruktūru un tikai ievietot sev nepieciešamos sensorus - tiem nākas izstrādāt infrastruktūru pašiem, tā lai tā nodrošinātu datu savākšanu no sensoriem, kas atrodas tiem specifiski nepieciešamajās vietās.

Mūsu darba grupa meklē risinājumu, kas ļautu energoefektīvi savākt datus no daudziem valkājamiem sensoriem, kā arī ļautu ar salīdzinoši maziem ieguldījumiem īsā laikā izveidot jaunas valkājamo sensoru sistēmas balstoties uz kopīga valkājamo sistēmu standarta. Papildus tam ir svarīgi, lai sensorus varētu iestrādāt apģērbā tā lai tie netraucē valkātājam.

1.3 Arhitektūra un prasību specifikācija

Strādājot pie viedo apģērba problēmu risināšanas tika definētas prasības un lietošanas scenāriji, ko var lietot par pamatu universāliem viedajiem audumiem.

Galvenās identificētās universālas valkājamas sensoru sistēmas prasības ir šādas:

- Valkājamajam sensoru tīklam nepieciešams maksimāli samazināt barošanas un signālu vadu skaitu, jo vadus ir sarežģīti un dārgi iestrādāt elastīgā audumā, kā arī tie ir samērā trausli;
- Lai nodrošinātu sensoru izvietojuma universālumu sensoru tīkls jātaisa regulārs, ar daudzām pieslēguma vietām, nevis piemērots vienas problēmas risināšanai. Ideālā gadījumā, katram auduma kvadrātmetrām būtu jāsaturs vairāk kā 100 sensoru pieslēgvietas - vairāk pieslēgvietu nozīmē palielinātu iespēju atrast piemērotu pieslēgvietu konkrētas problēmas risināšanai, kā arī nodrošina labāku izšķirtspēju;
- Vadu topoloģijai, kas savieno sensoru pieslēgvietas, jābūt noturīgai pret vadu bojājumiem un auduma piegriešanu konkrētā formā, atrodot jaunus barošanas un signālu ceļus auduma tīklā, un tādējādi ļaujot šuvējiem brīvi

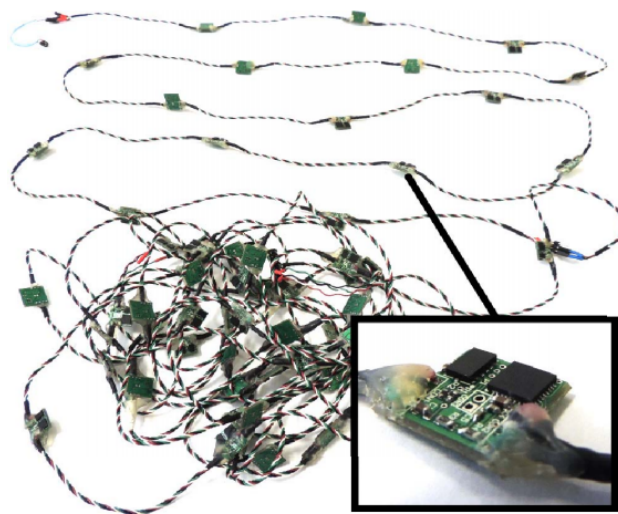
piegriezt šo viedo audumu un izgatavot viedo apģērbu, tādējādi samazinot specializētu iekārtu izgatavošanu;

- Iekārtai jābūt pietiekami nelielai un netraucējošai, lai to varētu integrēt audumā, un pietiekami elastīgai un robustai, lai tā varētu pārdzīvot ikdienas lietošanu un mitrumu. Ja tehnoloģiju nebūs ērti lietot vai arī tā nebūs pietiekami izturīga lai atmaksātos, tā negūs tirgus atzinību un nebūs vērtīga, kā universāls standarts.
- Apģērba izgatavotājam jābūt iespējai jebkurā auduma vietā pieslēgt datu savākšanas/pārraides iekārtu, kas sensoru nolasītos datus varētu savākt un pārraidīt tālāk viedās pilsētas infrastruktūrai.
- Lai atvieglotu valkājamā sensoru tīkla bateriju uzlādēšanu, un uzlabotu tīkla enerģijas glabāšanas efektivitāti tīklam nepieciešama viena centrāla baterija, ko var fiziski apvienot vienā iekārtā ar datu savākšanas/pārraides iekārtu.
- Viedā auduma iekārtas programmatūrai ir jāspēj savākt datus no visiem sensoru mezgliem, neatkarīgi no viedā apģērba gala konfigurācijas un vietas, kurā pieslēgta datu savākšanas iekārta. Lai to īstenotu ir nepieciešams īpašu uzmanību pievērst tērpa konfigurācijas atpazīšanai;
- Sistēmu ir jāvar ērti pārprogrammēt neatkarīgi no sensoru skaita un tīkla topoloģijas neizjaucot visu tīklu. Tas nozīmē, ka sensoru mezglus jāvar pārprogrammēt caur tīklu, bez tiešas fiziskas piekļuves katram mezglam. Sistēmas atjauninājumiem jānāk caur datu savākšanas iekārtas bezvadu savienojumu un jāizplatās pa visu tīklu nepārtraucot tādārbu;
- Sistēmai jānodrošina datu plūsmas apjoms, kas ļauj aplūkot vairāk kā vienu pilnu sistēmas datu kadru sekundē, tādējādi padarot sistēmu lietojamu ikdienas pielietojumiem - tajā skaitā savākt visu sensoru datus katrā kadrā un pārsūtīt tos tālākai apstrādei;

Papildus, lai šāda sistēma varētu kļūt plaši pielietota un sabiedrībā pieņemta, tai jāatbilst šādām prasībām:

- Veidojot šāda tipa viedajā audumā izmantojamās tehnoloģijas ir jāpatur prātā to derīgums ražošanai vairumā;
- Jāizstrādā standartizēti programmatūras rīki savākto sensoru datu apstrādei un analīzei uz dažādām sistēmām;
- Programmatūras un iekārtu standartam ir jābūt atvērtam un publiski pieejamam.

Šādas sistēmas pielietojums iekļautu viedā auduma izgatavošanu līdzīgā formātā, kā parastu audumu un no šī auduma tiktu izveidots apģērbs pēc tiem pašiem principiem, kā parasts apģērbs. Tiktu savienoti dažādu apģērba gabalu vadi un pievienota centrālā datu savākšanas un pārraides iekārta, kā arī baterija. Pēc tam atarībā no konkrētā viedā apģērba pielietojuma tiktu izvēlēti atbilstoši sensori un pēc tam novietoti atbilstošākajos viedā apģērba sensoru tīkla punktos. Pēc tam sistēma pirmo reizi to ieslēdzot veiktu



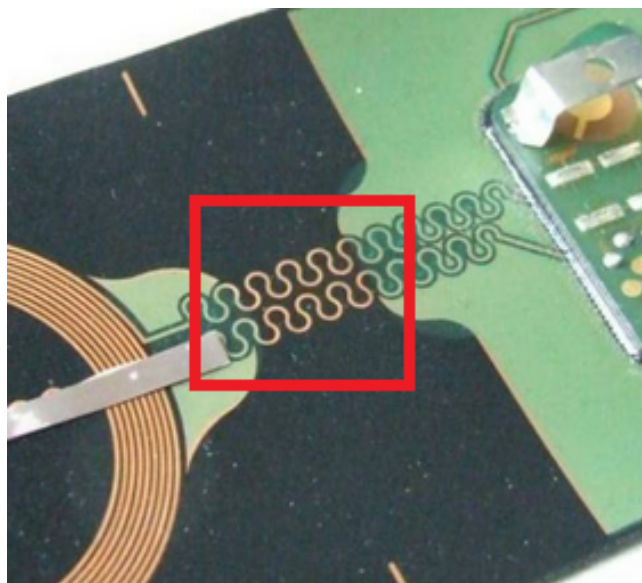
Att. 1.1: Sensoru mezgli rindas topoloģijā.

pašdiagnostiku un uzstādītu datu savākšanas, kā arī strāvas padeves ceļu tīklā. Pēc nepieciešamības sistēmas mezgli tiktu automātiski ieprogrammētu ar jaunākajām programmatūras versijām un tīkla savāktie dati tiktu pārsūtīti aprādei vai nu uz līdzīgu nēsājamo mobilo ierīci vai arī citu ierīci, kas pārsūtītu datus uz viedās pilsētas centrālo tīklu.

1.4 Progress un nākotnes perspektīvas

Dažās no iepriekš minētajām jomām jau norit citi pētījumi ar uzskatāmiem rezultātiem. Piemēram, mēģinājumi izveidot topoloģiju skaitliski lielumam audumā iestrādājamam sensoru tīklam ar izvietojumu rindas topoloģijā [4] (Attēls 1.1). Šajā sistēmā sensoru rindas vienā galā pieslēdz datu savākšanas iekārtu, kas reizē satur arī enerģijas avotu un bezvadu pārraides infrastruktūru. Minētajā sensoru tīkla prototipā ir 63 sensoru mezgli, kas integrēti uz muguras valkājamā auduma virsmā un kuru datus vairākas reizes sekundē sistēma spēj savākt un pārraidīt uz telefonu, datoru vai citu ierīci apstrādei un glabāšanai. Cits piemērs jau esošam darbam šajā jomā ir elastīgu vadu iestrāde audumā [5]. Šī tehnoloģija ļauj izgatavot īpaši plānas elastīgas elektriskās shēmas, kuras ar karstumu tiek pārnestas uz auduma (Attēls 1.2). Veidojot elektrisko shēmu celiņus formās, kas pieļauj deformāciju ir iespējams izveidot elastīgu shēmu, kas deformējas kopā ar audumu, tajā pašā laikā neupurējot stabilitāti vai nemainīgu vadu pretestību, kā tas ir citos risinājumos ar elektrību vadošiem elastīgiem diegiem.

Šajā projektā šobrīd tiek strādāts pie fiziskās topoloģijas problēmu risināšanas. Konkrētā problēma ir liela skaita sensoru mezglu ieprogrammēšana un vēlāka pārprogrammēšana darba laikā (neizjaucot iekārtu) izmantojot Bootstrap Loader (BSL) sistēmu, kas pieejama modernos mikrokontroleros. Īsumā algoritms ļauj tīkla datus savākšanas un vadības iekārtai uzsākt visu tīklā iesaistīto sensoru mezglu programmatūras atjaunināšanu tām esot darba režīmā.



Att. 1.2: Elastīga vada piemērs.

Katrs mezgls pēc kārtas tiek apturēts un palaižoties no jauna pieprasa pa tīklu sev jaunāko programmatūras versiju. Kad mezgla programmatūra ir atjaunota, tas atsāk darbu un ļauj programmu atjaunināt tālāk esošajiem mezgliem (jo dati tiek sūtīti caur mezgliem, lai ietaupītu vadu materiālu, kā arī nodrošinātos pret signāla zudumiem garos vados).

Paralēli ar šo sistēmi tiek pētītas arī iespējamās vadu konfigurācijas īpašu uzmanību pievēršot materiāla patēriņam, viedā auduma elastībai un noturībai pret bojājumiem, kā arī datu nosūtīšanas efektivitātei.

Darbs projektā turpināsies pie šo problēmu risināšanas arī nākamajā periodā veidojot robustu programmatūras, kā arī strāvas un datu apmaiņas tīklu pielietojumiem viedajos audumos.

Nodaļa 2

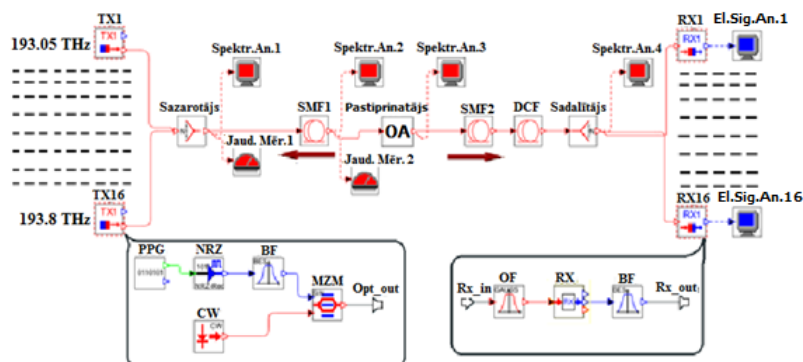
DWDM sakaru sistēmas simulācijas modeļa izveide

2.1 Ievads

Dažādu veidu optisko pastiprinātāju darbības salīdzināšanai ir nepieciešams izveidot tādu sakaru sistēmas simulācijas modeli, kurā būtu vieglāk identificēt kvalitāti degradējošus faktorus, kas varētu izpausties sistēmās ar optiskajiem pastiprinātājiem. Tātad ir nepieciešams, lai izveidotajā sakaru sistēmā lielu lomu spēlētu pastiprinātāju ienestie trokšņi un nelineāro efektu ietekme, kā arī starp kanālu ietekmes. Šim nolūkam tika izveidota 16 kanālu DWDM sakaru sistēma ar 10 Gb/s pārraides ātrumu katrā kanālā, 50 GHz starp kanālu intervālu un NRZ-OOK modulācijas formātu.

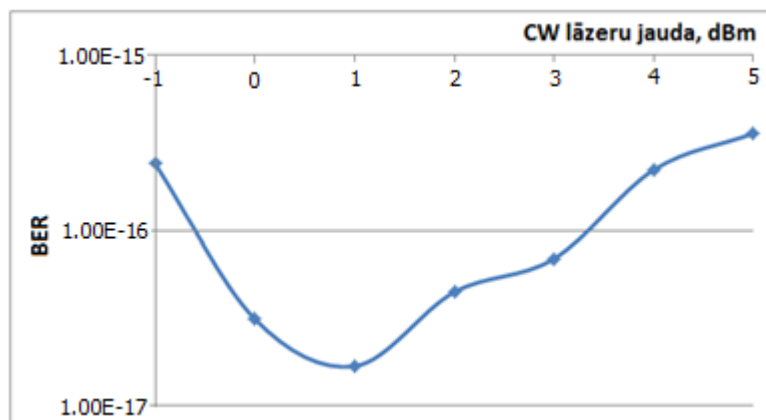
Komerציālās DWDM sakaru sistēmās parasti izmanto līdz 80 kanāliem ar starp kanālu intervālu 50 GHz un pārraides ātrumu kanālā 10 Gb/s, vai dažkārt pat 40 Gb/s katrā kanālā. Tika pieņemts lēmums izveidot tieši 16 kanālu DWDM sakaru sistēmu, jo 16 kanālu WDM sakaru sistēmas ir viens no populārākajiem risinājumiem komerciālā izmantošanā. No vienas puses, šāds kanālu skaits ir pietiekami mazs, lai simulāciju veikšanas laiks nebūtu pārāk liels, bet no citas puses, tas ir pietiekams, lai simulāciju gaitā būtu ievērotas arī starp kanālu mijiedarbības. No optisko pastiprinātāju salīdzinājuma viedokļa pie 40 Gb/s pārraides ātruma milzīga dispersijas ietekme, kas parādās plaša 40 Gb/s signāla spektra dēļ, neļautu objektīvi analizēt tieši pastiprinātāju radīto kropļojumu ietekmi uz pārraides kvalitāti. Tātad tika izvēlēts 10 Gb/s pārraides ātrums katrā kanālā. Neskatoties uz to, ka izvēlētais pārraides ātrums tiek dēvēts par 10 Gb/s, simulāciju laikā tika izmantots 9.953 Gb/s pārraides ātrums, jo tas atbilst sinhrono optisko tīklu SONET OC-192 vai SDH STM-64 standartiem. Starp kanālu intervāls tika izvēlēts saskaņā ar ITU-T G694.1 rekomendāciju, kur ir definēti intervāli un frekvenču sadalījums starp kanāliem DWDM sakaru sistēmās. Šajā rekomendācijā ir definēti 4 starp kanālu intervāli: 12.5 GHz, 25 GHz, 50 GHz un 100 GHz. 50 GHz starp kanālu intervāla izvēle var tikt pamatota ar jau iepriekš minēto apgalvojumu, ka šis starp kanālu intervāls bieži tiek izmantots DWDM sakaru sistēmās. NRZ-OOK modulācijas formāts tika izvēlēts, jo tas ir ekonomiski izdevīgs risinājums raidītāju un uztvērēju uzbūves ziņā un tas spēj nodrošināt pietiekami kvalitatīvu maģistrālu sakaru

sistēmu darbību pie pārraides ātruma kanālā 10 Gb/s. Izveidotais sakaru sistēmas simulācijas modelis ir atspoguļots 2.1 att.



Att. 2.1: Izveidota 16 kanālu 10 Gb/s DWDM sakaru sistēmas ar 50 GHz starp kanālu intervālu un NRZ-OOK modulācijas formātu simulācijas shēma.

Kā ir redzams 2.1 attēlā, raidītāju bloks sastāv no 16 raidītājiem ar radīto optisko starojumu frekvencēm diapazonā no 193.05 līdz 193.8 THz. Katrs raidītājs sastāv no impulsu ģeneratora, kas kalpo kā datu avots, NRZ kodētāja, elektriskā Besela filtra, Maha-Cendera modulatora (MZM) un nepārtraukta optiska starojuma avota (CW lāzera). Tieši impulsu ģenerators ir ierīce, kura nosaka pārraides ātrumu katrā kanālā, kas mūsu gadījumā atbilst 9.953 Gb/s. Impulsa ģenerators radītā datu plūsmas iziet caur NRZ kodētāju, kurš ir atbildīgs par datu plūsmas pārveidošanu NRZ kodā. Tad šī NRZ kodētā bitu plūsma iziet caur zemfrekvences Besela elektrisko filtru, kura mērķis ir ierobežot elektrisko impulsu spektru, atfiltrējot augstfrekvences komponentes, kuriem nav informatīvas vērtības. Tika izmantots tieši Besela elektriskais filtrs, jo tam ir vislineārākā fāzes pārvades funkcija. Šī zemfrekvences filtra -3 dB caurlaides josla ir 10 GHz, ar ko ir pilnīgi pietiekami, lai realizētu NRZ-OOK modulēta signāla pārraidi ar 10 Gb/s pārraides ātrumu. Nepārtrauktā starojuma avots ģenerē starojumu, kura frekvence atbilst konkrēta kanāla frekvencei. Radītā starojuma spektra platums -3 dB līmenī no maksimuma (FWHM) ir 10 MHz, un centrāla frekvence ir $193 + 0.5 \cdot n$ THz, kur n ir kanāla numurs, tātad 16 kanālu centrālie viļņa garumi no 1546.917 līdz 1552.927 nm ar soli ap 0.4 nm. Nepārtraukta starojuma lāzera jauda tika piemēlēta eksperimentāli, aplūkojot BER vērtības visos 16 kanālu uztvērējos. Tika piefiksētas maksimālas BER vērtības starp visiem 16 kanāliem pie katras lāzera jaudas vērtības, un rezultātā tika iegūta pārraides sistēmas maksimālas BER vērtības atkarība no nepārtraukta starojuma avota jaudas, kas ir atspoguļota 2.2. attēlā.



Att. 2.2: Sistēmas maksimālas BER vērtības atkarība no nepārtraukta starojuma avota jaudas, pie 50 km garas vienmodu šķiedras bez dispersijas kompensācijas.

Kā ir redzams 2.1 attēlā, vispiemērotākā CW lāzera jauda ir 1 dBm, kas atbilst 1.259 mW. Kā būs redzams no tālākiem rezultātiem, pat tāda raidītāju jauda ir pietiekama, lai izraisītu nelineāro efektu izpausmi pat bez optiska signāla pastiprināšanas. Tātad optiskie pastiprinātāji tiks izmantoti nelabvēlīgos apstākļos, kur lielu lomu spēlē tieši pastiprinātāju radītie signāla kropļojumi. Tālāk elektriskais signāls nonāk MZM, kur tas tiek izmantots, lai modulētu nepārtraukto starojumu. Pēc optiska starojuma modulēšanas visu 16 raidītāju optiskas plūsmas tiek apvienotas vienmodu šķiedrā (SMF), izmantojot optisko sazarotāju. Vienmodu šķiedras parametri tika izvēlēti saskaņā ar ITU-T G.652 rekomendāciju. Kā ir redzams 2.1 attēlā, šī vienmodu optiskās šķiedras izejā signāls nonāk līdz optiskajam pastiprinātājam, kas kompensēs uzkrāto šķiedras optiska vājinājuma ietekmi. Tieši šajā vietā tiks ievietoti gan diskrētie optiskie pastiprinātāji, gan sadalīto optisko pastiprinātāju starojumu avoti, lai nodrošinātu vienādus apstākļus vienu simulēto optisko pastiprinātāju novērtēšanai. Tātad tie tiks izmantoti kā līnijas pastiprinātāji. Jāpiemin, ka sadalīto pastiprinātāju gadījumos pumpējošais starojums tiks izplatīts SMF1 un SMF2 šķiedrās, kā tas ir parādīts 2.1 attēlā ar sarkanām bultām. Tātad tieši vērsta pumpējoša starojuma gadījumā kā pastiprinājuma vide tiks izmantota SMF2 šķiedra, bet pretēji vērsta pumpējoša starojuma – SMF1 šķiedra. Pēc iziešanas caur optisko pastiprinātāju signāls nonāk vēl vienā vienmodu šķiedrā, kuras garums tiks mainīts, piemeklējot maksimāli sasniedzamo pārraides attālumu katrā konkrētā gadījumā. Pēc izplatīšanas caur šo vienmodu šķiedru signāls nonāk dispersiju kompensējošā šķiedrā (DCF), lai kompensētu nevēlamo dispersijas ietekmi uz uztvertā signāla kvalitāti. Izmantotas DCF šķiedras vājinājums pie viļņa garuma 1550 nm ir 0.55 dB/km, un dispersijas lielums pie šī viļņa garuma ir -80 ps/nm/km ar dispersijas slīpumu 0.19 ps/nm²/km. Ir vērtīgi pieminēt, ka šādas DCF šķiedras ienestie zudumi uz katru kilometru ir diezgan lieli un pie pilnīgas dispersijas kompensācijas kopējo DCF ienesto zudumu lielums būs ārkārtīgi liels. Šī iemesla dēļ tika pieņemts lēmums piemeklēt DCF šķiedras garumu katram konkrētam gadījumam, lai

atrastu bilanci starp kompensēto dispersijas ietekmi un DCF šķiedras ienesto vājinājumu. Pēc iziešanas caur DCF šķiedru optiskais signāls tiek sadalīts pēc optiskas jaudas starp visu 16 kanālu uztvērējiem ar optiska sadalītāja palīdzību. Kā ir redzams 2.1 attēlā, katram kanālam uztveroša daļa sastāv no Gausa optiska filtra, no elektriska Bessela filtra un no uztveroša moduļa ar regulējamu jutības sliekšni, kas galvenokārt reprezentē PIN fotodetektoru. Optiskais filtrs ir nepieciešams, lai tiktu vaļā no citu kanālu un trokšņu spektrālām komponentēm, lai tie neradītu papildus traucējumus optiskā signālā detektēšanas procesā. Tika izvēlēts tieši Gausa optiskais filtrs, jo šis optisko filtru tips rada vismazāk filtrēto optisko signālu fāzes kropļojumus. Gausa optisko filtru centrālās frekvences katrā kanāla atbilst attiecīgā raidītāja centrālajai frekvencei, bet filtra -3dB caurlaides josla ir 30 GHz, jeb 0.24 nm. Šī vērtība tika izvēlēta pēc tāda pati algoritma kā CW lāzeru jaudas vērtība. Pēc filtrēšanas optiskais signāls tiek detektēts un pārveidots elektriskajā laukā ar PIN fotodetektora palīdzību, kas ir uztveroša moduļa pamatsastāvdaļa. Šī elementa galvenie parametri ir centrālā frekvence, kura atbilst attiecīgā kanāla raidītāja centrālajai frekvencei, un minimālais detektēta signāla jaudas līmenis, kas ir nepieciešams, lai nodrošinātu nepieciešamo BER vērtību. Apskatītās pārraides sistēmas gadījumā BER lielumam ir jābūt zem 10^{-12} un, lai to nodrošinātu, ir nepieciešams vismaz -24 dBm signāls. Pēc detektēšanas elektriskais signāls atkal tiek filtrēts ar zemfrekvences Bessela elektrisko filtru, lai tiktu vaļā no trokšņiem, kuru frekvence neietilpst filtra caurlaides joslā, un tad ar elektriska signāla analizatoru palīdzību tiek iegūtas uztvertā signāla acu diagrammas un BER vērtības.

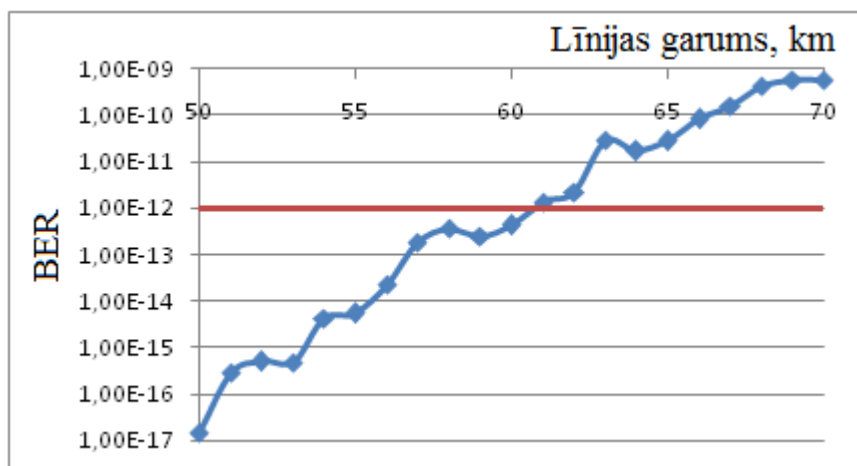
2.2 16 kanālu 10 GBit/s DWDM sakaru sistēmas simulācija un iegūto rezultātu analīze

Šajā nodaļā tiks aprakstīta optisko pastiprinātāju ieviešana izveidotajā DWDM sakaru sistēmas modelī, to pieskaņošana, rezultātu iegūšana un to analīze. Ticamu rezultātu iegūšanai ir ļoti svarīgi novērtēt optisko pastiprinātāju pilnīgi vienādos apstākļos. Šim nolūkam visi optiskie pastiprinātāji tiks ievietoti vienādā attālumā no raidītāju bloka, tādā veidā visiem optiskajiem pastiprinātājiem tiks nodrošināta vienāda ieejas signāla jauda. Ieejas signāla jauda tiks pieskaņota speciāli pastiprinātājam, kurš teorētiski rada visvairāk pastiprināmā signāla kropļojumus – pusvadītāju pastiprinātāja. Tādā veidā citi optiskie pastiprinātāji tiks izmantoti ne pašos labvēlīgākajos apstākļos, kas ļaus labāk novērtēt to radītos signāla kropļojumus. Optiskie pastiprinātāji tiks izmantoti kā līnijas pastiprinātāji, jo tieši līnijas pastiprinātāju gadījumā pastiprināmā signāla kropļojumi visvairāk iespaido pārraides kvalitāti. Optisko pastiprinātāju pieskaņošanai un darbības novērtēšanai galvenokārt tiks apskatītas detektēta signāla acu diagrammas un iegūtas BER vērtības uztverošā galā. Tā kā pārraides ātrums katrā kanālā ir 10 Gbit/s, apmierinošai sistēmas darbībai ir nepieciešams, lai BER vērtības nepārsniegtu 10^{-12} . Pieskaņojot katru optisko pastiprinātāju un iegūstot maksimālus sasniedzamus pārraides attālumus, tiks iegūtas BER vērtības visos 16 kanālos un tiks apskatītas galvenokārt tikai maksimālas BER vērtības starp visiem 16 kanāliem, jo,

ja pat vienā kanāla BER vērtība pārsniegs nepieciešamo 10^{-12} , sistēmas darbību nevar uzskatīt par apmierinošu. Izejot no visas šajā darbā iepriekš aprakstītas informācijas, tika pieņemts lēmums eksperimentāli novērtēt tikai to pastiprinātāju un to kombinēto risinājumu darbību, kas reāli var tikt izmantoti DWDM sakaru sistēmās. Tātad no iepriekš aprakstītajiem optisko signālu pastiprināšanas risinājumiem netiks novērtēta Briljuēna pastiprinātāju darbība, jo šī tipa optiskajiem pastiprinātājiem ir pārāk šaurs pastiprinājuma spektrs. Netiks apskatīts arī EDFA-SOA kombinētais risinājums, jo šāda pastiprinātāju kombinācija ģenerē pārāk daudz pārraidāmā signāla kropļojumus, un nevar nodrošināt pietiekami līdzenu pastiprinājuma spektru.

2.3 Pārraides attāluma noteikšana

Optisko pastiprinātāju darbības novērtēšanai ir nepieciešams kopīgais atskaites punkts. Šādu punktu reprezentēs sistēmas darbība bez optiskajiem pastiprinātājiem, kurai tiks noteikts sasniedzamais pārraides attālums. Iegūstot pārraides attālumus katrā konkrētā sistēmā un salīdzinot ar sistēmu bez pastiprināšanas, tiks noskaidrots ieguvums pārraides attāluma ziņā no katra aplūkotā optiskā pastiprinātāja pielietošanas. Pirms sasniedzamā pārraides attāluma meklēšanas ir nepieciešams noskaidrot aptuveno pārraides attālumu, kas ir sasniedzams bez dispersijas kompensācijas, lai pēc tam atrastu nepieciešamos DCF un SMF šķiedru garumus. Šim nolūkam tika palaista simulācija ar mainīgo līnijas garumu, un tika piefiksētas maksimālas BER vērtības no visiem 16 kanāliem katram konkrētajam līnijas garumam. Iegūtie rezultāti ir atspoguļoti 2.3 attēlā.



Att. 2.3: Sistēmas maksimālas BER vērtības atkarība no līnijas garuma.

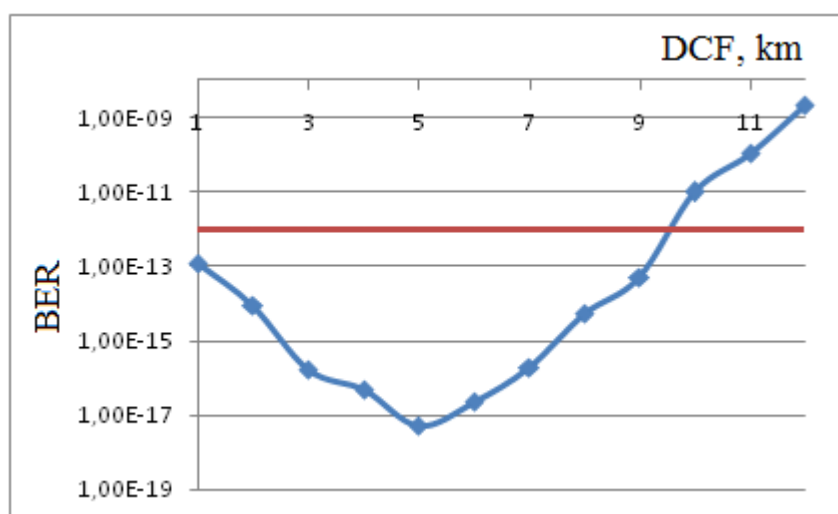
Rezultātā tika konstatēts, ka maksimālais līnijas garums, kurā ir izpildīts nosacījums, ka BER vērtībai jābūt mazākai par 10^{-12} , ir 60 km. Pie šāda līnijas garuma uztvērēju blokā maksimālā sastopamā BER vērtība ir novērota 4. kanālā, un atbilst $4.22 \cdot 10^{-13}$. Svarīgi ņemt vērā, ka iegūtā BER vērtība

ir ierobežota ne tikai ar optiskas šķiedras vājinājumu, bet arī ar hromatisko dispersiju. Dispersijas ietekmes kompensēšanai tika pielietota DCF šķiedra. Izmantojamas DCF šķiedras galvenie parametri ir aplūkoti sekojošā tabulā.

1.tabula. DCF šķiedras parametri

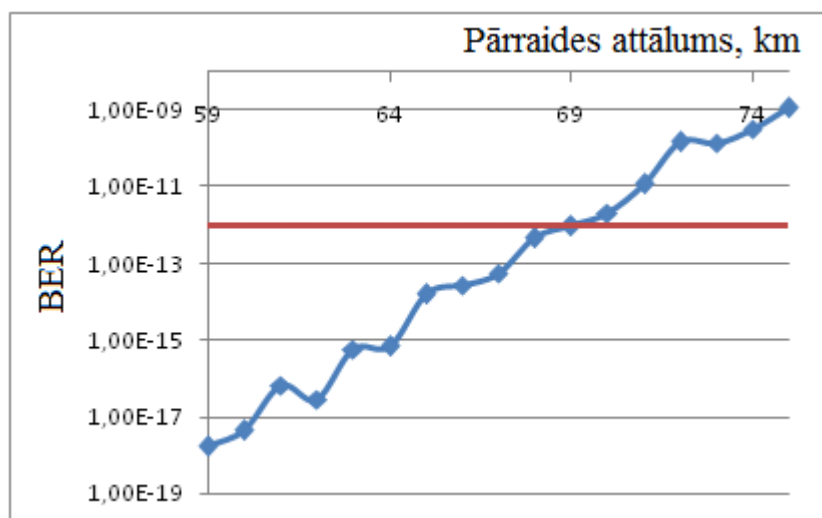
Parametrs	Lielums
Vājinājums pie 1550 nm	0.55 dB/km
Dispersija pie 1550 nm	- 80 ps/nm/km
Šķiedras nelinearitātes koef.	5.067 1/W/km
Nelineārais laušanas koeficients	$2.5 \cdot 10^{-20}$
Efektīvais šķēsgriezuma laukums	$20 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$

DCF šķiedras efektīvais šķēsgriezuma laukums ir četras reizes mazāks nekā parastai SMF šķiedrai. Šī iemesla dēļ nelineāro efektu izpausme DCF šķiedrā būs daudz lielāka nekā SMF šķiedrā. Tas arī ir viens no iemesliem, kāpēc tika pieņemts lēmums ievietot DCF šķiedru pie uztvērēju bloka, kur pārraidāmais signāls jau ir stipri novājināts. Nepieciešamā DCF šķiedras garuma noteikšanai tika veiktas simulācijas, mainot DCF šķiedras garumu diapazonā no 1 līdz 12 kilometriem, un pie katra DCF šķiedras garuma tika iegūts maksimālais BER lielums starp visiem uztvērēju bloka kanāliem. Iegūtie rezultāti ir aplūkoti 2.4 attēlā.



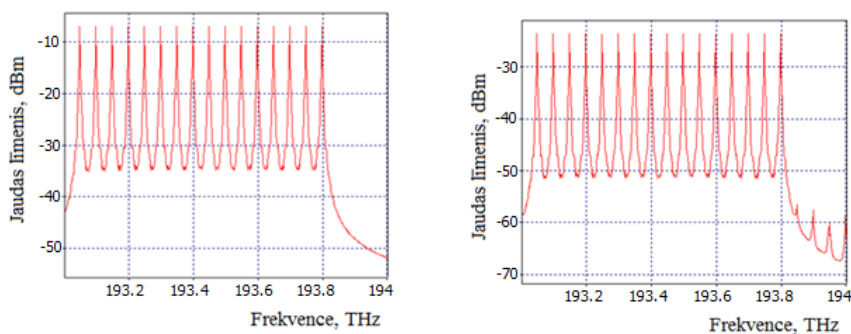
Att. 2.4: Sistēmas maksimālas BER vērtības atkarība no DCF šķiedras garuma.

Vadoties pēc iegūtajiem rezultātiem, tika pieņemts lēmums, ka vispiemērotākais DCF šķiedras garums ir 5 km, pie kura maksimālais BER lielums starp visiem kanāliem ir $5.31 \cdot 10^{-18}$. Šādi īpatnēji rezultāti varētu tikt traktēti sekojoši: pie DCF šķiedras garuma no 1 līdz 5 km BER lielums tika paaugstināts ar dispersijas iedarbību, bet pēc tam jau lielāku ietekmi uz BER vērtību radīja DCF šķiedras ienestais vājinājums, kas ir par 0.25 dB/nm/km lielāks nekā SMF šķiedras gadījumā.



Att. 2.5: Sistēmas maksimālas BER vērtības atkarība no SMF šķiedras garuma sistēmā ar dispersijas kompensāciju.

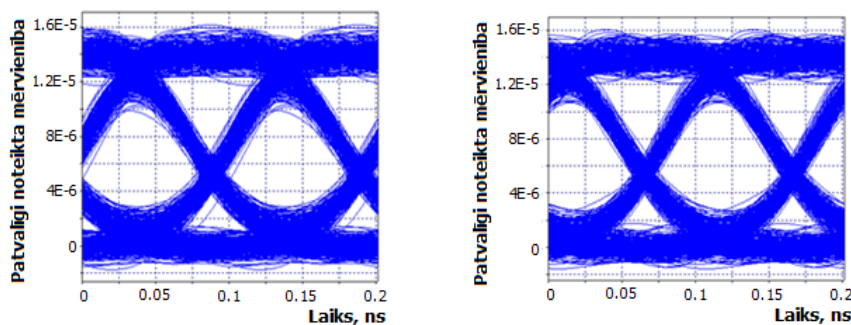
Maksimālā pārraides attāluma noteikšanai sakaru sistēmā bez optiska signāla pastiprināšanas tika palielināts SMF optiskās šķiedras garums ar soli 1 km, un noteikts tāds maksimālais garums, pie kura visos kanālos BER lielums būtu mazāks par 10^{-12} . Sistēmas maksimālas BER lieluma atkarība no SMF šķiedras garuma ir atspoguļota 2.5 attēlā. No iegūtās raksturlīknes ir redzams, ka šajā konkrētajā gadījumā maksimālais pieļaujamais SMF optiskās šķiedras garums ir 69 km, pie kura vislielākā sastopama BER vērtība ir $9.35 \cdot 10^{-13}$ (5. kanāls). Pārraidāmā signāla spektrs līnijas ieejā un izejā ir parādīti 2.6 attēlā.



Att. 2.6: Signāla spektrs pārraides līnijas ieejā (pa kreisi) un izejā (pa labi) sistēmai ar dispersijas kompensāciju.

2.6 attēlā ir novērojama četru viļņu mijiedarbības iedarbība uz pārraidāmo signālu, kas ir reprezentēta ar maziem optiskās jaudas līmeņa pacelumiem pārraidāmā signāla spektrā, periods starp kuriem ir vienāds ar pārraidāmo signāla starp kanālu intervālu. FWM radītās spektrālās komponentes parādās arī frekvencēs, kas sakrīt ar kāda konkrēta kanāla frekvenci un kalpo šī kanāla

signālam kā troksnis. Pagaidām četru viļņu mijiedarbes ietekme ir pārāk zema, lai būtiski ietekmētu signālu pārraidi. Šīs ietekmes avots ir blakusesošie kanāli, kuriem pseidogadījuma bitu plūsmā ir sakrituši laikā "1" biti, un tāpēc mūsu gadījumā FWM ietekmēs visvairāk tieši centrālos kanālus, jo tur tā ietekmē no vairāku kanālu frekvenču savstarpējas mijiedarbības sasummējās. 2.6 attēlā ir redzams, ka realizētais DWDM sakaru sistēmas raidītāju bloks nodrošina 16 kanālu signālu jaudas līmeni diapazonā no -7.04 līdz -6.95 dBm. Signāla spektrā līnijas izejā 5. kanālā ir novērojams viszemākais signāla līmenis (-23.57 dBm), kaut gan līnijas ieejā situācija bija citādāka. Tas liecina par to, ka FWM rezultātā šajā kanālā pārraidāmais signāls vairāk zaudējis enerģiju nekā citi. Vismazākā BER vērtība pie SMF šķiedras garuma 69 km tika novērota 16. kanālā ($1.58 \cdot 10^{-15}$). Vislielākā BER vērtība, kas tika novērota starp visiem kanāliem ir $9.35 \cdot 10^{-13}$, un tā ir konstatēta 5. kanālā. Acu diagrammas, kas tika iegūtas kanālos, kur novērotas visaugstākā un viszemākā BER vērtības, ir parādītas 2.7 attēlā.



Att. 2.7: Uztverta signāla acu diagrammas 5. kanālā ($BER = 9,35 \cdot 10^{-13}$, pa kreisi), 16. kanālā ($BER = 1,58 \cdot 10^{-15}$, pa labi).

Tātad tika konstatēts, ka izveidotās sakaru sistēmas maksimālais pārraides attālums gadījumā, kad netiek izmantota optisko signālu pastiprināšana, ir 69 km. Dispersijas kompensēšanai tika izmantota 5 km gara DCF šķiedra, kura ienesa 2.75 dB signāla vājinājumu.

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:

- Arhitektūras analīze viedo pilsētu viedajam apģērbam;
- Izstrādāts un analizēts DWDM sakaru sistēmas modelis.

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

Literatūra

- [1] Garmin. <http://www.garmin.com>. Accessed: 2014-10-30.
- [2] Ant message protocol and usage document. <http://www.thisisant.com/resources/ant-message-protocol-and-usage>. Accessed: 2014-10-30.
- [3] Specification of the Bluetooth system. https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=282159. Accessed: 2014-10-30.
- [4] A. Hermanis, R. Cacurs, K. Nesenbergs, and M. Greitans. Efficient real-time data acquisition of wired sensor network with line topology. In *Open Systems (ICOS), 2013 IEEE Conference on*, pages 133–138, Dec 2013.
- [5] R. Viero, T. Löher, M. Seckel, C. Dils, C. Kallmayer, A. Ostmann, and H. Reichl. Stretchable circuit board technology and application. In *Wearable Computers, 2009. ISWC '09. International Symposium on*, pages 33–36, Sept 2009.