



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.1. par periodu no 01.09.2013.g līdz 30.11.2013.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
	Andris Supe, pētnieks
	Sergejs Olonkins, pētnieks
	Igors Homjakovs, Dr.sc.comp., pētnieks
	Krišjānis Nesenbergs, asistents
	Atis Hermanis, asistents
	Ričards Cacurs, programmēšanas inženieris
	Valters Skrastiņš, elektronikas inženieris

ELEKTRONIKAS UN DATORZINĀTŅU INSTITŪTS

Rīga, Latvija
2013.gads

Saturs

Ievads	2
ViPTeh	2
1 Attēlu apstrāde datorredzei	3
1.1 Ievads	3
1.2 Raksturīgo punktu detektēšanas un aprakstīšanas risinājumi . . .	3
1.3 ORB implementācija “MATLAB”	4
1.4 Rezultāti un secinājumi	6
2 Datu pārraide pa optisko datu pārraides sistēmu	7
2.1 Ievads	7
2.2 Problēmas nostādne	7
2.3 EDFA, Ramana un pusvadītāju optiskie pastiprinātāji	9
2.4 Sasniegtie rezultāti	10
3 Robota balstītas algoritmu testēšanas platformas arhitektūra	12
3.1 Ievads	12
3.2 Robota arhitektūra	12
3.3 Rezultāti un secinājumi	13
4 Sensoro datu ieguve un sagatavošana	14
4.1 Ievads	14
4.2 Datu ieguve no kamerām tālākai objektu detektēšanai	14
4.3 Adaptīvs analogciparu pārveidotājs (ACP)	15
4.4 Rezultāti un nākotnes perspektīvas	16
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:

- Attēlu apstrāde datorredzei
- Datu pārraide pa optisko datu pārraides sistēmu
- Robota balstītas algoritmu testēšanas platformas arhitektūra
- Sensoro datu ieguve un sagatavošana

Turpmākajās nodaļās ir apkopoti galvenie sasniegumi minētajos virzienos.

Nodaļa 1

Attēlu apstrāde datorredzei

1.1 Ievads

Redze tiek uzskatīta par visinformatīvāko no cilvēka maņām, kas rada vēlmi šo maņu realizēt elektroniskās sistēmās, lai risinātu tādas problēmas kā: objektu atpazīšana, lokalizēšana un sekošana, telpiskas informācijas iegūšana par apkārtējo vidi u.c. Vizuālas informācijas iegūšana elektroniskās sistēmās mūsdienās ir samērā vienkārši realizējama, jo ir brīvi pieejamas videokameras, kas vienkārši uzstādāmas pilsētas infrastruktūrā. Mūsdienās pilsētvide jau ir aprīkota ar videonovērošanas iekārtām, kas ļauj šīs ierīces izmantot iepriekš minēto problēmu risināšanai. Tomēr redzēt nenozīmē saprast, tādēļ nepieciešamas metodes un algoritmi, kas ļauj, izmantojot vizuālu informāciju, jeb attēlus, risināt augstāk minētās problēmas. Šī iemesla dēļ tika pētīti jau esoši attēlu apstrādes algoritmi un apskatītas to pielietošanas iespējas, kā arī mēģināts radīt jaunus algoritmus.

1.2 Raksturīgo punktu detektēšanas un aprakstīšanas risinājumi

Raksturīgo punktu detektēšana un aprakstīšana ir svarīga problēma daudzos datorredzes pielietojumos. Kā galvenos var minēt: 3D informācijas atjaunošanā no 2D attēliem [6], objektu atpazīšanā un sekošanā [4], vizuālajā odometrijā [5], momentānā lokalizācijā un kartēšanā (SLAM) [3], attēlu sašūšanā [8] u.c.

Raksturīgie punkti ir punkti attēlā, kuru apkārtnē satur lielu informācijas daudzumu, nodrošinot šī punkta atrašanos citos, neatkarīgi uzņemtos attēlos. Šo punktu detektēšanai ir pieejami vairāki algoritmi: Harrisa stūru detektors, FAST, SURF, SIFT STAR u.c. Lai nodrošinātu šo punktu sasaistīšanu vairākos attēlos, nepieciešams veids kā šos punktus aprakstīt. Šim nolūkam ir pieejami vairāki algoritmi: SURF, SIFT, BRIEF, ORB, FREAK u.c. Dažu no iepriekš minēto raksturīgo punktu detektoru un deskriptoru (aprakstītāju) salīdzinājums ir veikts avotā [1]. Pēdējo gadu populārākie un plašāk izmantotie ir SIFT un SURF algoritmu, kuru galvenie trūkumi ir tas, ka tie ir patentēti algoritmi un skaitļošanas ziņā sarežģīti un lēni. Kā alternatīva šiem algoritmiem ir "OpenCV labs" veidots algoritms, kas nav patentēts un ir vienkāršāks skaitļošanas ziņā,

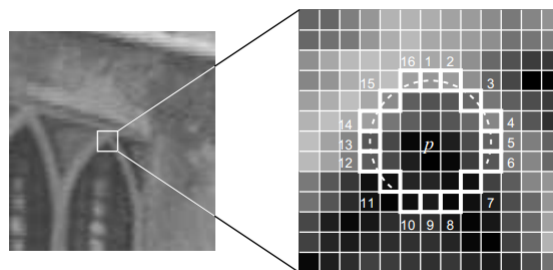
līdz ar to arī ātrāks, par abiem iepriekš minētajiem algoritmiem. Šo iemeslu dēļ tika izvēlēts apgūt un analizēt ORB algoritmu, lai pēc tam to varētu izmantot reālos pielietojumos.

1.3 ORB implementācija “MATLAB”

ORB algoritmā tiek izmantots uzlabots FAST punktu detektors un uzlabots BRIEF deskriptors, saukts par steered-BRIEF jeb stūrējošo BRIEF. Uzlabojumi šiem algoritmiem balstās uz rotācijas invariances nodrošināšanu. ORB algoritma apgūšanai “MATLAB” vidē tika implementētas oriģinālās FAST un BRIEF versijas, kā arī uzlabotās, kas izmantotas ORB algoritmā. Galvenā publikācija ORB analīzei [4].

FAST raksturīgo punktu detektors

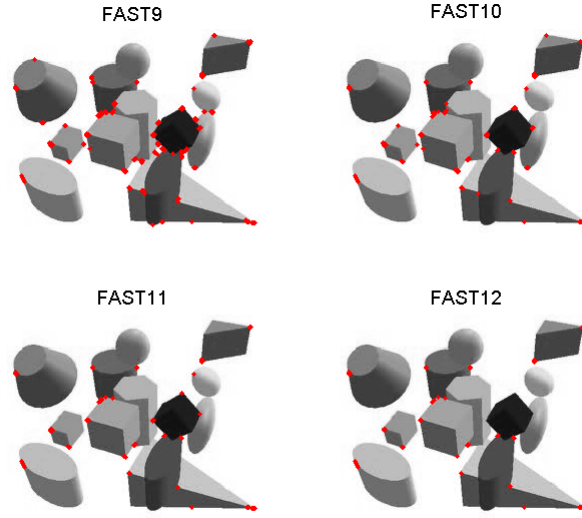
FAST raksturīgo punktu detektors balstās uz pikseļu intensitāšu salīdzināšanu, kas ilustrēta Att. 1.1. Tests tiek veikts izvēloties pikseli riņķa centrā - p , kas ir kandidāts būt par raksturīgo punktu. Testā tiek salīdzinātas kandidāta pikseļa un 16 pikseļu intensitātes vērtības, kas izvietotas punkta apkārtne veidojot riņķi. Pikselis p tiek uzskatīts par raksturīgo punktu, ja ap riņķa līniju atrodas n savienoti pikseļi, kuru intensitāte pārsniedz centra pikseļa p intensitāti par noteiktu sliekšni T , vari arī ap riņķa līniju atrodas n savienoti pikseļi, kuru intensitāte ir mazāka nekā centra pikselim par uzdoto sliekšņa vērtību T .



Att. 1.1: FAST raksturīgo punktu testa pikseļu izvēle[7].

Savienoto pikseļu skaitu n var izvēlēties dažādi, un parasti tiek izmantotas vērtības 9, 10, 11 vai 12. 12 pikseļu gadījumā testu var paātrināt sākumā pārbaudot tikai 1., 5., 9., un 8. pikseli. Ja vismaz trijos no pikseļiem testa kritērijs izpildās, tad var tikt pārbaudīti visi pikseļi, pretējā gadījumā šis pikselis var tikt atņemts kā raksturīgā punkta kandidāts, tādā veidā samazinot šo punktu detektēšanas laiku.

FAST raksturīgo punktu detektoru iespējams padarīt ātrāku, izmantojot mašīnāpmācības metodes [7], taču tās netika implementētas “Matlab” vidē. Att. 1.2 redzami ar implementēto FAST algoritmu detektētie punkti. Kā redzams šim detektoram piemīt trūkums, ka vairākās vietās tiek detektēti vairāki punkti, kas atrodas plakām. Šo problēmu var atrisināt izmantojot ne-maksimālo nospiešanu, kas arī tika implementēta “MATLAB” vidē.



Att. 1.2: FAST raksturīgie punkti detektēti ar “MATLAB” implementēto algoritmu”.

BRIEF un Steered-BRIEF deskriptors

BRIEF ir binārs raksturīgo punktu deskriptors, t.i., katrs no raksturīgajiem punktiem tiek aprakstīts ar bināru vektoru. Bināru deskriptoru galvenā priekšrocība ir tā, ka tiem ir vienkārša un ātra salīdzināšana izmantojot *Hemminga* attālumu, pretēji kā tas ir SIFT deskriptoram, kuram salīdzināšana notiek izmantojot L_2 normu.

BRIEF deskriptors tiek veidots definējot testu (aprakstīts izteiksmē (1.1)) attēla apgabalā ar izmēru $S \times S$ (raksturīgā punkta apkārtnē). Šajā testā tiek izvēlēti divi punkti a un b un salīdzinātas to intensitātes - I vērtības. Lai noformētu bināro vektoru tiek veikti vairāki testi (atkarībā no tā cik garš deskriptors ir nepieciešams). Punktu izvēli var veikt dažādos veidos, avotā [2] secināts, ka vislabākos rezultātus nodrošina testa punktu izvēle, izmantojot pseidogadījuma skaitļu ģeneratoru pēc Gausa sadalījuma ar vidējo vērtību 0, un variāciju $\frac{1}{25}S^2$. Avotā [4] šo punktu izvēle tiek veidota izmantojot mašīnāpmācības metodes, lai samazinātu korelāciju starp bināriem testiem.

$$\tau(I; a, b) = \begin{cases} 1, & \text{ja } I(a) > I(b) \\ 0, & \text{citos gadījumos} \end{cases}, \quad (1.1)$$

BRIEF deskriptoram nepiemīt rotācijas invariance un, avotā [4] tiek piedāvāts algoritms, kas, uzlabojot FAST punktu detektoru un BRIEF deskriptoru iegūst ātru raksturīgo punktu detektoru un deskriptoru ORB, kurš ir rotācijas invariants. FAST punktu detektors tiek uzlabots ieviešot punktiem leņķa komponenti, kas, rēķinot BRIEF deskriptoru, tiek izmantota, lai atbilstoši orientētu izvēlētos testa punktus. Rotācijas komponente FAST punktiem tiek

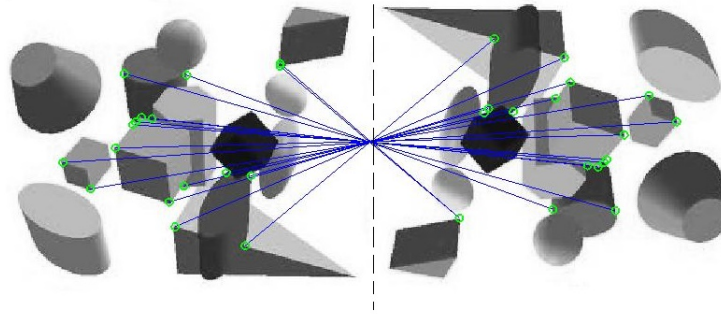
noteikta nosakot raksturīgā punkta intensitātes centroīdu punkta apkārtne pēc izteiksmes (1.2), kur m_{pq} aprēķināmi pēc izteiksmes (1.3). No raksturīgā punkta centra un centroīdas var tikt konstruēts vektors, un raksturīgā punkta orientācija tad tiek uzdota ar leņķi θ (1.4). Pēc tam rēķinot BRIEF deskriptoru, testa punkti tiek rotēti par leņķi θ , nodrošinot to, ka šie testi tiek sarēķināti vienādi, neatkarīgi no tā kāda ir raksturīgā punkta orientācija, nodrošinot rotācijas invarianci.

$$C = \left(\frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right) \quad (1.2)$$

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x,y) \quad (1.3)$$

$$\theta = \text{atan2}(m_{01}, m_{10}) \quad (1.4)$$

Kopējais ORB algoritms tika implementēts “MATLAB” un rezultāts aplūkojams Att. 1.3. Šajā attēlā redzam viens attēls, divās versijās, no kurām viena ir attēla rotēta versija pa 180° . Abos attēlos tiek detektēti raksturīgie punkti, un ar zilām līnijām tiek savienoti sasaistītie punkti abos attēlos.



Att. 1.3: ORB implementācija “MATLAB”.

1.4 Rezultāti un secinājumi

Par pārskata periodu ir veiksmīgi izanalizēts un implementēts ORB algoritms, kas ir daudzsološs vairākos būtiskos ar datorredzi saistītos pielietojumos kā objektu atpazīšana pēc klases, unikālu objektu atpazīšana un objektu lokalizācija telpā.

Nodaļa 2

Datu pārraide pa optisko datu pārraides sistēmu

2.1 Ievads

Multimediju pakalpojumu attīstība un interneta pakalpojumu lietotāju skaita palielinājums četras reizes tikai pēdējās desmitgades laikā izraisīja milzīgu pieprasījumu pēc ātrdarbīgām pārraides sistēmām. Šī visu laiku augošā pieprasījuma apmierināšanai visā pasaulē arvien vairāk tiek būvētas un izmantotas šķiedru optikas pārraides sistēmas. Šādās sistēmās kā pārraides vide galvenokārt tiek izmantotas vienmodu optiskas šķiedras. Maksimālais uz šo brīdi vienmodu šķiedrā sasniedzamais pārraides ātrums ir 69.1 Terabitus sekundē (Tbit/s). Lielāka pārraides ātruma sasniegšanai un šī resursa efektīvākai izmantošanai visā pasaulē tiek veikts milzīgs pētījumu daudzums. Galvenokārt šo pētījumu mērķi ir viļņgarumdales blīvēšanas (WDM) sakaru sistēmu un to komponentu darbības optimizācija, jo šī tehnoloģija ļauj efektīvāk izmantot optisko šķiedru pieejamos resursus nekā alternatīvo tehnoloģijas. Salīdzinot ar alternatīvām tehnoloģijām, WDM izmantošana ļāvusi palielināt reāli sasniedzamo pārraides ātrumu vairāk nekā par divām reizēm, kas viennozīmīgi veicināja telekomunikāciju pakalpojumu attīstību.

2.2 Problēmas nostādne

Šķiedru optikas pārraides sistēmu vēsture sākās 1970. gadā, un tas galvenokārt ir saistīts ar diviem notikumiem: ar pusvadītāju lāzera diodes izstrādi un optisko šķiedru iegūšanu, kuru vājinājums bija mazāks par 20 dB uz kilometru. Mūsdienīgās pārraides sistēmās vienmodu optisko šķiedru vājinājuma minimums ir 0,2 dB uz kilometru, un tas ir novērojams C viļņa garuma diapazonā, kas atbilst viļņa garumiem no 1530 līdz 1565 nm. Neskatoties uz to, ka vājinājuma vērtība ir tik zema, tā ietekme uzkrājas ar katru nākamo kilometru, un tas ievērojami degradē pārraidāmā signāla kvalitāti, jo fotodetektoru jūtība ir ierobežota. Ir divas iespējas, kā kompensēt pārraidāmā signāla vājinājumu: izmantojot signālu atkārtotājus vai pielietojot optiskos pastiprinātājus. Optisko signālu atkārtotāji detektē pārraidāmo optisko signālu, pārveido to elektriskajā

signālā, apstrādā un reģenerē to ar optiska raidītāja palīdzību. Pielietot optisko signālu atkārtotājus WDM sakaru sistēmu gadījumā ir pārāk dārgs un sarežģīts risinājums, jo tam ir nepieciešama visu pārraidāmo kanālu signālu demultipleksēšana, detektēšana, apstrāde un reģenerēšana. Optiskais pastiprinātājs ir komponente, kas ir būtiski ietekmējis šķiedru optikas pārraides sistēmu attīstību, jo tas spēj pastiprināt vairāku pārraidāmo kanālu signālus vienlaicīgi bez to demultipleksēšanas vai pārveidošanas kādā citā formā. Tas būtiski samazina izmaksas WDM sakaru sistēmās kanālu skaita paplašināšanai, daudzos gadījumos tie galvenokārt ir noteikti ar raidošo un uztverošo bloku komponentu izmaksām. Mūsdienās optisko pastiprinātāju izmantošana WDM sakaru sistēmās ļauj sasniegt pārraides attālumus lielākus par desmit tūkstošu kilometriem, tāpēc tādas sistēmas tiek plaši pielietotas ne tikai starppilsētu un starptautiskajās sakaru līnijās, bet tās arī apvieno kontinentus vienotā tīmeklī. Pierādījums šim apgalvojumam ir šajā gadā veiktais eksperiments, kur, izmantojot sadalītus Ramana pastiprinātājus, tika panākts 13288 km pārraides attālums 40 kanālu 112 Gb/s sistēmā ar 50 GHz starpkanālu intervālu un PM-QPSK modulācijas formātu. Ir dažādi optisko pastiprinātāju tipi, tādi kā pusvadītāju pastiprinātāji (SOA), pastiprinātāji uz leģētas šķiedras bāzes (DFA), Ramana pastiprinātāji, Briljuēna pastiprinātāji un parametriskie optiskie pastiprinātāji (FOPA). Šie optisko pastiprinātāju tipi izmanto atšķirīgus efektus optisko signālu pastiprinājuma sasniegšanai. SOA un DFA optiskie pastiprinātāji izmanto stimulētas emisijas parādību pastiprinājuma vidē. SOA gadījumā pastiprinājuma vide tiek reprezentēta ar pusvadītāju materiālu, bet DFA pastiprinātājos šim nolūkam tiek izmantota silīcija šķiedra, kura ir leģēta ar vienu no 14 retzemju elementiem ar atomnumuriem no 58 līdz 71. SOA pastiprinātāju izmantošana ir ekonomiski visizdevīgākais optisko signālu pastiprināšanas risinājums, bet šī tipa pastiprinātāji netiek tik plaši izmantoti WDM sakaru sistēmās kā DFA pastiprinātāji. SOA galvenais trūkums ir tas, ka šī tipa pastiprinātāji rada daudz pastiprinātas spontānas emisijas (ASE) trokšņus. SOA radītais pastiprinājums ir atkarīgs no pastiprināma signāla polarizācijas, un lielu ietekmi uz pārraides kvalitāti atstāj arī nelineāro efektu izpausme pusvadītāju materiālā. DFA galvenais trūkums ir nelīdzens un šaurs pastiprinājuma spektrs, kas galvenokārt ir atkarīgs no sasniegta populācijas inversijas līmeņa un no retzemju elementa, ar kuru tika leģēta šķiedra pastiprinātāja izveides procesā. Tātad šis risinājums nav pats elastīgākais WDM sakaru sistēmas kanālu skaita palielināšanas ziņā. Visbiežāk izmantotais retzemju elements DFA pastiprinātājos ir erbijs, jo ar erbiju leģētas šķiedras optiskie pastiprinātāji (EDFA) rada signālu pastiprinājumu viļņa garuma diapazonā no 1530 līdz 1565 nm, kurā novērojams silīciju šķiedru vājinājuma līknes minimums. Ramana, Briljuēna un parametriskie pastiprinātāji balstās uz nelineāro optisko efektu izmantošanas signālu pastiprināšanai. Ramana pastiprinātāji galvenokārt tiek pielietoti maģistrālās pārraides sistēmās, jo tie ģenerē ļoti maz ASE trokšņu un citu signāla kropļojumu. Ramana pastiprinātāju radītā pastiprinājuma spektrs ir ļoti plašs, un tā forma var tikt mainīta, variējot ar to pumpējošo starojumu parametriem. Ramana pastiprinātāju realizēšanai ir nepieciešami ļoti jaudīgi un līdz ar to arī dārgi pumpējošo starojumu avoti, un tas ir viens no būtiskākajiem Ramana pastiprinātāju trūkumiem. Optisko pastiprinātāju priekšrocību apvienošanai un galveno trūkumu daļējai kompensēšanai var izmantot dažādu tipu optiskos pastiprinātāju kaskādes slēgumā, tādā veidā

veidojot kombinēto optisko signālu pastiprināšanas risinājumu. Visplašāk pielietojamais kombinētais risinājums sastāv no sadalīta Ramana pastiprinātāja un EDFA pastiprinātāja kaskādes slēguma, bet dažos specifiskos gadījumos var tikt izmantoti arī Ramana-SOA un EDFA-SOA kombinētie risinājumi. Eksistē vairāki optisko signālu pastiprinātāju veidi un to kombinētie risinājumi, un katram no tiem ir savas priekšrocības, savi trūkumi un arī savas specifiskās nianšes. To visu ir būtiski ievērot, izvēloties konkrēto optisko signālu pastiprinātāju tipu konkrētai WDM sakaru sistēmai, jo tas var ievērojami iespaidot kopējo sistēmas darbību. Šī iemesla dēļ ir ļoti svarīgi novērtēt dažādu veidu optisko pastiprinātāju un to kombinēto risinājumu darbību vienādos apstākļos un identificēt faktoros, kas var ievērojami pasliktināt pārraidāmā signāla kvalitāti.

2.3 EDFA, Ramana un pusvadītāju optiskie pastiprinātāji

Aprakstītās problēmas risināšanai darbam tika izvirzīts šāds mērķis - izpētīt EDFA, Ramana un pusvadītāju optiskos pastiprinātājus, analizējot to radītos trokšņus un pastiprināmo spektru, un novērtēt to kombinēto risinājumu pielietošanas iespējas viļņgarumdales blīvēšanas sakaru sistēmās. Izvirzītā mērķa sasniegšanai tika formulēti šādi darba uzdevumi:

- Novērtēt optisko pastiprinātāju nozīmi šķiedru optikas pārraides sistēmās;
- Aprakstīt EDFA, Ramana un pusvadītāju optisko pastiprinātāju darbības principus, un novērtēt to pielietošanas iespējas;
- Novērtēt apskatītos optiskos pastiprinātājus pēc radīto signāla kropļojumu daudzuma un pastiprināmā spektra;
- Izveidot 16 kanālu DWDM sakaru sistēmas simulācijas modeli ar 10 Gbit/s pārraides ātrumu kanālā, NRZ-OOK modulācijas formātu un 50 GHz starpkanālu intervālu, izmantojot OptSim programmatūru;
- Papildināt izveidoto sakaru sistēmas modeli ar attiecīgiem optisko signālu pastiprināšanas veidiem un novērtēt sistēmas darbību;
- Izpētīt Ramana-EDFA, Ramana-SOA kombinētos optisko pastiprinātāju risinājumus 16 kanālu DWDM sakaru sistēmā. Novērtēt optisko signālu pastiprināšanas iespējas Ramana, EDFA, SOA, Ramana-EDFA un Ramana-SOA risinājumiem un veikt to salīdzinājumu.

Viens no efektīvākajiem veidiem, kā var palielināt pārraides ātrumu, ir palielināt pārraides sistēmā izmantoto kanālu skaitu. To varētu sasniegt, pievienojot papildus šķiedras, izmantojot laikdales blīvēšanas tehnoloģiju (TDM), vai arī pielietojot viļņgarumdales blīvēšanas tehnoloģiju (WDM). Papildus optisko šķiedru pievienošana ir vienkāršākais no trīs pieminētajiem risinājumiem, un optiskās šķiedras cena nav liela, bet darbi, kas ir saistīti ar šī risinājuma realizāciju, ir pārāk dārgi un pati metode ir neefektīva, salīdzinot ar TDM un WDM. TDM galvenā ideja ir sadalīt pārraidāmo kanālu bitu plūsmas, katra konkrēta kanāla bitus ielikt attiecīgajos laika intervālos un pārraidīt iegūto

vairāku kanālu bitu plūsmu caur ātrdarbīgo līniju. Tādā veidā, sadalot laika apgabalu uz kanāliem, var realizēt vairāku kanālu pārraidi pa vienu optisko šķiedru. Tā ir visbiežāk izmantotākā tehnoloģija elektriskajos sakaru tīklos, bet tā ir ierobežota ar laika multipleksēšanas un demultipleksēšanas komponentu ātrdarbību. WDM tehnoloģijā vairāku kanālu pārraide tiek realizēta, pārraidot katram kanālam piederošo bitu plūsmu savā konkrētā viļņa garumā, tādā veidā panākot vienlaicīgu vairāku kanālu pārraidi pa vienu optisko šķiedru. WDM ir visefektīvākā no visām trim pieminētajām tehnoloģijām, jo tā ļauj sasniegt daudz lielākus pārraides ātrumus, izmantojot vienu vienīgu šķiedru. Dažādu kanālu viļņa garumi WDM sakaru sistēmās ir izvietoti ar noteiktu starpkanālu intervālu. Pēc šī starpkanālu intervāla lieluma WDM sakaru sistēmas tiek klasificētas rupjas viļņgarumdales blīvēšanas (CWDM) un blīvas viļņgarumdales blīvēšanas sakaru sistēmās. Ieteicamais CWDM sistēmu kanālu izvietojums ir definēts ITU-T G694.2 rekomendācijā, kur ir definēts, ka CWDM sistēmās pielieto 20 nm starpkanālu intervālu. Ieteicamais DWDM sistēmu kanālu izvietojums ir definēts ITU-T G694.1 rekomendācijā, kur ir norādīti kanālu izvietojumi pēc frekvences pie četriem dažādiem starpkanālu intervāliem: 12.5, 25, 50 un 100 GHz. Apskatot starpkanālu intervālus CWDM un DWDM sistēmās, ir skaidrs, ka DWDM spēj nodrošināt efektīvāku optiskas pārraides līnijas izmantošanu, jo tur uz noteikto frekvenču (viļņa garuma) diapazonu var izvietot daudz lielāku kanālu skaitu, kas savukārt nodrošinās lielāko kopējo sasniedzamo pārraides ātrumu vienā optiskajā šķiedrā. Tas izraisa arī daudz stingrākas prasības pārraides sistēmas komponentēm, kas atspoguļojas to cenās. Šī iemesla dēļ gadījumos, kad prasības pēc kopējas sasniedzamās konkrēta tīkla kapacitātes nav lielas, tika izmantota CWDM tehnoloģija. Attīstoties jaunajām komponentu ražošanas tehnoloģijām, DWDM tīklu uzbūve ar laiku kļūst lētāka. Tas kombinācijā ar visu laiku augošo pieprasījumu pēc sasniedzamajiem pārraides ātrumiem veicina DWDM sakaru sistēmu būvniecību visā pasaulē. No starpkanālu intervāla lieluma viedokļa šobrīd pastāv vēl viens WDM sistēmas paveids – augsta blīvuma viļņgarumdales blīvēšanas sistēmas (HDWDM), kur vienā šķiedrā varētu tikt apvienoti pat vairāk par 128 kanāliem. WDM tehnoloģijas nodrošināmais pārraides ātrums ir atkarīgs no vairākiem faktoriem, piemēram, no starpkanālu intervāla starp multipleksētiem kanāliem, izmantota modulācijas formāta, un pārraides līnijas garuma. Tādēļ, ka, samazinoties impulsu platumiem, paplašinās to spektrs, pārraides ātrums katrā konkrētā kanālā ir ierobežots ar tam atvēlētu frekvenču joslu. Pārraides kvalitāti WDM sakaru sistēmās stipri iespaido starpkanālu šķēršļi, jo katrā konkrētā kanālā citu kanālu signāls rada kvalitātes degradēšanu un tiek reprezentēts kā trokšnis. Šie starpkanālu šķēršļi var parādīties vairāku iemeslu dēļ, bet divi galvenie cēloņi ir nepietiekami kvalitatīva optisko filtru darbība un nelineāro optisko efektu ietekme, it īpaši četru viļņu mijiedarbības (FWM) radītās spektrālās komponentes. Neskatoties uz vairākiem ierobežojošiem faktoriem, WDM pārraides sistēmu attīstība turpinās, un ar laiku sasniedzamais līniju pārraides ātruma maksimums arvien palielināsies.

2.4 Sasniegtie rezultāti

Veikti pētījumi, kas apkopoti publikācijā „Demonstration of Binary polSK to OK Modulation Format Conversion using a Single-pump Fiber Optical

Parametric Amplifier”. Publikācija ir iesniegta zinātniskajā konferencē ISCCSP2014 un ir izskatīšanas stadijā. Tas veikts 2.2, 2.3, 2.4 projekta aktivitāšu ietvaros.

Nodaļa 3

Robota balstītas algoritmu testēšanas platformas arhitektūra

3.1 Ievads

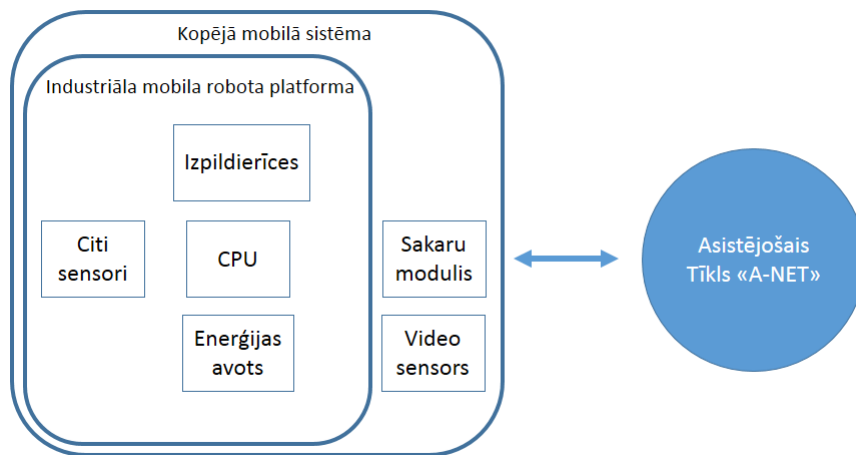
Attīstoties dažādām viedajām sistēmām tajās ir jāparedz arvien vairāk datu apstrādes resursu jaunu un sarežģītāku uzdevumu veikšanai. Un tomēr, apjomīgos aprēķinus ir iespējams veikt gan uz pašas mobilās platformas (robota), gan arī uz ārējas (attālinātas) skaitļošanas tehnikas.

Projekta ietvaros paredzētos video signāla apstrādes algoritmus paredzēts skaitļot uz ārējas skaitļošanas tehnikas un ārēji vadīt platformu balstoties uz aprēķinu rezultātiem. Tas ievērojami samazina prasības pret uz robota esošās skaitļošanas tehnikas skaitļošanas jaudu, atmiņas lielumu, kā arī robota enerģijas avota ietilpību.

Šim nolūkam tika izveidota tāda robota arhitektūra, kas ļautu ērti un ātri pārsūtīt dažādu sensoru datus uz ārēju skaitļošanas tehniku un reizē arī būt ārēji vadāma.

3.2 Robota arhitektūra

Mobilā robota platforma tiek plānota no divām daļām - industriāli ražota robota platforma ar dažādām izpildierīcēm, piemēram, elektromotoriem, centrālo procesoru (CPU), enerģijas avotu (baterija) un dažādiem citiem sensoriem, ja iespējams. Šī platforma tiks papildināta ar video sensoru un WiFi 2.4GHz moduli, lai pārsūtīt video un citu sensoru datus uz ārējo skaitļošanas tehniku (asistējošo tīklu), kā arī, lai saņemtu komandas no asistējošā tīkla.



Att. 3.1: Robota arhitektūra

Robots pats par sevi nebūs spējīgs pieņemt patstāvīgus lēmumus, jo tā skaitļošanas jauda nebūs pietiekami liela. Tas tiks vadīts attālināti no asistējošā tīkla un atgriezīs jaunus sensora datus.

3.3 Rezultāti un secinājumi

Par pārskata periodu ir veiksmīgi izveidota robota arhitektūra, kas kalpos kā vadlīnijas reāla robota implementācijai. Tas dos platformu un iespēju izstrādāt, testēt un attīstīt inteligētos algoritmus viedajām pilsētām realitātei vairāk pietuvinātās situācijās un apstākļos.

Nodaļa 4

Sensoro datu ieguve un sagatavošana

4.1 Ievads

Nodaļā 1 tika aprakstīti vairāki attēlu apstrādes algoritmi un to pielietojšanas iespējas. Apakšnodaļā 4.2 tiek aprakstīts, kādā veidā var iegūt reālus attēlu datus, uz kuriem varētu būt pielietoti un izanalizēti šie apstrādes algoritmi.

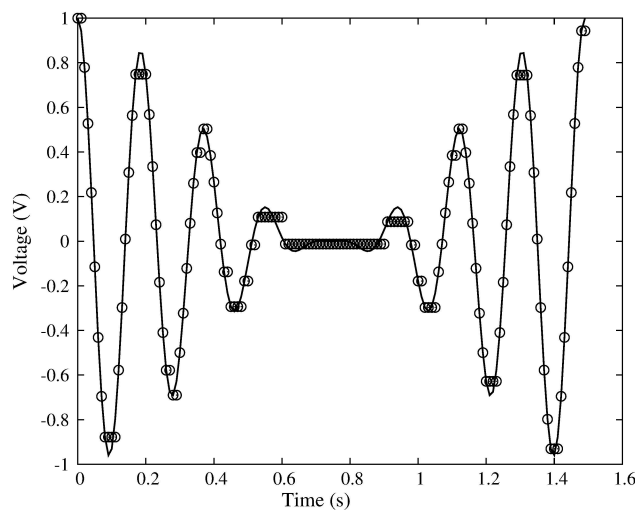
Paralēli attēlu datu ieguvei tika pētīta elektronisko iekārtu enerģijas patēriņa samazināšanas iespēja, kas pašlaik ir ļoti aktuāla tēma visā pasaulē. Apakšnodaļā 4.3 apraksta pieeja, kas ļauj samazināt enerģijas patēriņu, kad analogais signāls tiek pārveidots uz ciparu signālu ar analogciparu pārveidotāju.

4.2 Datu ieguve no kamerām tālākai objektu detektēšanai

Viens no virzieniem viedās pilsētas tehnoloģijās ir objektu detektēšana, izsekošana un vadība. Tas tiek bieži pielietots robotu navigācijā, automašīnu automātiskā kontrolē, tālvadības kontrolē, cilvēku uzvedības pētījumos, utt. Lai detektētu objektu, bieži tiek izmantota viena vai vairākas kameras, dati no kuriem tiek apstrādāti uz datora ar speciāliem algoritmiem. Katrs algoritms var atšķirties ar precizitāti, ātrdarbību.

Šajā projektā gaitā tika pielietotas IP kameras, kuru galvenās priekšrocības ir lēta cena un tiešais interfeiss ar Ethernet tīklu, kas atvieglo savienojumu un datu ieguvu. Tika izveidota programma kas veic savienojumu ar kameru, nosūta tai nepieciešamus uzstādījumus un savāc video datus, kad tālāk var būt apstrādāti vai saglabāti uz datora.

Ja tiek izmantotas vairākas kameras, kas tiek bieži pielietotas, lai uzkonstruētu telpas karti vai 3D modeli uz datora, tad ir nepieciešams rēķināties ar lielu datu apjomu. Lai samazinātu kopējo datuplūsmu, kas atvieglotu datucentra darbu, ir iespējams arī veikt video datu priekšapstrādi tieši kamerā. Tam tika izanalizēta iespēja šo priekšapstrādi veikt uz FPGA čipa, kas saņem datus no IP kameras, veic to apstrādi un pēc tam nosūta uz datucentru caur Ethernet interfeisu. Kā viens no variantiem ir izveidot nelielu Ethernet tīkla



Att. 4.1: Analogs signāls un tā ciparu nolases

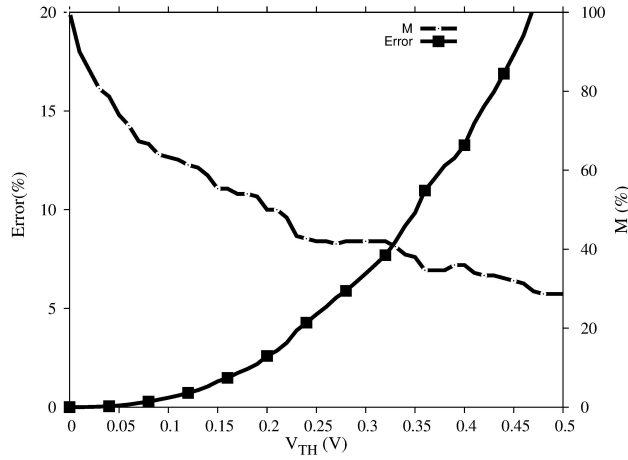
moduļi, kas tiek realizēti NIOS-II procesorā. NIOS-II procesorā, kas ir bāzēts uz ALTERA FPGA čipa pamata, ir iespējams uzbūvēt video signālu apstrādes algoritmu izmantojot ciparu loģiku, kā arī web-serveri, kas ļauj pietiekoši viegli izveidot savienojumu ar datoru, datu pārsūtīšanai. Izmantojot HDL Coder izstrādes rīku, ir iespējams signālu apstrādes algoritmu, kas tika uzrakstīts MATLAB vidē konvertēt uz VHDL kodu, kas, ja atļauj FPGA resursi, var būt ieliks tajā.

4.3 Adaptīvs analogciparu pārveidotājs (ACP)

Ļoti bieži portatīvās iekārtas, sensoru tīkli, kā arī iegultas sistēmas, tiek darbinātas no baterijām, kas diktē nepieciešamību maksimāli samazināt enerģijas patēriņu, īpaši gadījumos, kad iekārta sistēma neveic nekādas darbības. Klasiskā ACP gadījumā nolases tiek ņemtas nepārtraukti ar noteiktu laika intervālu, ņemot vērā maksimālu frekvenci analoga signāla spektrā. Gadījumos, ja ieejas signāls ir aktīvs tikai retos brīžos, kas bieži notiek sensoru tīklos, šī pieeja nav optimālā enerģijas patēriņa ziņā. Šī projektā gaitā tiek pētīta alternatīva analoga signālu ciparošanas pieeja, kas var būtiski samazināt enerģijas patēriņu.

Piedāvātās pieejas gadījumā, analoga signāla nolases tiek ņemtas tikai tad, ja signāla tekošās nolases spriegums pārsniedz noteikto, iepriekš izvēlēto, sliekšņa vērtību - V_{TH} (4.1). Tas nozīmē, ka aktīvam signālam nolases tiek ņemtas līdzīgi kā tas notiek klasiskajā pieejā, bet brīžos kas signāls nemainās nolases netiek ņemtas un tika uzskatīts, ka tekošās nolases vērtība ir vienāda ar iepriekšējo. Šai pieejai ir divas galvenas priekšrocības:

- signāla aktīvos brīžos nolases atrodas uz vienmērīga režģa, kas ļauj izmantot klasiskās signālu apstrādes metodes;



Att. 4.2: Rekonstrukcijas kļūdas un nolašu samazinājums atkarībā no izvēlēta sliekšņa vērtības

- enerģija netiek tērēta brīžos, kad signāls nemainās un nenes nekādu derīgu informāciju.

Lai analītiski varētu noteikt kļūdu, kas tiek ieviesta, izmantojot piedāvāto algoritmu, tika izvesta sekojoša formula:

$$\varepsilon = \frac{(N - M) \cdot \Delta_{MAX}^2}{\sum_{n=0}^{N-1} x(n)^2}, \quad (4.1)$$

kur $x(n)$ ir analogā signāla nolases, kur $n = 0, 1, \dots, N$, ε – kļūda, Δ – maksimālā starpība starp isto nolasi un nolasi paņemto ar piedāvāto metodi, N – analogā signāla nolašu daudzums, izmantojot klasisko pieeju un M – analogā signāla nolašu daudzums, izmantojot piedāvāto pieeju.

Lai noteiktu piedāvātā algoritma efektivitāti salīdzinājumā ar klasisko pieeju, kā arī citiem, piem., signāla atkarīgiem algoritmiem tika izveidota programma MATLAB vidē. Šī programma ņem analogā signāla nolases pēc piedāvātās metodes, atjauno signālu un salīdzina rekonstruēšanas kļūdu. Att.2. tiek parādīts kā rekonstrukcijas kļūda un nolašu samazinājums ir atkarīgs no izvēlētas sliekšņa vērtības. Piemēram, izvēloties $V_{TH} = 0.25V$, izmantojot piedāvāto algoritmu ir iespējams samazināt kopējās nolases par 20 procentiem. Šajā gadījumā maksimālā kļūda, kas tiks ieviesta ir 5 procenti. Formula 4.1 un attēls 4.2 ļauj analītiski izvēlēties pieļaujamo kļūdu, kas atbilst noteiktajam nolašu samazinājumam.

4.4 Rezultāti un nākotnes perspektīvas

Līdz šim brīdim tika apkopota informācija par objektu detektēšanai, izsekošanai un vadībai, kas tiek izmantotas viedās pilsētas tehnoloģijā. Šiem mērķiem tika izmantotas IP kameras, video datu ieguvei, kas tālāk tiks apstrādāti ar noteikto

algoritmu. Paralēlei tam tika pētīts adaptīva ACP algoritms, kas ļauj krietni samazināt enerģiju, kas darbojas ar signāliem ar zemu aktivitāti.

Tālākajā darbā tiek plānots veikt vairākas papildus analīzes, lai pilnībā noteikt piedāvāta adaptīva ACP priekšrocības un trūkumus, piem.:

- noteikt rekonstrukcijas kļūdas atkarību no ACP izšķirtspējas,;
- veikt ACP enerģijas patēriņa analīzes izpēti un iegūt analītisko izteiksmi tās aprēķināšanai.

Pašlaik arī notiek darbs pie publikācijas par piedāvāto metodi, kas tiks prezentēta kāda starptautiskā zinātniskajā konferencē.

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:

- Darbs pie divām zinātniskajām publikācijām, no kurām viena ir iesniegta publicēšanai starptautiskā zinātniskā konferencē ISCCSP2014;
- Arhitektūra robotam viedo pilsētu algoritmu testēšanai;
- Koncepts ACP energotaupošai datu ieguvei;
- Analizēts un implementēts ORB algoritms, kas veidos pamatu objektu atpazīšanas un lokalizācijas attēlu apstrādes sistēmām.

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

Literatūra

- [1] M. F. A. Schmidt, M. Kraft and Z. Domagala. Comperative assessment of point feature detectors and descriptors in the context of robot navigation. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, 7(1), 2013.
- [2] M. Calonder, V. Lepetit, C. Strecha, and P. Fua. Brief: Binary robust independent elementary features. In *Proceedings of the 11th European Conference on Computer Vision: Part IV*, ECCV'10, pages 778–792, Berlin, Heidelberg, 2010. Springer-Verlag.
- [3] B. T. Durrant-Whyte, H. Simultaneous localization and mapping: part 1. *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, 13:99–110, 2006.
- [4] K. E. Rublee, V. Rabaud and G. Bradski. Orb: An efficient alternative to sift or surf. pages 2564–2571. IEEE International Conference on Computer Vision, 11 2011.
- [5] D. S. F. Fraundorfer. Visual odometry: Part 1 – the first 30 years and fundamentals. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 18:80–92, 2011.
- [6] R. I. Hartley and A. Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2 edition, 2004.
- [7] E. Rosten and T. Drummond. Machine learning for high-speed corner detection. In *European Conference on Computer Vision*, volume 1, pages 430–443, May 2006.
- [8] R. Szeliski. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer, 2010.