

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Sociālais fonds
Prioritāte: 1.1. Augstākā izglītība un zinātne
Pasākums: 1.1.1. Zinātnes un pētniecības potenciāla attīstība
Aktivitāte: 1.1.1.2. Cilvēkresursu piesaiste zinātnei
Projekta nosaukums: ”Viedo sensoru un tīklotu iegulto sistēmu pētījumu un attīstības centrs” (VieSenTIS)
Līguma noslēgšanas datums: 27.11.2009.g.
Projekta sākuma datums: 01.01.2010.g.
Projekta beigu datums: 31.12.2012.g.
Vienošanās Nr.2009/0219/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/020

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

ZINĀTNISKĀ PĒTĪJUMA PROGRESU APLIECINOŠA DOKUMENTĀCIJA

Pārskata numurs Nr.5. par periodu no 01.01.2011.g līdz 31.03.2011.g.

Projekta zinātniskais vadītājs: Leo Seļāvo, Ph.D. datorzinātnēs.
Pētījuma projekta izpildītāju saraksts: Modris Greitāns, Dr.sc.comp.
Uldis Grunde, topošais zinātnieks, Mg. fizikā.
Artis Mednis, doktorants.
Atis Elsts, doktorants.
Rolands Šāvelis, doktorants.
Oļegs Ņikišins, doktorants.
Gatis Šūpols, Mg. Elektronikā.
Kaspars Ozols, maģistrants.
Andris Gordjušins, maģistrants.
Zanda Seržāne, Mg. Elektronikā.
Ivars Driķis, Dr.phys.
Rinalds Ruskuls, Mg. Elektronikā.
Reinholds Zviedris, doktorants.
Georgijs Kanonirs, Mg. Datorzinātnēs.
Arturs Seļivanovs, Mg. Elektronikā.

ELEKTRONIKAS UN DATORZINĀTŅU INSTITŪTS
Rīga, Latvija
2011.gads

Saturs

Ievads **3**
VieSenTIS . . . 3

1 `BioSen` grupas atskaite **4**
1.1 Ievads . . . 4
1.2 Saistītie risinājumi . . . 5
1.2.1 Sejas biometrija . . . 5
1.2.2 Plaukstas biometrija . . . 5
1.3 Risinājums . . . 5
1.3.1 Sejas biometrija . . . 5
1.3.2 Plaukstas biometrija . . . 10
1.4 Eksperimenti un-vai testi . . . 12
1.4.1 Sejas biometrija . . . 12
1.4.2 Plaukstas biometrija . . . 13
1.5 Rezultāti . . . 13
1.5.1 Sejas biometrija . . . 13
1.5.2 Plaukstas biometrija . . . 13
1.6 Kopsavilkums un secinājumi . . . 14
1.7 Nākotnes perspektīvas . . . 15
Literatūra . . . 15

2 `CarMote` grupas atskaite **16**
2.1 Ievads . . . 16
2.1.1 Navigācija . . . 16
2.1.2 Bedru detektēšana . . . 16
2.1.3 Auto bremžu vadības sistēma . . . 17
2.2 Saistītie risinājumi . . . 18
2.3 Risinājums . . . 18
2.4 Eksperimenti . . . 25
2.5 Rezultāti . . . 29
2.6 Kopsavilkums un secinājumi . . . 29
2.7 Nākotnes perspektīvas . . . 29
Literatūra . . . 30

3 `EdiMote` grupas atskaite **32**
3.1 Anotācija . . . 32
3.2 Ievads . . . 32
3.3 Risinājums . . . 33

3.3.1 Ciparu loģikas shēma . . . 33
3.3.2 Datora programmatūras izstrāde EdiMotei . . . 38
3.3.3 Moduļi . . . 40
3.4 Rezultāti . . . 41
3.5 Kopsavilkums un secinājumi . . . 42
3.6 Nākotnes perspektīvas . . . 42
Literatūra . . . 43

4 `MansOS` grupas atskaite 44
4.1 Ievads . . . 44
4.2 Risinājums . . . 45
4.2.1 Trajektorijas izsekošana . . . 45
4.2.2 Kļūdu labošanas kodi sensoru tīklos . . . 46
4.2.3 TestBed projektēšanas aktivitātes . . . 48
4.2.4 Lietotāju atbalsts, koda uzturēšana, un administratīvās aktivitātes . . . 50
4.2.5 LynxNet iekārtas prototipa 2. versijas izstrāde . . . 50
4.2.6 Tmote Mini izklājplate . . . 51
4.3 Kopsavilkums un nākotnes perspektīvas . . . 52
Literatūra . . . 53

5 `SAntArray` grupas atskaite 55
5.1 Ievads . . . 55
5.2 Saistītie risinājumi . . . 57
5.3 Risinājums . . . 57
5.4 Eksperimenti un rezultāti . . . 58
5.4.1 Impedances matrica . . . 58
5.4.2 Antenas elementu strāvas . . . 60
5.4.3 Antenas ieejas pretestība . . . 60
5.5 Kopsavilkums un secinājumi . . . 60
Literatūra . . . 61

6 SenSigA grupas atskaite 62
6.1 Ievads . . . 62
6.2 Saistītie risinājumi . . . 63
6.3 Risinājums . . . 63
6.4 Eksperimentālie rezultāti . . . 65
6.5 Kopsavilkums un secinājumi . . . 67
6.6 Nākotnes perspektīvas . . . 67
Literatūra . . . 67

Ievads

Anotācija

"Viedo sensoru un tīklotu iegulto sistēmu pētījumu un attīstības centrs" (VieSenTIS) ir ESF atbalstīts projekts zinātnisko grupu veidošanai. Šis projekts nodarbojas ar bezvadu sensoru un tīklotu iegulto sistēmu pētniecību. Projekta ietvaros ir sekojošas apakšgrupas: BioSen – sensoru sistēmu pielietojumi biometrijā, CarMote – viedās transporta sensoru sistēmas, EdiMote – jaunas arhitektūras bezvadu sensoru aparatūrai, MansOS – operētājsistēma un programmatūras rīki bezvadu sensoru un iegulto sistēmu atbalstam, SAntArray – antenu masīvu pielietojumi tīklotas iegultas sistēmās, un SenSigA – sensoru signālu apstrādes metodes. Šajā dokumentā izklāstītas zinātniskās pētniecības aktivitātes un rezultāti augšminētajās grupās. Pielikumā ir iekļautas šajā periodā iesniegtās un apstiprinātas zinātniskās publikācijas. Projektu atbalsta Eiropas Savienības fondi, līguma Nr. 2009/0219/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/020.

VieSenTIS

VieSenTIS grupas galvenais pētniecības virziens ir tīklotu iegulto sistēmu un viedu sensoru risinājumi un pielietojumi cilvēku dzīves kvalitātes uzlabošanai, industrijā un citās nozarēs. Miniatūras iegultās sistēmas ir ar ierobežotiem resursiem, piemēram, enerģijas avots bieži vien ir neliela baterija. Tāpēc ir aktuāli pētīt kā šos resursus pēc iespējas efektīvi izmantot, kā arī radīt rīkus jaunas aparatūras un programmatūras izstrādei. Bez tam, bezvadu sensoriem rodami pielietojumi arvien jaunas dzīves sfērās, kas prasa gan specifisku signāla apstrādi gan pielietojuma metožu pētniecību.

VieSenTIS projektā ir sekojošas apakšgrupas saskaņā ar pētnieku individuālo pieredzi un interesēm:

- BioSen – sensoru sistēmu pielietojumi biometrijā;
- CarMote – viedās transporta sensoru sistēmas;
- EdiMote – jaunas arhitektūras bezvadu sensoru aparatūrai;
- MansOS – operētājsistēma un programmatūra bezvadu sensoru un iegulto sistēmu atbalstam;
- SAntArray – antenu masīvu pielietojumi tīklotas iegultas sistēmās;
- SenSigA – sensoru signālu apstrādes metodes.

Turpmākajās nodaļās ir apkopoti galvenie sasniegumi minētajos virzienos.

Nodaļa 1

BioSen grupas atskaite

Anotācija

BioSen pētniecības grupa nodarbojas ar biometrijas datu iegūšanu un apstrādi. Uz doto brīdi notika izmaiņas BioSen grupas darbības virzienos iekšējas restrukturizācijas dēļ, un tika nodefinēti prioritārie pētniecības virzieni: sejas atpazīšana (2D un 3D sejas atpazīšanas algoritmi), sejas atpazīšanas algoritmu implementācija iegultajās sistēmās, plaukstas asinsvadu struktūras atpazīšana (nepieciešamības gadijumā). Grupas mērķis ir izveidot multimodālu biometrijas sistēmu (sadarbībā ar zinātniekiem no cita projekta), kas ir balstīta uz 3D sejas un plaukstas biometrisko parametru kopīgu izmantošanu. Šajā pētniecības posmā galvenokārt tika strādāts pie LBP algoritma adoptācijas sekojošiem uzdevumiem: sejas detektēšana, lokalizācija, atpazīšana un plaukstas asinsvadu atpazīšana. Algoritmi tiek veidoti un to darbība pārbaudīta Matlab vidē, taču nākošais mērķis ir izveidoto algoritmu realizācija iegultajā sistēmā.

1.1 Ievads

Galvenais BioSen grupas uzstādītais mērķis šajā ceturksnī bija automātiskā sejas atpazīšanas algoritma izveide un testēšana. Algoritma pamatā ir Local Binary Patterns transformācija, kura tiek pielāgota visām algoritma stadijām. Šīs stadijās var sadalīt trīs pamatgrupās:

- sejas detektēšana,
- sejas lokalizācija,
- sejas atpazīšana.

Papildus tika izpētīti vairāki algoritmi un meklētas iespējas to pielietošanai sejas atpazīšanā. Uzsākta arī virtuālā instrumenta izveide programmā LabView. Par katru no pamatgrupām, izpētītajiem algoritmiem un virtuālo instrumentu detalizētāka informācija ir aprakstīta turpmākajās nodaļās. Paralēli tika notestēta šī algoritma pielietojamība plaukstas asinsvadu atpazīšanai ar mērķi salīdzināt šo pieeju un iepriekš izstrādāto metodiku.

1.2 Saistītie risinājumi

1.2.1 Sejas biometrija

Viens no risinājumiem, kuru sākotnēji apskatījām bija Eigenface [1], kas balstīts uz 2D sejas attēlu izmantošanu. Viens no būtiskajiem algoritma trūkumiem ir rezultāta atkarība no apgaismojuma apstākļiem, tāpēc tiek pieņemts lēmums izveidot un notestēt LBP sejas atpazīšanas algoritmu, kuram šī problēma nav tik aktuāla.

1.2.2 Plaukstas biometrija

Attēlos asinsvadi un rievas ir reprezentēti ar nedaudz tumšākām par fonu līnijām. Šajos gadījumos attēla kvalitātes uzlabošanai parasti veic attēla filtrāciju. Izplatītākie risinājumi ir: 1) kontūru detektori (Edge Detection) [2], 2) Laplasian of Gaussian (LoG) [3] un 3) salāgotā filtrācija (Matched Filtering) [4]. Katrai no minētām metodēm ir savi trūkumi: nepietiekama rezultāta kvalitāte (1, 2), vai samazināta ātrdarbība (2, 3). Visām minētām metodēm rezultāts ir skalāro lielumu masīvs, kuram nākamā procedūra (segmentācija) ir apgrūtināta. LBP algoritms ļauj novērst minēto trūkumu, jo asinsvadu segmentācijas stadija šīm algoritmam nav nepieciešama, tāpēc tiek pieņemts lēmums izpētīt LBP algoritma pielietojamību plaukstas biometrijas jomā.

1.3 Risinājums

1.3.1 Sejas biometrija

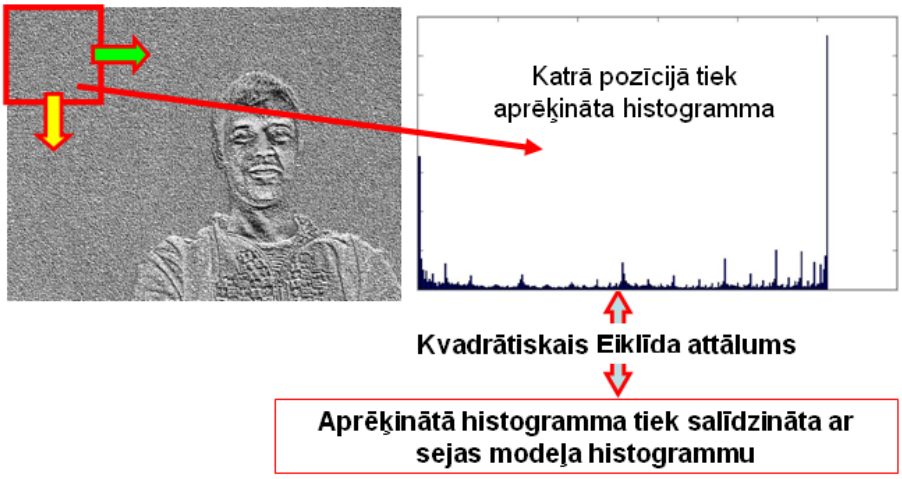
BioSen grupas ietvaros tiek izveidots automātisks sejas detektēšanas algoritms, kurš balstās uz „Local Binary Patterns" transformācijas principiem. Iepriekšējā pārskata periodā tika definēts, ka algoritmam ir jāsastāv no sekojošiem posmiem:

- Sejas detektēšana.
- Sejas lokalizācija.
- Sejas atpazīšana.

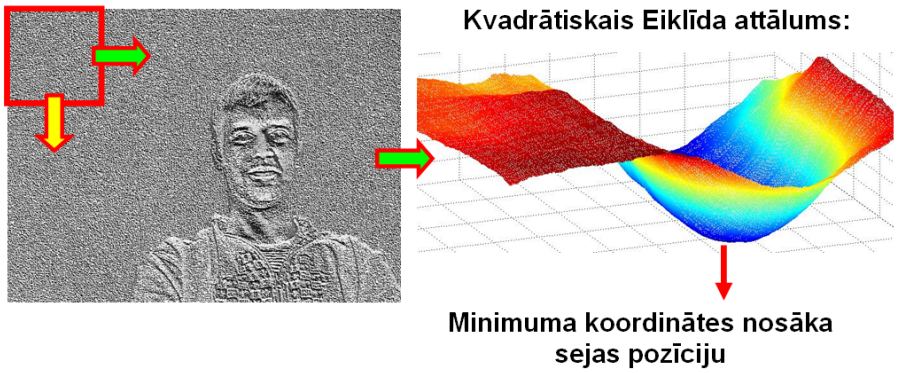
Uz doto brīdi visas šīs stadijas tika realizētas balstoties uz LBP (Local Binary Patterns), aplūkosim šos blokus detalizētāk:

Sejas detektēšana

Sejas detektēšana attēlā balstās uz ieejas attēla skenēšanu ar sejas modeli. Katrā skenēšanas pozīcijā tiek meklēta līdzības pakāpe ar sejas modeli. Maksimāla līdzība ar meklējamā objekta modeli nosaka sejas pozīciju attēlā. Iepriekšējā pārskatā tika apskatīts optimālas skenēšanas veids, tomēr šī pieeja ir ļoti efektīva gadījumos, kad objekts atrodas kontrolējamā vidē (uz viendabīga fona). Reālajā dzīvē šis nosacījums izpildās ne vienmēr, tāpēc tiek pieņemts lēmums izmantot klasisko skenēšanas veidu kopā ar LBP. Šī pieeja shematiski tiek attēlota 1.1. attēlā un to var sadalīt sekojošās stadijās:



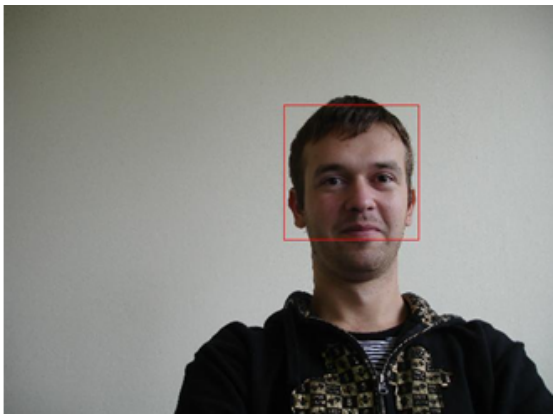
Att. 1.1: Sejas detektēšanas princips



Att. 1.2: Kvadrātiskais Eiklīda attālums katrā skenēšanas pozicijā

- Aprēķināt LBP transformāciju ieejas attēlam.
- Katrā skenēšanās pozīcijā (sarkanais kvadrāts 1.1. attēlā) aprēķināt histogrammu LBP attēla reģionam.
- Salīdzināt aprēķināto histogrammu ar sejas modeļa histogrammu izmantojot kvadrātisko Eiklīda attālumu.
- Eiklīda attāluma minimums nosaka sejas pozīciju attēlā.

Eiklīda attālums, kurš tiek aprēķināts katrā skenēšanas pozīcijā parādīts 1.2. attēlā. Var redzēt, ka kvadrātiskā Eiklīda attāluma virsmai ir izteikts minimums, kura pozīcija nosaka sejas atrašanās vietu. Algoritma darbības rezultāta piemērs parādīts 1.3. attēlā.



Att. 1.3: Sejas detektēšanas algoritma darbības rezultāta piemērs

Sejas lokalizācija

Sejas lokalizācijas (precīzākā sejas pozīcijas noteikšanas) princips arī balstās uz LBP transformāciju un sākumstadijā ir līdzīgs sejas detektēšanai: sejas modelis tiek aizstāts ar acs modeli un ieejas attēls ir nodetektētā seja. Sejas lokalizācijas (acu detektēšanas) algoritmu var sadalīt sekojošās stadijās:

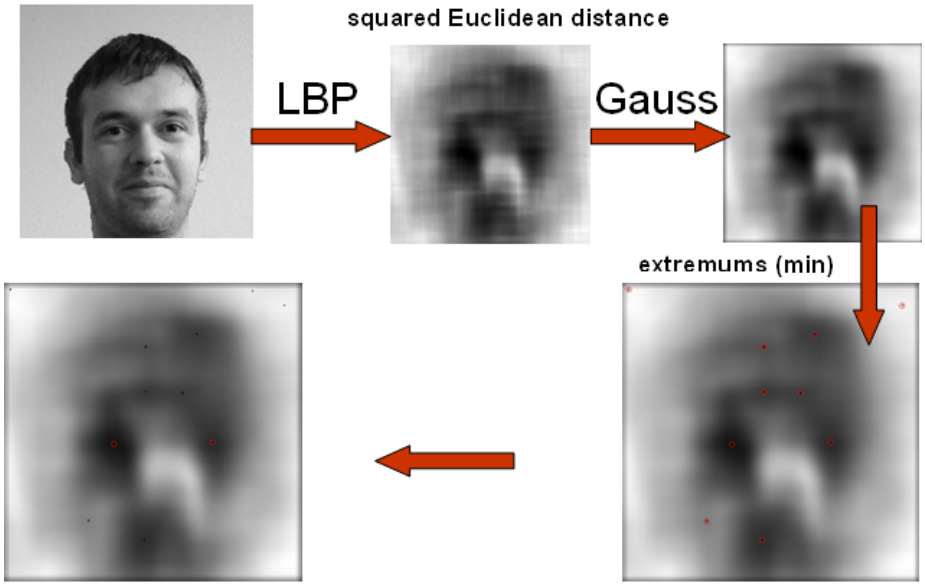
- LBP transformācija sejas attēlam.
- Katrā sejas skenēšanās pozīcijā aprēķināt histogrammu LBP attēla reģionam.
- Salīdzināt aprēķināto histogrammu ar acs modeļa histogrammu izmantojot kvadrātisko Eiklīda attālumu. Rezultātā dabūsim 2D matricu ar kvadrātiskā Eiklīda attāluma vērtībām.
- Iegūtās matricas filtrācija ar Gausa filtru.
- Atrast filtrētajā attēlā ekstrēmus, kas ir virsmas minimumi.
- Atrast potenciālās acu pozīcijas (punktu pāri), ievērojot punktu savstarpējo izvietojumu un ekstrēmu vērtības.

Aprakstītā algoritma soļi shematiski tiek paradīti 1.4. attēlā., kur pēdējā bildē ar sarkaniem punktiem tiek attēlotas potenciālās acu pozīcijas. 1.5. attēlā. tiek parādīts algoritma darbības rezultāts.

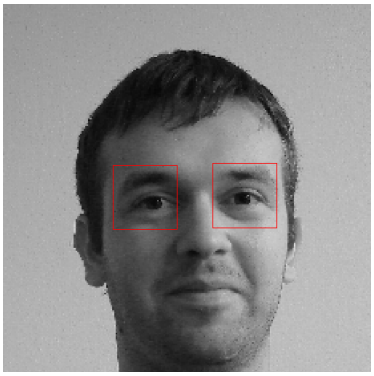
Sejas atpazīšana

Sejas atpazīšana ir pēdējais automātiskās sejas atpazīšanas sistēmas etaps. Sejas atpazīšanas algoritmu var sadalīt sekojošās stadijās:

- LBP transformācija sejas attēlam.
- Sejas attēla sadalījums reģionos (attēls 1.6.).
- Histogrammu aprēķināšana katram reģionam.



Att. 1.4: Sejas lokalizācijas (acu detektēšanas) algoritma vizualizācija



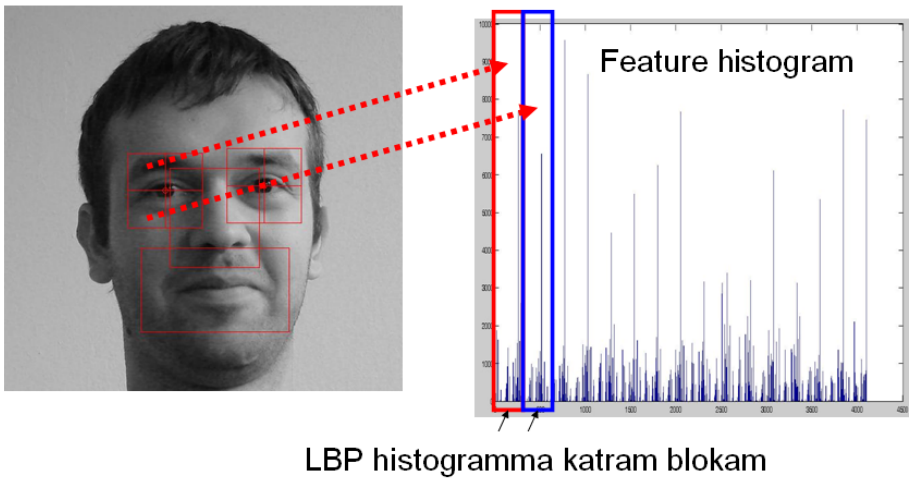
Att. 1.5: Sejas lokalizācijas (acu detektēšanas) algoritma darbības rezultāts

- Secīga histogrammu salikšana vienā vektorā.
- Histogrammu salīdzināšana (sejas īpašību salīdzināšana) izmantojot kvadrātisko Eiklīda attālumu.

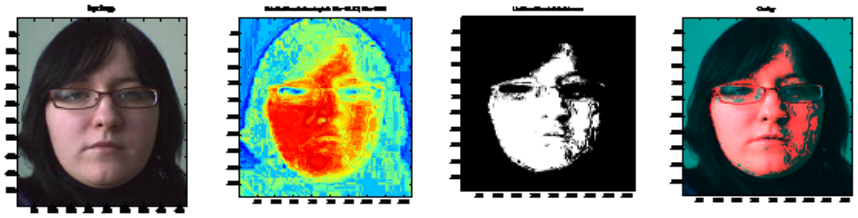
Sejas atpazīšanas algoritma stadijas shematiski tiek parādītas 1.6. attēlā. Tika apskatīts arī ādas detektēšanas algoritms un 3D attēla iegūšanas iespējas izmantojot 2 vienas sejas attēlus. Sīkāk tālākās apakšnodaļās.

Sejas ādas detektēšanas algoritms

Izmantojot sejas ādas detektēšanas algoritmu, ļoti svarīgs ir apgaismojums, 1.7. attēlā var redzēt, ka vietās, kur apgaismojums nav bijis tik spilgts, sejas āda



Att. 1.6: Sejas atpazīšanas algoritma vizualizācija

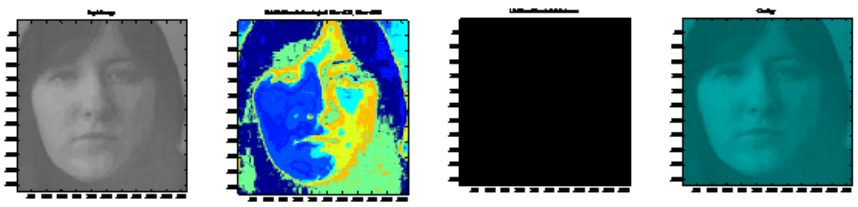


Att. 1.7: Sejas ādas detektēšanas algoritms izmantojot krāsainu attēlu

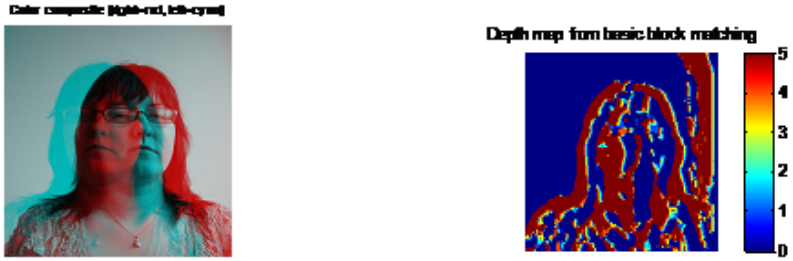
netiek detektēta. Skatoties no kreisās puses 1. attēlā, redzams, ka pirmajā bildē ir attēls, kas tiek apstrādāts, otrajā bildē parādīta varbūtība, ka tā ir āda katram pikselim, trešajā bildē nulles sliekšņa varbūtība, pēdējā – pārklājums, kas parāda, kur algoritms ir noteicis ādas varbūtību. Bet, ja šajā algoritmā izmanto melnbaltu attēlu, tad āda vispār netiek detektēta (1.8.). Ņemot vērā, ka otrajā bildē netiek fiksēta īpaši liela varbūtība, ka kādā no pikseļiem ir nosakāma āda, tad trešā bilde ir melna, bet pēdējā redzams, ka pārklājuma nav, jo āda netika noteikta.

3D attēla iegūšana, izmantojot 2 sejas attēlus

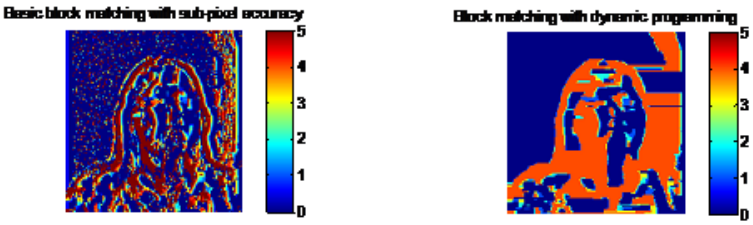
Tika apskatīta arī programmā Matlab piedāvātā Stereo Vision funkcija, kur var no diviem attēliem iegūt 3D attēlu. Apskatījām iespēju, kā piedāvātās funkcijas var izmantot, lai izveidotu 3D sejas attēlu. Sākumā tika apvienoti 2 vienas sejas attēli (1.9.), ar nelielu nobīdi (šie attēli tika iegūti vienlaicīgi fotografējot ar divām kamerām), tad šim attēlam tika apskatīts dziļums, pikseļu precizitāte, dinamika (1.10.), tā iegūstot 3D attēlu (1.11.). Jāatzīst gan, ka attēls nav tik labs kā vajadzētu, nepieciešama dziļāka apstrāde. Paralēli tiek



Att. 1.8: Sejas ādas detektēšanas algoritms izmantojot melnbaltu attēlu



Att. 1.9: Krāsu kompozīcija; Dziļuma attēlojums iegūtajam attēlam

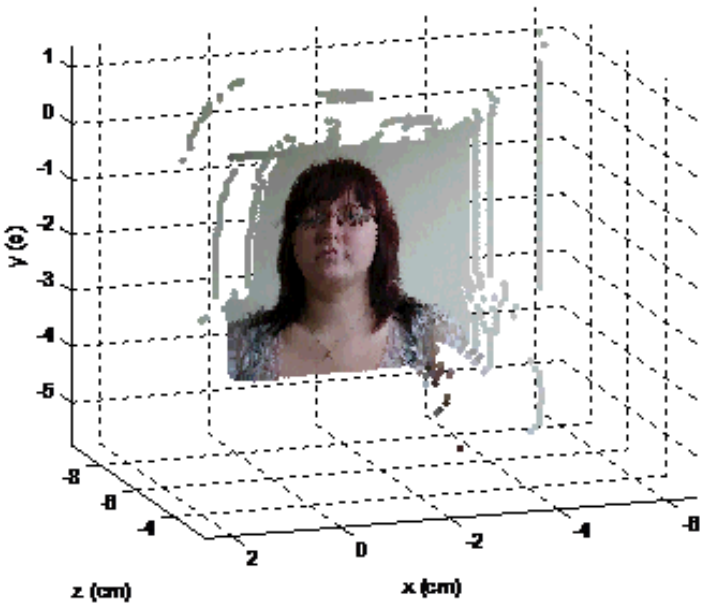


Att. 1.10: Pikseļu precizitāte iegūtajam attēlam; Iegūtā attēla dinamika

apskatītas virtuālā instrumenta izveides iespējas programmā LabView. Notiek programmas izpētīšana, tiek apskatītis dažādi uzdevumi un to risinājumi. Apskatam arī iespējas šos uzdevumus pielietot attēlu apstrādē. Šobrīd jau ir iespējams saņemt datus no ārējās iekārtas un sūtīt tos atpakaļ.

1.3.2 Plaukstas biometrija

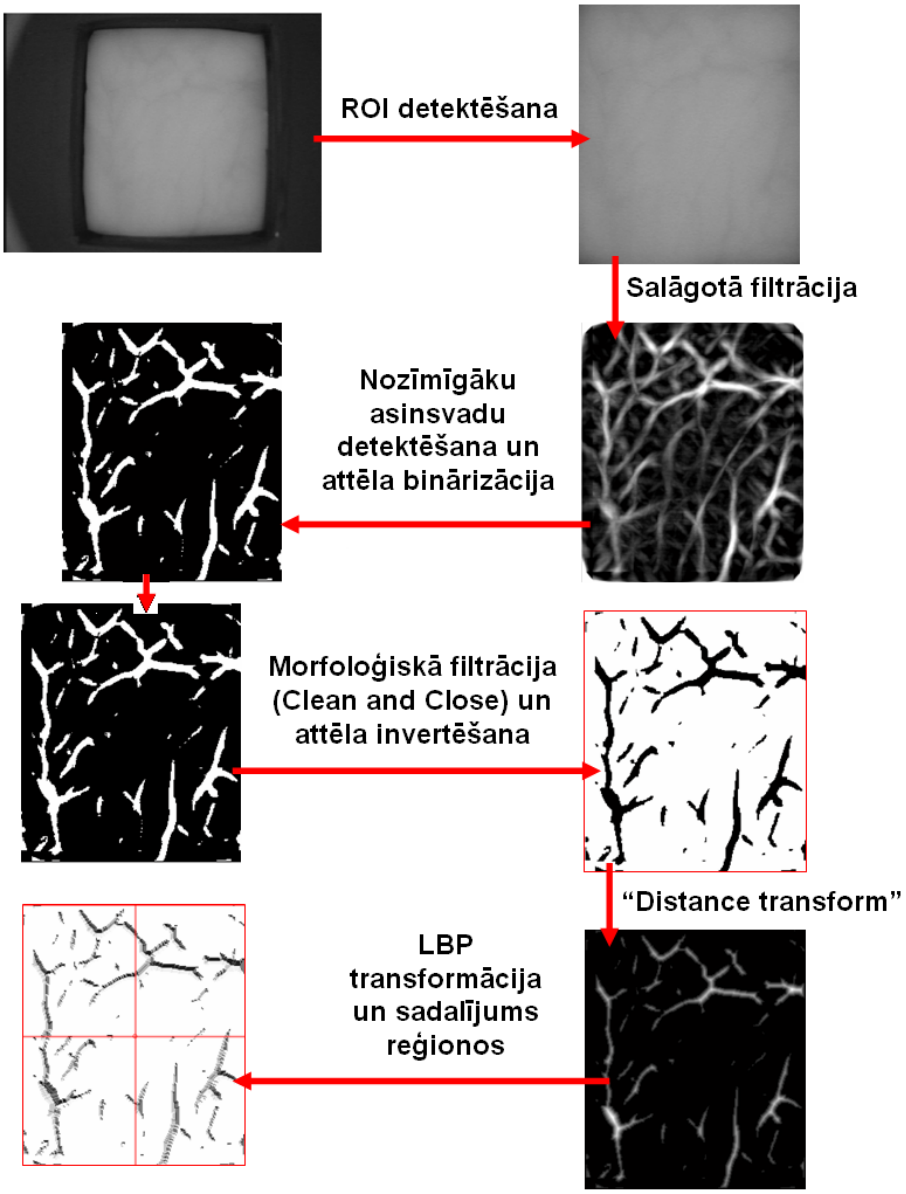
Viens no aspektiem, kas tika izpētīts BioSen grupas ietvaros ir LBP algoritma pielietojamība cilvēka atpazīšanai pēc plaukstas asinsvadiem. Ar mērķi pārbaudīt šo iespēju tika izveidots automātisks plaukstas asinsvadu atpazīšana algoritms, kurš sastāv no sekojošām stadijām:



Att. 1.11: Iegūtais 3D attēls

- ROI (plaukstas) detektēšana.
- Attēla salāgotā filtrācija, kas palīdz izdalīt asinsvadus.
- Nozīmīgāko asinsvadu detektēšana (izmantojot adaptīvu sliekšņošanu, kas ļauj izdalīt uzdoto punktu skaitu attēlā) un attēla binarizācija.
- Bināra attēla morfoloģiskā filtrācija (Clean and Close), kura uzlabo bināra attēla kvalitāti.
- Attēla invertēšana un „distances" transformācijas pielietošana.
- LBP transformācija un sadalījums četros reģionos.
- Histogrammu aprēķināšana katram reģionam.
- Secīga histogrammu salikšana vienā vektorā.
- Histogrammu salīdzināšana (plaukstas asinsvadu īpašību salīdzināšana) izmantojot kvadrātisko Eiklīda attālumu.

Aprakstītā algoritma stadijas shematiski tiek parādītas 1.12. attēlā.



Att. 1.12: Plaukstas asinsvadu atpazīšanas algoritma vizualizācija

1.4 Eksperimenti un-vai testi

1.4.1 Sejas biometrija

Iepriekšējā periodā tika uzņemta seju datubāze, kuras tapšanā piedalījās 51 persona (kopumā 168 attēli), katrai personai tika uzņemtas 3 – 4 bildes (ar/bez brillēm (ja tādas persona nēsā), ar/bez smaida). Izmantojot darbinieku datu bāzi tika notestētas visas automātiskā sejas atpazīšanas algoritma stadijas:

- Sejas detektēšana (noteikts korektu detektēšanu skaits).
- Sejas lokalizācija (noteikts korektu detektēšanu skaits).
- Sejas atpazīšana (aprēķināts FAR - False acceptance rate un FRR - False rejection rate, ka arī EER – Equal error rate).

1.4.2 Plaukstas biometrija

Algoritmu testēšanai tika izveidota datubāze ar plaukstas asinsvadu attēliem, kuras tika uzņemtas infrasarkanajā gaismā. Datubāzes tapšanā piedalījās 50 personas (kopumā 400 attēli), katrai personai tika uzņemtas 8 bildes. Izmantojot datu bāzi tika novērtētas sekojošās kļūdas:

- FAR - False acceptance rate.
- FRR - False rejection rate.
- EER – Equal error rate, atpazīšanas sistēmas kļūdas vērtība, kad FAR = FRR.

1.5 Rezultāti

1.5.1 Sejas biometrija

Sejas detektēšana

Testējot sejas detektēšana algoritmu uz sejas attēlu datubāzes tika konstatētas 3 detektēšanas kļūdas (reģions ir atrasts ar nobīdi). Tas nozīme, ka „Correct Detection Rate" (CDR) mūsu gadījuma ir: 98.2%.

Sejas lokalizācija

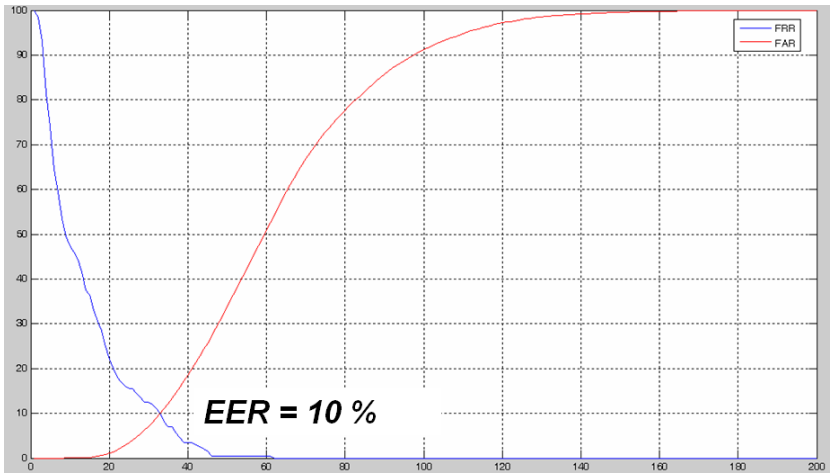
Sejas lokalizācijas testēšanas rezultātā tika noteikts, ka $CDR = 88\%$. Algoritma pozitīvā īpašība ir tāda, ka tas ļauj nodetektēt acis sejas attēlā arī tad, kad cilvēkam ir brilles, vai acis ir aizvērtas. Tomēr CDR procents nav ļoti augsts, ko var izskaidrot ar izteiktu asimetriju (galva ir pagriezta, apgaismojums ir no vienas puses) datubāzes attēlos.

Sejas atpazīšana

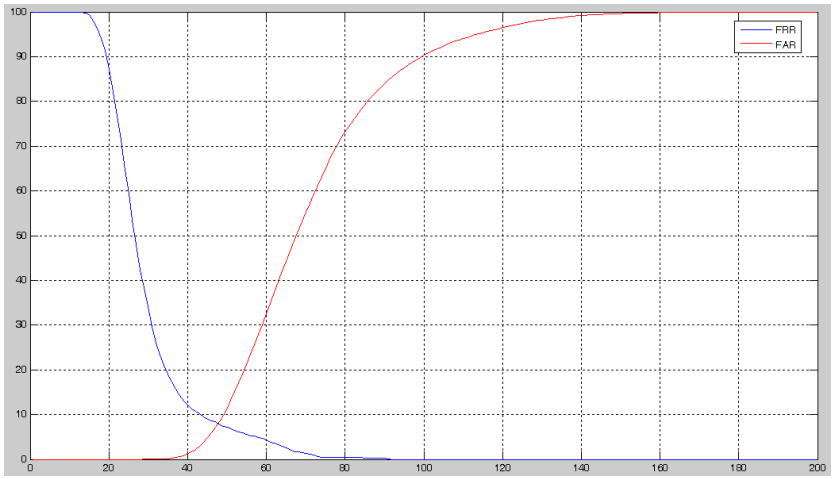
Labākais EER rezultāts, kas tika sasniegts sejas atpazīšanas algoritma testēšanas rezultāta ir 10%. Algoritma FAR un FRR atkarības no sliekšņošanās līmeņa tiek paradītas 1.13. attēlā. Šo EER rezultātu var novērtēt kā labu, jo datubāzē vieniem un tiem pašiem cilvēkiem bija krasas izmaiņas sejas izteiksmēs.

1.5.2 Plaukstas biometrija

Labākais EER rezultāts plaukstas asinsvadu atpazīšanas algoritmam ir 7.5%. Algoritma FAR un FRR atkarības no sliekšņošanās līmeņa tiek paradītas 1.14. attēlā. Šis algoritms tika uzrakstīts ar mērķi notestēt LBP metodikas



Att. 1.13: FAR un FRR atkarības no sliekšņošanās līmeņa LBP sejas atpazīšanas algoritmam



Att. 1.14: FAR un FRR atkarības no sliekšņošanas līmeņa plaukstas asinsvadu atpazīšanas algoritmam

pielietojamību cilvēku atpazīšanai pēc plaukstas asinsvadiem, tomēr sasniegtais rezultāts nav pietiekoši labs salīdzinājumā ar iepriekšējā periodā aprakstīto CMF (complex matched filtering) metodiku.

1.6 Kopsavilkums un secinājumi

BioSen grupas mērķis - izveidot automātisko LBP sejas atpazīšanas algoritmu tika veiksmīgi sasniegts, ir izveidoti sekojošie algoritma funkcionālie bloki:

- sejas detektēšanas bloks: $CDR = 98.2\%$,

- sejas lokalizācijas bloks (acu detektēšanas bloks): $CDR = 88\%$,
- sejas atpazīšanas bloks: $EER = 10\%$.

Arī tiek pārbaudīts, ka modificētu algoritma versiju var izmantot plaukstas asinsvadu atpazīšanai. Tiek izveidots automātisks plaukstas asinsvadu atpazīšanas algoritms, kuram $EER = 7.5\%$.

1.7 Nākotnes perspektīvas

Turpmākie plāni ir Local Binary Patterns sejas atpazīšanas algoritma implementācija firmas Texas Instrument signālprocesorā TMS320C6416 ar mērķi notestēt algoritma ātrdarbību iegultajās sistēmas un izveidot PC neatkarīgo automātisko sejas atpazīšanas sistēmu. Tiek plānots notestēt LBP metodikas pielietojamību 3D sejas atpazīšanas jomā. Joprojām tiks apskatīti jaunākie sasniegumi, publikācijas un algoritmi 2D un 3D sejas atpazīšanā pasaulē. Tiks dziļāk izpētīta programma LabView, uzlabota izveidotā bloku diagramma un tiks implementēts sejas atpazīšanas algoritms LabView virtuālajā instrumentā.

Literatūra

[1] H.J. Moon and P.J. Phillips. Computational and performance aspects of pca-based face recognition algorithms. *Perception*, 30(3):303–321, 2001.

[2] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. *Digital image processing.* Prentice Hall, third edition, 2007.

[3] L. Sukkaew, B. Uyyanonvara, S.A. Barman, and J. Jareanjit. Automated vessels detection on infant retinal images. In *International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2004)*, pages 25–27, August 2004.

[4] Subhasis Chaudhuri, Shankar Chatterjee, Norman Katz, Mark Nelson, and Michael Goldbaum. Detection of blood vessels in retinal images using two-dimensional matched filters. In *IEEE transactions on medical imaging, Vol.8, Issue:3*, pages 263–269. IEEE, 1989.

Nodaļa 2

`CarMote` grupas atskaite

Anotācija

Līdz ar dažādu transporta veidu attīstību, aizvien lielāka nozīme ir viedajām transporta sistēmām, kuras tiek veidotas, izmantojot aparatūras un programmatūras risinājumus. Šie risinājumi ietver gan transporta plūsmu un apkārtējo vidi raksturojošu datu ieguvi, gan arī to apstrādi un koplietošanu. CarMote grupas darbība ir vērsta uz multimodālu datu ieguves un apstrādes problēmu risināšanu transporta nozarē, izmantojot gan dažādu konvenciālu mobilu datortehniku, gan arī speciāli izstrādātas iegultas iekārtas. Šajā darbā ir aprakstītas aktivitātes, kas saistītas ar CarMote transporta līdzekļa navigācijas risinājuma izstrādi, bedru detektēšanu un auto akseleratora un bremžu vadības sistēmu veidošanu.

2.1 Ievads

2.1.1 Navigācija

Transporta līdzekļa navigācija, jeb transporta līdzekļa pārvietošanās uzraudzības un kontroles process, ir viens no svarīgākajiem procesiem, kas notiek braukšanas laikā. Diemžēl cilvēks ne vienmēr ir ideāls transporta līdzekļa vadītājs, tāpēc jebkuras pakāpes braukšanas automatizācija ir uzskatāma par ieguvumu. Automātiska transporta līdzekļu navigācija var tikt izmantota efektīva globālā maršruta un lokālās kustību trajektorijas plānošanai, kas ļauj uzlabot satiksmes drošību, efektivitāti un braukšanas komfortu. Eksistē vairākas navigācijas un atrašanās vietas noteikšanas metodes [14, 8, 11], kas atšķiras gan ar izmantoto tehnoloģiju kopumu, gan ar iegūtā rezultāta precizitāti.

2.1.2 Bedru detektēšana

Lai gan eksistē dažādas bedru kartes, piemēram, `potholes.co.uk` [4] un `bedrukarte.lv` [1], tām paredzētās informācijas vākšana notiek manuāli un pamatojas uz atsevišķiem ziņojumiem. Diemžēl manuālā datu ieguve mēdz būt

neregulāra un subjektīva. Eksistē automatizētie risinājumi, bet tie bieži vien prasa specializētu aparatūru [9].

2.1.3 Auto bremžu vadības sistēma

Automobiļa bremžu vadības sistēma ir vajadzīga, lai nodrošināt izvēlētā automobiļa automātisko bremzēšanu pēc komandas no galvenā vadības bloka, noturot izvēlēto distanci līdz priekšā braucošam automobilim. Šāda sistēma ir kooperatīvas, adaptīvas kruīzkontroles sastāvdaļa. Eksistējošos risinājumus, ko izstrādāja zinātniskās iestādes, var sadalīt pēc dzenoša mehānisma tipa:

- Sistēmas ar soļmotoru
- Sistēmas ar hidraulisko cilindru
- Sistēmas ar pneimatisko cilindru

Sistēmas, kas tiek vadīti ar soļmotoru

Priekšrocības:

- motora augsts griezes spēka moments;
- motors ir spējīgs noturēt augstu slodzi;
- lai noteikt motora rotora pozīciju atkarībā no sākumstāvokļa pozīcijas, nav vajadzības izmantot enkoderus ir vienkārši jāskaita padotu impulsu skaitu;

Trūkumi:

- motoram ir augsts strāvas patēriņš;
- darbojoties motora temperatūra sasniedz 50-60C;
- lai nostiprināt motoru bieži vien ir jāveido sarežģītu rāmja konstrukciju;
- lai veikt motora fizisko atsaisti no bremžu pedāļa, ir jāizmanto dārgu sajūga mehānismu kas ietekmē kopējo sistēmas izturību;
- lai pārnest spēku no motora ass uz pedāli, ir jāizmanto reduktora mehānismu kas sastāv no zobrata un zobstieņa, kas arī ietekmē kopējo sistēmas izturību;

Hidrauliskās sistēmas

Priekšrocības:

- samērā vienkārša hidrauliskā cilindra nostiprināšana;
- vienkārši veicama cilindra virzuļa fiziska atsaite no iedarbojamā ķermeņa;
- samērā vienkārša sistēmas vadība;

Trūkumi:

- samērā augstas sistēmas izmaksas;

- lai noteikt cilindra virzuļa pozīciju ir jāizmanto enkoderu;
- samērā grūti realizēt cilindra virzuļa brīvo pārvietošanos pie elektroniskās vadības sistēmas atslēgšanas;

Pneimatiskās sistēmas

Priekšrocības:

- kopējais risinājums ir samērā lēts;
- samērā vienkārša pneimatiskā cilindra nostiprināšana;
- vienkārši veicama cilindra virzuļa fiziska atsaite no iedarbojamā ķermeņa;
- samērā vienkārša sistēmas vadība;
- samērā vienkārši realizējama cilindra virzuļa brīvā pārvietošanās;

Trūkumi:

- lai nodrošināt pneimatiskā cilindra virzuļa precīzo pārvietošanos, ir jānoteic gan darba ķermeņa (gāzes) spiedienu cilindrā gan virzuļa pozīciju ar enkodera palīdzību;

2.2 Saistītie risinājumi

CarMote grupas aktivitātēm tuvākie saistītie navigācijas risinājumi ir POS LV [15] un MTi-G [21], kuru tematika ir GPS un inerciālās navigācijas sistēmas integrētā navigācija. CarMote grupas aktivitātēm tuvākie saistītie automobiļa gāzes un bremžu vadības risinājumi ir "Joystick-controlled cars fordrivers with severe disabilities "[3], Digidrive II elektro-mehāniskā sistēma [2, 3], VS 500 JS elektro-hidrauliskā/mehāniskā sistēma [6, 3], PVM elektro-hidrauliskā/mehāniskā sistēma [3], Space Drive [5], kuru tematika ir automobiļa gāzes un bremžu vadība, izmantojot signālus no datorizētas sistēmas.

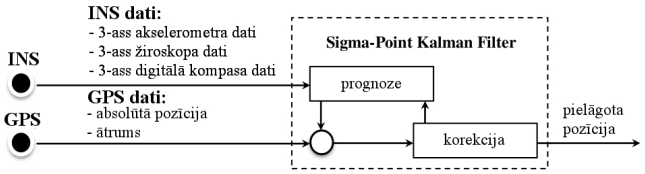
2.3 Risinājums

Globālās navigācijas pavadoņu sistēma (GNSS) un inerciālā navigācijas sistēma (INS) ir divas pieejas, kuru kombinācija var dot pietiekami labu precizitāti izvirzītajiem mērķiem, un tā tiek plaši izmantota tieši transporta līdzekļu navigācijas kontekstā. Šo pieeju sinerģija ir iespējama, jo tām ir papildinoši kļūdu raksturojumi.

GPS uztvērējs ir pozīcijas sensors. GPS kļūda, pirmkārt, ir atkarīga no GPS pavadoņu pieejamības un to ģeometriskā sadalījuma. Iegūto rezultātu iespaido arī pulksteņa kļūdas, pavadoņu trajektoriju kļūdas, jonosfēras un troposfēras aiztures kļūdas, signāla pavājināšanās un atstarošanās no dažādiem šķēršļiem, ārējie trokšņi, kā arī GPS uztvērēja paštrokšņi. Rezultējošā vidējā kvadrātiskā pozīcijas kļūda ir ierobežota, izņemot gadījumu, kad nav pieejams pozīcijas noteikšanas risinājumam nepieciešamais minimālais GPS pavadoņu skaits. Savukārt INS modulis ir orientācijas un pozīcijas sensors. INS kļūda ir atkarīga no pieejamo sensoru precizitātes un izvēlētā kustības modeļa. Kaut

arī īstermiņa pozīcijas kļūda ir maza, vidējā kvadrātiskā pozīcijas kļūda ar laiku uzkrājas.

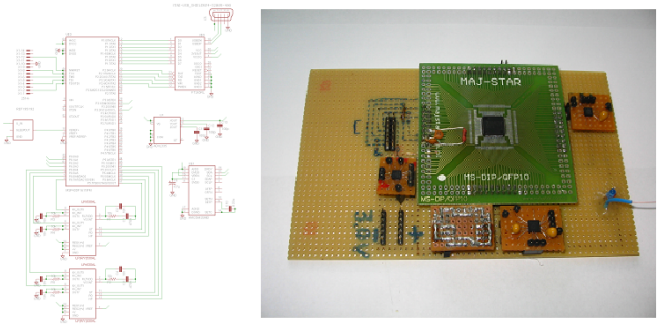
Eksistē dažādi datu sapludināšanas algoritmi. Vispopulārākie izmantošanai navigācijas risinājumos ir Kalmana filtra kopas algoritmi (piem., Kalman Filter, Extended Kalman Filter, Sigma-Point Kalman Filter u.c.). Sigma-Point Kalman Filter [20, 7, 17] tika izvēlēts turpmākajai pētīšanai un praktiskai izmantošanai (sk. att. 2.1). Algoritma izvēle ir pamatota ar tā vienkāršību lietošanā un salīdzinoši augstu precizitātes novērtējumu. Citi apskatītie algoritmi ir sarežģīti lietošanā, vai arī tiem ir salīdzinoši zema precizitāte, kas ir ļoti kritiski bezvadu sensoru tīklu pielietojumos [20, 7].



Att. 2.1: Sistēmas konceptuālā diagramma

Transporta līdzekļa navigācijas risinājuma izstrādē paveiktais:

- Ir izveidots INS modulis (sk. att. 2.2). Tas satur sekojošas komponentes - 3-asu akselerometru ADXL335, 2-asu tangāžu un kursa žiroskopu LPY530AL, 2-asu tangāžu un sānsveres žiroskopu LPR530AL, kā arī 3-asu digitālo kompasu HMC5843.

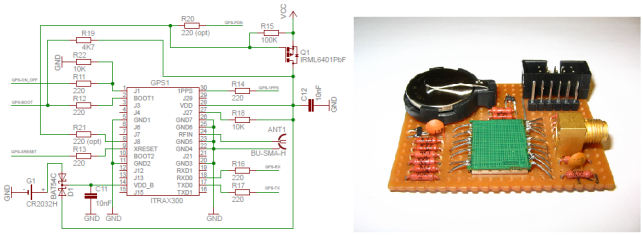


Att. 2.2: Inerciālās navigācijas sistēmas modulis

- Ir nodefinēts sistēmas kinemātiskais modelis, kurā tiek ņemtas vērā rezultātu visvairāk ietekmējošās komponentes.
- Par GPS un INS datu sapludināšanas algoritmu ir izvēlēts Sigma-Point Kalman Filter.
- Sadarbībā ar VPP Projektu IMIS, ir uzsākta GPS/INS integrācijas programmatūras izstrāde.

- Ir veikta daļēja rezultāta vizualizācijas programmatūras izstrāde. Izmantotās tehnoloģijas - Java kā servera puses programmēšanas valoda un Spring framework kā Tīmekļa aplikācijas veidošanas bāze. Liels datu apjoms un darbības ar tiem reālajā laikā ir iemesli, kuru dēļ izvēlēta AJAX (Asynchronous JavaScript un XML) tehnoloģija. Lai efektīvi izveidotu un izmantotu saiti starp Java servera galā un JavaScript Tīmekļa pārlūkprogrammā, tiek izmantota DWR bibliotēka. Savukārt Google Maps JavaScript API tiek izmantots, lai attēlotu sensoru datus un rezultātu uz Google Map kartes.

Turpinot darbu pie CarMote iegultās iekārtas prototipa aparatūras izstrādes, tika implementēts GPS modulis, kurš paredzēts iekārtas atrašanās vietas noteikšanai, izmantojot globālās navigācijas pavadoņu sistēmas Navstar signālus. Modulis implementēts, izmantojot Fastrax komponentu IT300 [12]. Savienojumam ar iegulto iekārtu tiek izmantota RS232 saskarne. Datu apmaiņu starp iegulto iekārtu un moduli iespējams veikt, izmantojot NMEA un SiRF protokolus.



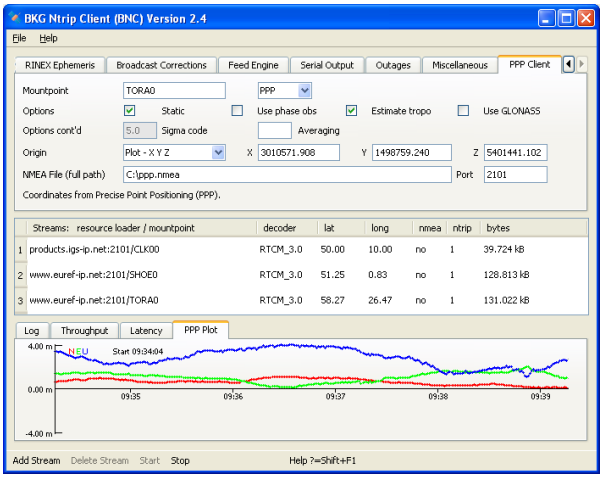
Att. 2.3: GPS modulis

Uzsākot aktivitātes multimodālu ceļa meteo datu ieguves jomā, tika implementēts magnētisks meteo sensoru modulis, kuru iespējams operatīvi uzstādīt transporta līdzeklim. Modulis implementēts, izmantojot SparkFun Electronics komponentu USB Weather Board [10]. Savienojumam ar datoru vai iegulto iekārtu tiek izmantota USB saskarne. Moduļa korpuss nodrošina komponenta aizsardzību no tiešas atmosfēras nokrišņu iedarbības, bet magnētiskā sistēma nodrošina moduļa fiksēšanu uz transporta līdzekļa metāliskās virsbūves.



Att. 2.4: Magnētisks meteo sensoru modulis. Pa kreisi - konstrukcija, pa labi - novietojums uz transporta līdzekļa virsbūves.

Piedaloties GCDC Technology Workshop (19-21.01.2011, Helmonda, Nīderlande) [16], tika iegūta informācija par potenciāli noderīgu metodiku transporta līdzekļa pozīcijas noteikšanas precizitātes uzlabošanai - RTK over IP. Metodikas pamatā ir pozīcijas korekcijas datu saņemšana reālajā laikā, izmantojot bezvadu Tīmekļa pieslēgumu. Lai pārbaudītu šīs metodikas piemērotību sava GCDC sacensību auto aprīkojuma risinājumam, tika apzinātas potenciāli noderīgas stacionārās bāzes stacijas - TORA0 (Tartu, Igaunija) un TITZ1 (Titz, Vācija), kā arī izveidoti konti korekcijas datu izplatīšanas servisos www.euref-ip.net un www.igs-ip.net.



Att. 2.5: Korekcijas datu saņemšana reālajā laikā no bāzes stacijas TORA0, izmantojot programmatūru BKG Ntrip Client Version 2.4.

Turpinot iepriekšējā gadā uzsākto ceļa seguma analīzi [13], tiek apgūti papildus aparatūras risinājumi un algoritmi. Uzsākta bedru detektēšanas sistēmas izstrāde uz Android viedtālruņa, izmantojot akselerometru datu apstrādi bedru atrašanai. Programmatūra tiek izstrādāta sadarbībā ar VPP projektu IMIS. VieSenTIS projektā tiek izstrādāti datu apstrādes algoritmi.

Uzsākot bremžu vadības sistēmas veidošanu, tika sastādīts sekojošs tehniskais uzdevums:

- Veicot bremžu pedāļa vadību ir jānodrošina trīs darbības režīmus:
  - pilnu bremžu pedāļa pārvietošanos ar maksimālo ātrumu un maksimālu spēku
  - vadāmo bremžu pedāļa pārvietošanos ar uzstādītās pozīcijas noturēšanu
  - atslēdzot, mehānismam nav jāietekmē uz bremžu pedāļa pārvietošanos
- Risinājumam ir jābūt efektīvam, kompaktam, un pēc iespējas lētam.

Lai aprēķināt cik lielu spēku sistēmai ir jāizvērš no Mazda6 automobiļa bremžu pedāļa tika uzņemti mērījumi:

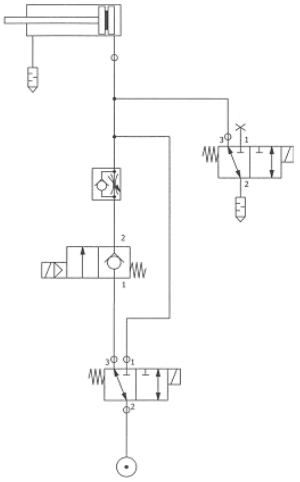
- Bremžu pedāļa gājiena garums no vienas uz otru pozīciju pedāļa virsmas vietā – 5cm.
- Bremžu pedāļa garums no stiprinājuma ass līdz pedāļa virsmai – 24 cm.
- Bremžu pedāļa garums no stiprinājuma ass līdz vakuuma pastiprinātāja ass stiprinājuma punktam – 10 cm.
- Spēks kas ir jāpieliek pie pedāļa virsmas lai pārvietot pedāli gala pozīcijā ir 30 kg.

Apskatot automobiļa pedāļu mezgla konstrukciju tika noteikts, ka pedāļa pārvietošanai spēka pielikšanas punktam (X) ir jāatrodas vietā no vakuumpastiprinātāja piestiprināšanas punkta līdz bremžu pedāļa virsmas un bremžu pedāļa sviras savienošanas vietai. Tad spēku, kas ir jāpieliek var izteikt šādi:

$$30kg \approx 300N$$
$$300N \cdot 24cm \leq X \leq 720N \cdot 10cm$$

Pirmajā piegājienā bija izvēlēta sistēma ar servomotoru, kur aprēķini tika veikti Valsts pētījumu programmas projektā IMIS. Diemžēl, pieejamiem motoriem kas nodrošina nepieciešamos jaudas parametrus bija pārāk lieli izmēri, un pārāk augsts enerģijas patēriņš, pie tā motora stiprinājumu konstrukcijas un zobrata-zobstieņa konstrukciju izmaksas būtu pārāk augstas. Paralēli ar servomotora bremžu vadības sistēmu tika apskatītas arī sistēmas kas darbojas ar hidraulisko un pneimatisko cilindru. Hidrauliskās sistēmas izgatavošanas izmaksas bija pārāk augstas elektro-hidrauliskā sūkņa un šķidruma resīvera cenu dēļ. Izrādījās, ka pneimatiskā sistēma ir vis pieejamāka detaļu plašas pieejamības un to samērā zemu izmaksu dēļ.

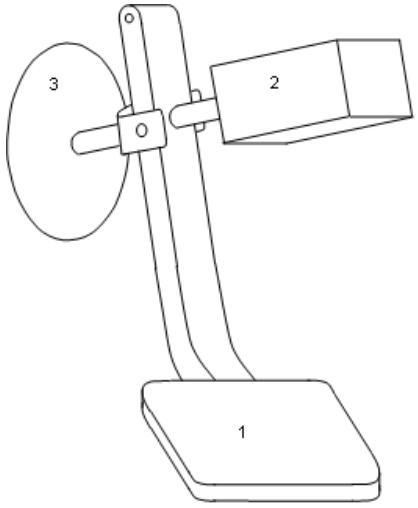
Veidojot pneimatisko bremžu pedāļa sistēmu, pirmkārt tika sastādīts tās modelis Festo FluidSIM programmatūrā (sk. att.2.6).



Att. 2.6: Bremžu vadības sistēmas pneimatiskā savienojumu shēma

Modelī ir izmantoti trīs vārsti. Normāli atvērts noplūdes vārsts, kas ļauj veikt darba ķermeņa (gāzes) aizvadi no sistēmas. Vārsts, kas ļauj pārslēgt darba ķermeņa padevi sistēmā no reduktora režīma uz tiešo režīmu. Vārsts, kas padod darba ķermeni caur reduktoru. Vārsti tiks vadīti ar impulsstrāvu. Vārstu iespējamā pārslēgšana frekvence ne zemāka par 10 Hz. Lai noteikt pneimocilindra pozīciju un darba ķermeņa spiedienu tika ieplānots izmantot vienu pārvietošanas sensoru, pamatotu uz Holla lauka efektu, un divus rezistīvus gāzes spiediena sensorus. Izveidotā modelī tika nosimulēti visi iepriekšminēti sistēmas darbības režīmi, un noprecizēti elementu parametri.

Ir zināms ka pneimatiskam cilindram ir jāattīsta spēks līdz 720N jeb 72 kilogramiem. Ar to tika pieņemts ka, pie darba ķermeņa spiediena – 5kg/cm2 cilindra minimālam platumam ir jābūt 14.4 cm2. Tika precizēta arī pneimatiskā cilindra piestiprināšanas vieta (sk. att.2.7) – tā tika izvēlēta virs vakuumpastiprinātāja piestiprināšanas vietas pie bremžu pedāļa.



Att. 2.7: Bremžu automātiskās vadības sistēmas pneimātiskā cilindra novietošanas skice. (Attēlā: 1- bremžu pedālis; 2- pneimātiskais cilindrs; 3- vakuumpastiprinātājs.)

Ar to samazinājās attālums kuru ir paveikt pneimatiskā cilindra virzulim no 5 cm līdz 2,1 cm. To var aprēķināt pēc riņķa loka garuma aprēķina formulas:

$$L = R\alpha$$

$$\frac{L_1}{R_1} = \frac{L_2}{R_2}$$

$$\frac{5}{24} = \frac{L_2}{10}$$

$$L_2 = \frac{50}{24} = 2.083(3)$$

Elektriskiem vārstiem ir jādarbojas pie 12V sprieguma, lai tie varētu tikt baroti tieši no automašīnas tīkla.

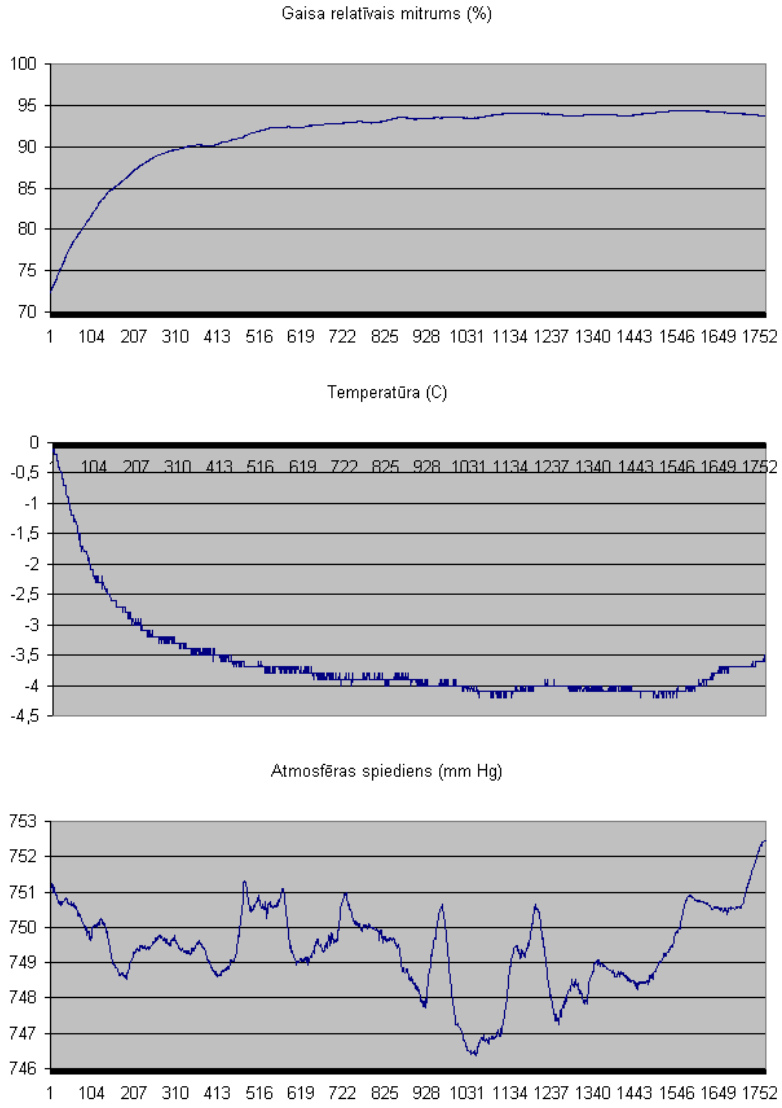
Sadarbībā ar Valsts pētījumu programmas projektu IMIS tika izvēlēti pneimatiskās sistēmas moduļi un izveidots sistēmas fiziskais modelis.



Att. 2.8: Pneimatiskās sistēmas moduļi un izveidots bremžu vadības sistēmas fiziskais modelis.

2.4 Eksperimenti

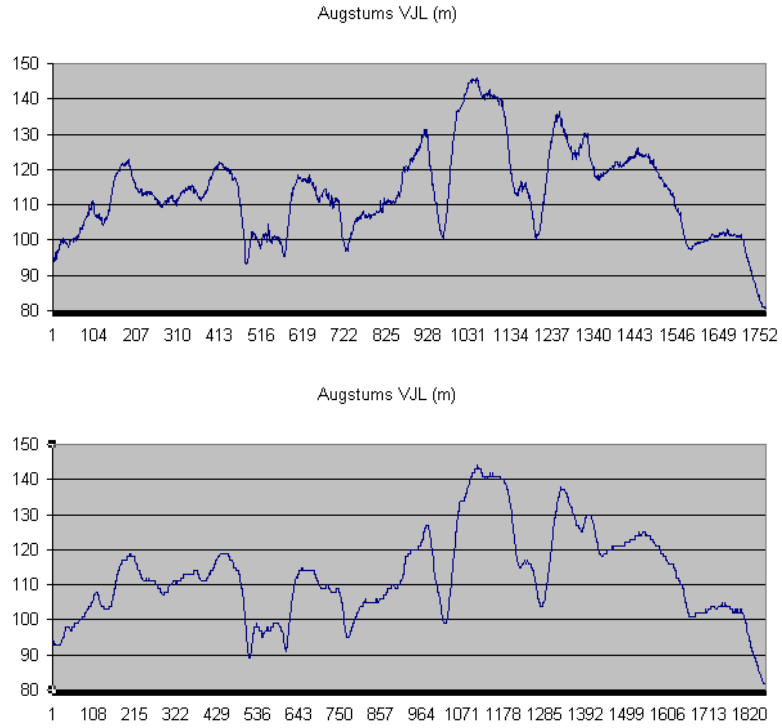
Lai noskaidrotu, vai implementētais magnētiskais meteo sensoru modulis ir piemērots operatīvās ceļa meteo informācijas datu ieguvei, tika veikts eksperiments, kura laikā auto, aprīkots ar kombinētu datu ieguves sistēmu, 1/2h laikā veica 36 km garu ceļu. Datu ieguve no GPS uztvērēja un meteo sensoru moduļa tika veikta 1x sekundē. Eksperimenta laikā tika iegūti 2.9 attēlā redzamie dati par gaisa relatīvo mitrumu, temperatūru, kā arī atmosfēras spiedienu.



Att. 2.9: Dati no magnētiskā meteo sensoru moduļa.

Analizējot iegūtos datus, tika konstatēts, ka gaisa relatīvā mitruma un temperatūras datos ieguves seansa sākumposmā ir novērojama histerēzise. Tam par iemeslu varētu būt gan pašu sensoru īpatnības, gan arī izvēlētais moduļa korpusa veids. Turpmāko eksperimentu laikā, veicot datu analīzi, ir jāņem vērā šis aspekts.

Analizējot iegūtos atmosfēras spiediena datus, tika veikta to transformācija, kuras rezultātā tika iegūti 2.10 attēlā (augšā) redzamie dati par augstumu virs jūras līmeņa (VJL). Lai izvērtētu transformēto datu precizitāti, tika veikta to salīdzināšana ar 2.10 attēlā (apakšā) redzamajiem datiem, kuri iegūti no GPS uztvērēja. Salīdzināšanas rezultātā tika noskaidrots, ka minimālās, maksimālās un vidēji aritmētiskās vērtības abām datu kopām atšķiras 0,9..1,5% robežās.



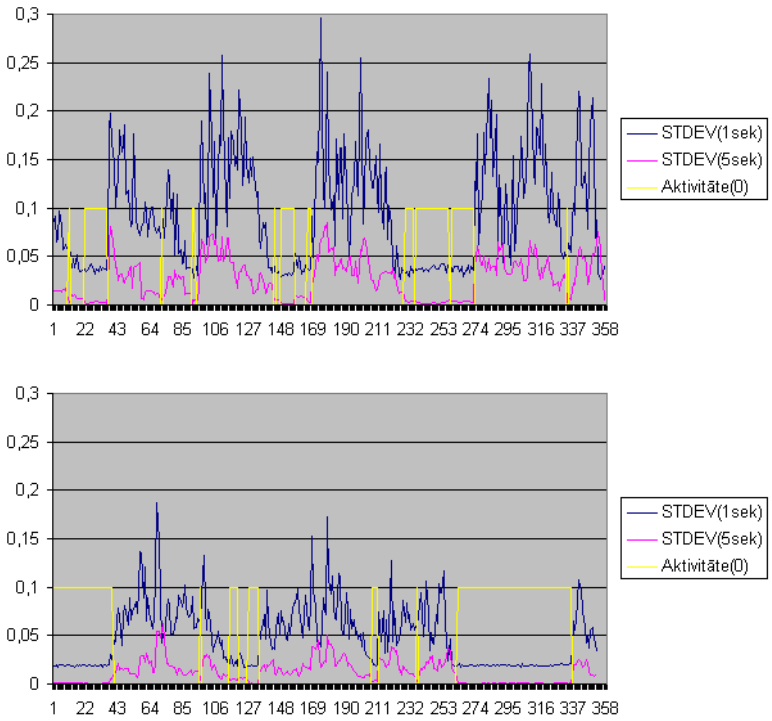
Att. 2.10: Augstums virs jūras līmeņa. Augšā - dati, kas iegūti, transformējot atmosfēras spiediena sensora datus, apakšā - dati no GPS uztvērēja.

Apsverot šādā veidā iegūstamo atmosfēras spiediena mērījumu potenciālos un analizējot līdzīga rakstura eksistējošos datu pielietojumus [19], tika izvirzīts pieņēmums, ka šādu datu izmantošana ļautu atpazīt transporta līdzekļa veikto maršrutu arī tādā gadījumā, ja globālās navigācijas pavadoņu sistēmu signāli nav pieejami vai arī tiek speciāli traucēti.

Saistībā ar potenciāla rūpnieciska pētījuma priekšizpētes darbiem tika veikti eksperimenti, lai noskaidrotu, vai trīsdimensiju akselerometra sensora dati ir pietiekami, lai implementētu algoritmu, kas reālajā laikā identificētu transporta līdzekļa kustības režīmu. Eksperimentu laikā tika izmantotas divas dažādas

aparatūras platformas - LynxNet klienta iekārtas prototips un bezvadu sensoru modulis POGA v.1b. Abas platformas ir veidotas uz Moteiv komponenta Tmote Mini bāzes, izmantojot Analog Devices sensorus ADXL330 un ADXL335. Lai iegūtu pēc iespējas daudzveidīgu testa datu kopu, tika izmantoti dažāda tipa transporta līdzekļi - gan vieglie auto, gan regulārās satiksmes autobusi.

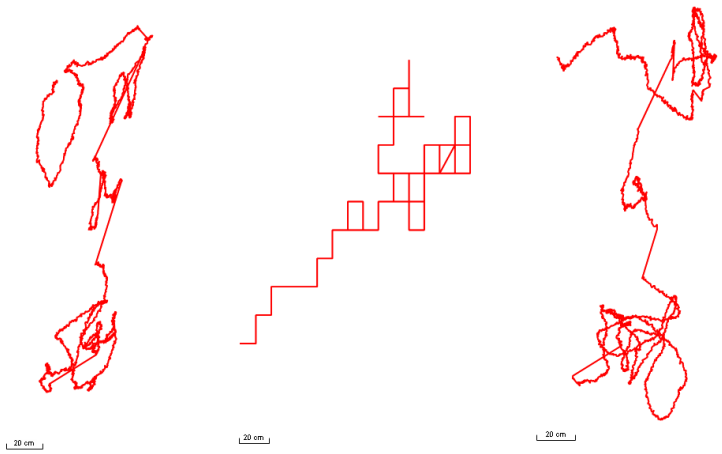
Analizējot iegūto testa datu kopu, tika noskaidrotas dažādu transporta līdzekļa kustības režīmu īpatnības. Balstoties uz tām, ir uzsākta kustības režīma identificēšanas algoritma izstrāde. Algoritma pamatā ir transporta līdzekļa aktivitātes līmeņa noteikšana, kā arī noteiktu aktivitātes līmeņu sasaiste ar noteiktiem transporta līdzekļa kustību raksturojošiem notikumiem. Ņemot vērā 2.11 attēlā redzamās dažādu transporta līdzekļu tipu īpatnības un atšķirības, algoritmā tiek iestrādāta adaptīvas autokalibrācijas funkcionalitāte.



Att. 2.11: Transporta līdzekļa aktivitātes līmenis. Augšā - dati no vieglā auto, apakšā - dati no regulārās satiksmes autobusa. Aktivitāte(0) raksturo algoritma identificēto transporta līdzekļa kustības režīmu "stāvēšana uz vietas".

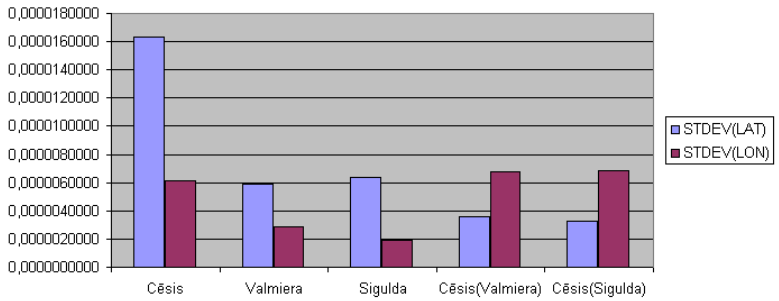
Lai noskaidrotu, vai RTK over IP metodika ir piemērota transporta līdzekļa pozīcijas noteikšanas precizitātes uzlabošanai arī tādā gadījumā, ja lokālās pozīcijas noteikšanai tiek izmantots nevis specializēts daudzfrekvenču (L1/L2) uztvērējs, bet gan plaša pielietojuma vienfrekvences (L1) uztvērējs, tika veikts eksperiments datu sapludināšanā. Kā pamatdati tika izmantots 2.12 attēlā (vidū) redzamais 1h ilgs stacionāri (Cēsis) novietota GPS uztvērēja Magellan XL pozīcijas datu ieraksts. Kā korekcijas dati tika izmantoti 2.12 attēlā (pa kreisi un pa labi) redzamie 1h ilgie LatPos sistēmas stacionāro RTK bāzes staciju

Sigulda un Valmiera pozīcijas datu ieraksti.



Att. 2.12: Pozīcijas dati no stacionārajām RTK bāzes stacijām. Pa kreisi - dati no stacijas Sigulda, pa labi - dati no stacijas Valmiera. Vidū - dati no stacionāri (Cēsis) novietota GPS uztvērēja Magellan XL

Lai novērtētu sapludināšanas rezultātā iegūto stacionāras pozīcijas datu precizitātes izmaiņas, tika izmantota standartnoviržu analīze. Vispirms standartnovirzes mērījumi tika veikti katrai izejas datu kopai, pēc tam to sapludināšanas rezultātam (skat. 2.13 attēlu). Salīdzināšanas rezultātā noskaidrots, ka sapludināšana pozīcijas dreifa standartnovirzi ziemeļu-dienvidu virzienā samazina no 0,0000163486 līdz 0,0000032328 platuma grādiem, bet standartnovirze rietumu-austrumu virzienā paliek praktiski nemainīga. Šāda atsķirība skaidrojama ar to, ka sākotnējais pozīcijas dreifs ziemeļu-dienvidu virzienā ir lielāks, kam par iemeslu ir stacionāro RTK bāzes staciju datos redzamās pozīcijas lēcienveida izmaiņas.



Att. 2.13: Standartnoviržu analīze datiem no stacionāri novietota GPS uztvērēja (Cēsis), stacionārajām RTK bāzes stacijām (Valmiera, Sigulda), kā arī sapludināšas rezultātā iegūtiem datiem (Cēsis(Valmiera) un Cēsis(Sigulda)).

2.5 Rezultāti

Pārskata periodā ir paveikts kārtējais darbu apjoms CarMote iegultās iekārtas prototipa aparatūras izstrādē, kā arī turpināta sadarbība ar MansOS grupu, veicot prototipa atbalstošās programmatūras izstrādi. Sadarbībā ar VPP projektu IMIS turpināta GCDC sacensību auto tehniskā aprīkojuma izstrāde, kā arī, balstoties uz iepriekšējām aktivitātēm ceļa seguma analīzes tematikā [13], veikts pētījums par Android viedtālruņu piemērotību datu ievākšanai un analīzei, kura rezultāti ir izmantoti publikācijas [18] tapšanā.

2.6 Kopsavilkums un secinājumi

Navigācijas rezultāta precizitāte ir atkarīga no pieejamajiem sensoriem, izmantoto sensoru precizitātes, piejamajiem datiem, nodefinētā transporta līdzekļa kustības modeļa un sensoru datu sapludināšanas algoritma. Izvēlētais navigācijas risinājums ir GPS un INS integrācija, izmantojot Sigma-Point Kalman Filter.

Svarīgākas lietas, kas ir jāņem vērā:

- Procesa un mērījumu trokšņi
- Sensoru datu nobīdes un mēroga koeficienti
- Orientācija (tangāža, sānsvere, kurss)
- Atrašanās vieta transporta līdzeklī
- Koriolisa efekts

Iepriekš definētās lietas tiek ņemtas vērā, izmantojot nodefinēto kinemātisko sistēmas modeli un izvēlēto sensoru datu sapludināšanas algoritmu.

2.7 Nākotnes perspektīvas

Nākotnē tiek plānotas sekojošas aktivitātes:

- GPS/INS moduļa programmatūras izstrādes pabeigšana
- Navigācijas risinājuma testu kopas veidošana un eksperimentu veikšana
- Navigācijas risinājuma precizitātes novērtēšana
- Auto bremžu vadības sistēmas pneimatiskās sistēmas darbības algoritmu veidošana
- Auto bremžu vadības sistēmas pneimatiskās sistēmas darbības simulācija
- Auto bremžu vadības sistēmas datu pārraides protokola veidošana

Literatūra

[1] bedrukarte.lv.

[2] Digidrive ii digital driving system.

[3] Joystick-controlled cars fordrivers with severe disabilities.

[4] Potholes.

[5] Space drive.

[6] Vs 500 js: Elektro-hidrauliskā/mehāniskā sistēma.

[7] J. L. Crassidis. Sigma-Point Kalman Filtering for Integrated GPS and Inertial Navigation. Apr. 2006.

[8] David Munoz, Frantz Bouchereau, Cesar Vargas, Rogerio Enriquez Caldera. *Position Location Techniques and Applications*. Elsevier Inc., 2009.

[9] J. Eriksson, L. Girod, B. Hull, R. Newton, S. Madden, and H. Balakrishnan. The Pothole Patrol: Using a Mobile Sensor Network for Road Surface Monitoring. In *MobiSys'08*, pages 29–39, 2008.

[10] S. E. Inc. *USB Weather Board v2*, September 2008.

[11] Jay A. Farrell. *Aided Navigation: GPS with High Rate Sensors*. The McGraw-Hill Companies, 2008.

[12] F. Ltd. *IT300 GPS Receiver*, October 2010.

[13] A. Mednis, G. Strazdins, M. Liepins, A. Gordjusins, and L. Selavo. Roadmic: Road surface monitoring using vehicular sensor networks with microphones. In F. Zavoral, J. Yaghob, P. Pichappan, and E. El-Qawasmeh, editors, *NDT (2)*, volume 88 of *Communications in Computer and Information Science*, pages 417–429. Springer, 2010.

[14] Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews. *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*. John Wiley & Sons, Inc., 2nd edition, 2007.

[15] L. Nastro. Position and orientation data requirements for precise autonomous vehicle navigation. Technical report, Applanix Corporation, 2007.

[16] G. organization. *GCDC 2011 Rules & Technology Document Final version*, February 2011.

[17] E. E. M. Pifu Zhang, Jason Gu and P. Huynh. Sigma-Point Kalman Filtering for Integrated GPS and Inertial Navigation. 2005.

[18] G. Strazdins, A. Mednis, G. Kanonirs, R. Zviedris, and L. Selavo. Towards Vehicular Sensor Networks with Android Smartphones for Road Surface Monitoring. In *The Second International Workshop on Networks of Cooperating Objects (CONET'11), Electronic Proceedings of CPSWeek'11*, 2011.

[19] C. N. Taylor. Enabling navigation of mavs through inertial, vision, and air pressure sensor fusion. In H. Hahn, H. Ko, and S. Lee, editors, *Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, volume 35 of *Lecture Notes in Electrical Engineering*, pages 143–158. Springer Berlin Heidelberg, 2009.

[20] R. van der Merwe, E. Wan, and S. Julier. Sigma-Point Kalman Filters for Nonlinear Estimation and Sensor-Fusion: Applications to Integrated Navigation. Aug. 2004.

[21] Xsens. Miniature AHRS with integrated GPS. Technical report, Xsens Technologies, 2010.

Nodaļa 3

EdiMote grupas atskaite

3.1 Anotācija

EdiMote - universāls rīks bezvadu sensoru mezglu prototipēšanai [7]. Atskaitē ir pieminēts trīs mēnešos paveiktais EdiMotes apakšgrupas ietvaros, mērķi, uzdevumi, problēmas, to iespējamie risinājumi. Ir uzlabota EdiMotes komunikācija ar datoru: SPI saskarnes vietā tiek izmantota UART saskarne. Veikta arī VHDL koda optimizācija kā arī iespējamā koda opjoma novērtēšana, kas būs jāņem vērā izvēloties citu FPGA mikroshēmu.

3.2 Ievads

Iepriekšējos mēnēšos izdarītais:

- Ciparu shēmas projektēšana un implementācija CPLD [1]:
  - Komunikācijas nodrošināšana EdiMotei ar datoru;
  - periferiālo ierīču kontrole, datu apstrāde;
- Jaudas mērītāji;
- Datora programmatūras izstrāde LabView vidē;
- Praktiskie testi ar izveidotajiem moduļiem;
- Gatavošanās REALWSN'10 konferencei.

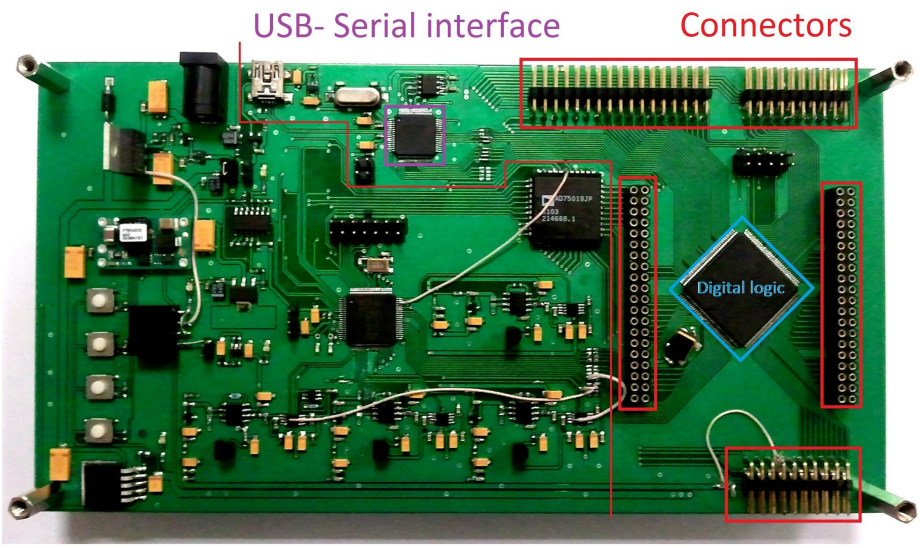
Šajos trīs mēnešos izdarītais:

- Ciparu loģiskās shēmas optimizācija (VHDL kods):
  - izstrādāts jaunas arhitektūras koncepts: tā ir mērogojama, tas ir, papildinot shēmu ar moduļiem, nav jāpārveido lielākā daļa no dizaina;
  - komunikācija ar datoru: SPI nomainīts uz UART;
- Programmatūras izstrāde datoram **Python** valodā;
- Moduļu izstrāde:

– uzprojektēta iespiedplate **CC430** [4] [5] mikroshēmai, kurā ir integrēti 433 MHz radio un MSP mikrokontrolieris;

– uzprojektēta iespiepdlate bluetooth **BTM-222** [3] modulim.

3.3 Risinājums



Att. 3.1: Salodēts prototips EdiMote

Attēlā ir redzama EdiMotes iespiedplate. Trīs galvenie bloki, kuri tika attīstīti, ir izcelti, tie ir:

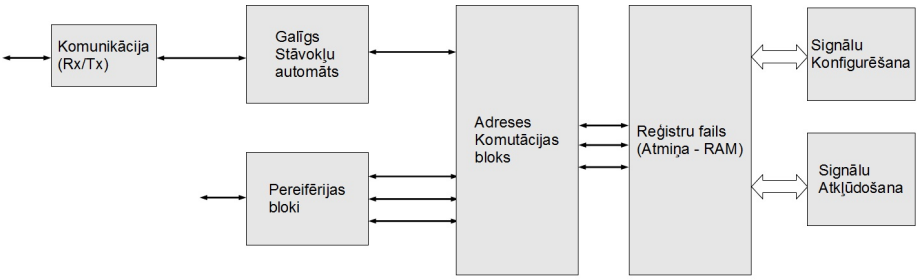
- Komunikācijas bloks;
- konektori;
- ciparu loģikas shēma [6].

Turpmāk tekstā tiks stāstīts par jauna koncepta ciparu loģikas shēmas izveidi un shēmas optimizēšanu, tiks pieminēti arī pārējie funkcionālie bloki.

3.3.1 Ciparu loģikas shēma

Komunikācija

Komunikācijas bloks nodrošina datu apmaiņu starp datoru un EdiMoti, paredzēts gan rīka konfigurēšanai, gan ievākto datu nosūtīšanai uz datoru. Iepriekšējais risinājums bija SPI saskarne, kas tika nomainīta uz UART. UART jeb RS232 saskarni atbalsta visas operējtāsistēmas, līdz ar to tiek atvieglots darbs ar šo protokolu.
CPLD izveidotais UART bloks sastāv no četriem apakšblokiem:



Att. 3.2: Ciparu loģikas blokshēma EdiMote

- **Datu saņēmējs (Rx)** - pārveido virknes datus paralēlajā plūsmā, pēc katra saņemtā baita formē apstiprinājuma (ACK) signālu, ja tranzakcijas laikā ir radusies kļūda, tad izstrādājas kļūdas bits (error signal).
- **Saņemto datu formētājs** - sadala trīs saņemtos baitus pēc nozīmes, tie ir - komandas, adreses, datu baiti. Saņemtie baiti tiek padoti uz galīgo stāvokļa automātu.
- **Nosūtāmo datu formētājs** - sagatavo paketi, kurā ir addrese, datu baits.
- **Datu sūtītājs (Tx)** - pieprasītos datus pārveido no paralēlās uz virknes plūsmu un aizsūta uz datoru.

Komunikācijai ar datoru tiek izmantots 460kbaud.

Galīgs stāvokļu automāts

Dekodē saņemtās komandas un operē ar addresēm un datiem. Izveidotas trīs komandas:

- **Wr** - rakstīt;
- **Rd** - lasīt;
- **Rd block** - lasīt no atmiņas noteiktu datu daudzumu.

Komandas tiks sadalaītas pēc nozīmes, katrai apakšgrupai varētu būt 16 CMD.

CMD grupas veicamā funkcija	Grupa (4 MSB)	Grupas CMD (4 LSB)
Reset	0 (”0000”)	No 0 - F
Rakstīšana atmiņā (Reg.File)	1 (”0001”)	No 0 - F
Lasīšana atmiņā (Reg.File)	2 (”0010”)	No 0 - F
Piemēram, status reģistri utt.	.....	.....
.....	F (”1111”)	No 0 - F

Šāda pieeja ļauj papildināt komandas nepārdefinējot pārējās. Izstrādes beigās, komandu adrešu grupas tiks optimizētas.

Adreses komutācijas bloks - Tilts starp atmiņu (Reģistru failu) un dažādiem moduļiem, kuri komunicē ar to. Adrešu apgabali ir sadalīti masīvos. Katrā atmiņas masīvā var rakstīt tikai konkrēts modulis, piemēram, statusa reģistrus var konfigurēt tikai lietotājs, savukārt periferiālie moduļi datus var rakstīt tikai tiem atvēlētajā atmiņas apgabalā. Datu nolasīšana un nosūtīšana uz datoru ir iespējama no jebkura atmiņas apgabala. Viens no risinājumiem adreses dalīt pa 256 adresēsm (0xFF). Tas ir izdevīgi, jo tiek izmantota UART saskarne, kur ir 8 biti, kas kopsummā dod 256 vērtības.

Periferiālie moduļi	Periferiālo moduļu adrešu apgabals	Atmiņas addrese
UART	0 - FF	0 - FF
PWR 1	0 - FF	100 - 1FF
PWR 2	0 - FF	200 - 2FF
.....	0 - FF	.....
.....	0 - FF	x00 - xFF

Pēdējā adrese (x00 – xFF) ir atkarīga no tā, cik periferiālo moduļu tiks izmantoti kā arī no maksimāli iespējamās atmiņas FPGA. Šajā revīzijā, kur tiek izmantota CPLD mikroshēma ir realizēts 128x8 reģistru fails.

Atmiņa (reģistru fails)

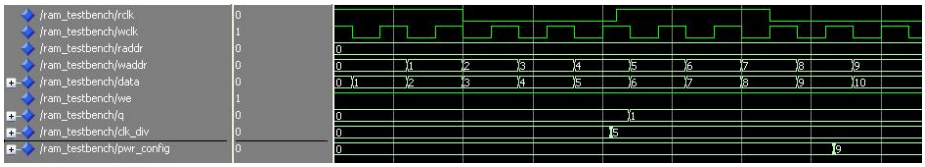
Shēmas daļa, kur glabājas uzstādījumu, periferiālo ierīču ievāktie dati. Šis bloks ir mērogojams, kā arī portējams uz dažādām Altera FPGA integrālām mikroshēmām: izveidots tā, lai FPGA neizmantotu loģiskos elementus, bet gan iekšējo atmiņu (RAM bits).
Viens no šī bloka uzdevumiem ir rūpēties, lai uzstādījumu datu izmaiņas gadījumā attiecīgie moduļi saņemtu jaunos uzstādījumus. Viens no risinājumiem ir papildus shēma, kas nepartraukti lasītu atmiņuar nolūku detektēt datu izmaiņas. Tāds risinājums sarežģītu shēmu, tāpēc tika meklētas risinājuma alternatīvas. Izpētot atmiņas moduļa implementāciju VHDL kodā, kā arī RAM atmiņas uzbūvi.

```
process(wclk)
begin
if(rising_edge(wclk)) then
        if(we = '1') then
                ram(waddr) <= data;
        end if;
end if;
end process;
```

Tika ieviesti papildus nosacījumi: ja ierakstīšanas adrese sakrīt ar reģistra, kas atbild par konkrēto periferiālo ierīci, adresi, piemēram, frekvences dalītāju (clk div) vai jaudas mērītāju (PWR), tad dati tiek ierakstīti reģistru failā un automātiski tiek padoti uz attiecīgo moduli.

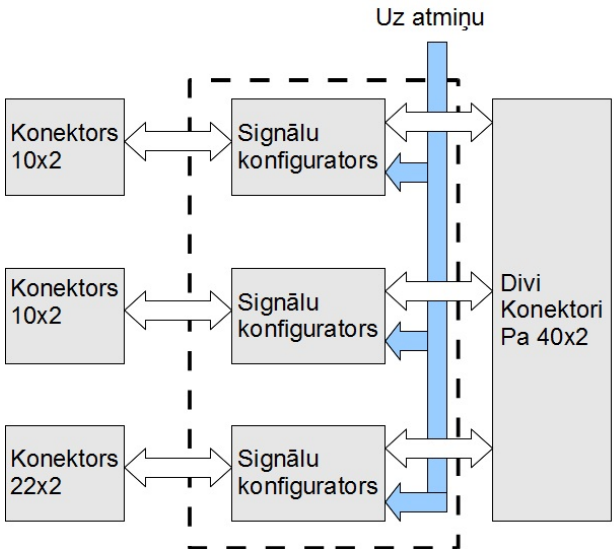
```
process(wclk)
begin
if(rising_edge(wclk)) then
        if(we = '1') then
                ram(waddr) <= data;
                if waddr =  4 then
                        clk_div_value <= data;
                elsif  waddr =  8 then
                        pwr_config      <= data;
                end if;
        end if;
end if;
end process;
```

Tika veiktas simulācijas izmantojot Altera Starter Edition [2] simulācijas rīku.



Att. 3.3: Reģistru faila simulācija EdiMote

Ciparu signālu komutēšana (crossbar switch)



Att. 3.4: Ciparu signālu konfigurēšanas blokshēma EdiMote

Lai izveidotu konceptu ciparu signālu konfigurēšanai sākumā tika pētīta iespēja komutēt signālus vienā virzienā (Input -> Output). Tas tika panākts

izmantojot multipleksorus. Ja vajag komutēt NxN signālus, tad ir nepieciešams N skaits multipleksoru ar N skaitu vērtībām (selx). Katram multipleksoram vajadzīgs savs atmiņas elements, kur glabātos tā uzstādījumi, par šādu elementu var kalpot iepriekš izveidotais reģistru fails, kurā lietotājs rakstītu nepieciešamo konfigurāciju.

Izmantojot šādu pieeju tika implementēts 8x8 vienvirzienu signālu komutators. Attīstot šo pieeju var izveidot divvirzienu komutāciju, jo Altera mikroshēmas atblasta trīsstāvokļu loģiku ('0', '1', 'Z'). Izmantojot šādu pieeju var apvienot multipleksoru/demultipleksoru vienā blokā. Šādai realizācijai nepieciešama papildus signālu kopa - **dir** - (direction). Koda daļa, kas apraksta augstāk minēto

```
entity bi_mux is
        port
        (
           data_1 : inout std_logic_vector(1 downto 0);
           data_2 : inout std_logic_vector(1 downto 0);
           sel_1  : in integer range 0 to 1;
           sel_2  : in integer range 0 to 1;
           dir    : in std_logic_vector(1 downto 0)
         );
end bi_mux;

architecture bi_mux of bi_mux is
signal sig_data_out : std_logic_vector(7 downto 0);
Begin
        data_1(0) <= data_2(sel_1) when (dir(0) = '0') else 'Z';
        data_1(1) <= data_2(sel_2) when (dir(1) = '0') else 'Z';

        data_2(0) <= data_1(sel_1) when (dir(0) = '1') else 'Z';
        data_2(1) <= data_1(sel_2) when (dir(1) = '1') else 'Z';
end bi_mux;
```

Selx un **dirx** vērtības glabājas reģistru failā. Atkarībā no tā, cik lielu signālu masīvu ir nepieciešams komutēt, jāizvēlas **selx** un **dirx** vērtības. EdiMotē tika realizēta 8x8 signālu komutācija, kuras realizācijai nepieciešams, pieci astoņu bitu reģistri (četri reģistri **selx** un viens reģistrs **dirx** vērtību glabāšanai.
Lai izveidotu pilnu konfigurāciju EdiMotei ir nepieciešami:

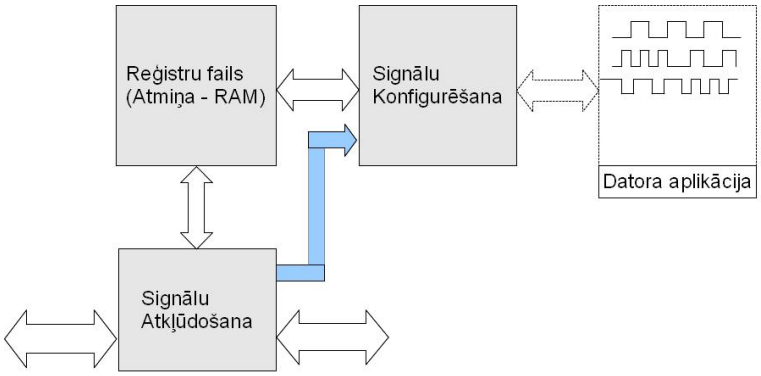
- Diviem 10 signālu kumutēšanai - 12 reģistri;
- 22 signālu komutēšanai - 25 reģistri;
- 44 signālu komutēšanai - 50 reģistri.

Kas kopsummā dod 87 8-bitu reģistrus.

Ciparu signālu atkļūdošana

Ciparu signālu iegūšana un pārsūtīšana uz datoru. Maināms nolšu iegūšanas laika intervāls (diskretizācijas laiks). Signālu atkļūdošanas bloka realizācija ir līdzīga ar ciparu signāla osciloskopiem, tas ir:

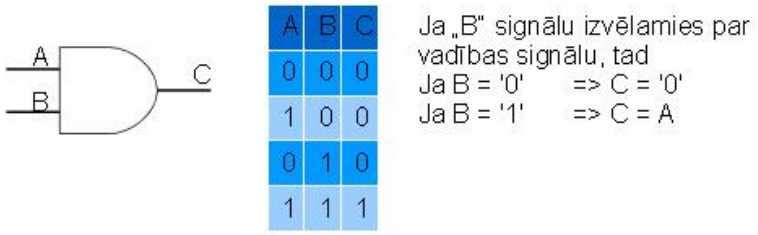
- izvēlas diskretizācijas frekvenci;
- izvadu vai to kopu kombināciju, kuru saņemot tiks sākta datu iegūšana;
- datu apjomu – nolašu dauzdzumu, kas tiks saglabātas atmiņā.



Att. 3.5: Ciparu signālu atkļūdošanas blokshēma EdiMote

EdiMotes signālu atkļūdošanas algoritms:

- izvēlas diskretizācijas frekvence -var izvēlēties 50MHz diksretizācijas frekvenci ar dalījumu no 2 - 512.;
- izvēlas signālu kopu (8 biti), kura tiks ņemta vērā atkļūdošanas laikā - ja lietotājam interesē tikai daži signāli no 8 bitu signāla masīva, tad viņš var izvēlēties, kurus signālus ņemt vērā, kurus nē. Tiek panākts izmantojot loģisko operāciju "UN";



Att. 3.6: Signālu izvēlēšanās EdiMotei

- Jāuzstāda signālu kombinācija, kuru saņemot tiks uzsākta signālu ieģūšana. Sliekšņa kombināciju izvēlās konfigurējot reģistru failā izveidoto mainīgo;
- Jāuzstāda nolašu daudzums, jāpalaiž signālu atkļūdošana. To panāk izmainot speciālā reģistra vērtības;
- Jānolasa ierakstītās nolases no reģistriem, izmantojot "RD" vai "Rd block" komandas.

3.3.2 Datora programmatūras izstrāde EdiMotei

EdiMotes rīks ir projektēts tā, lai tas spētu komunicēt ar datoru. Datoram ir paredzēti šādi uzdevumi:

- kontrolēt EdiMotes rīku;
- Veikt saņemto datu apstrādi un vizualizāciju;
- ģenerēt virtuālaus sensoru signālus un sūtīt tos uz EdiMoti.

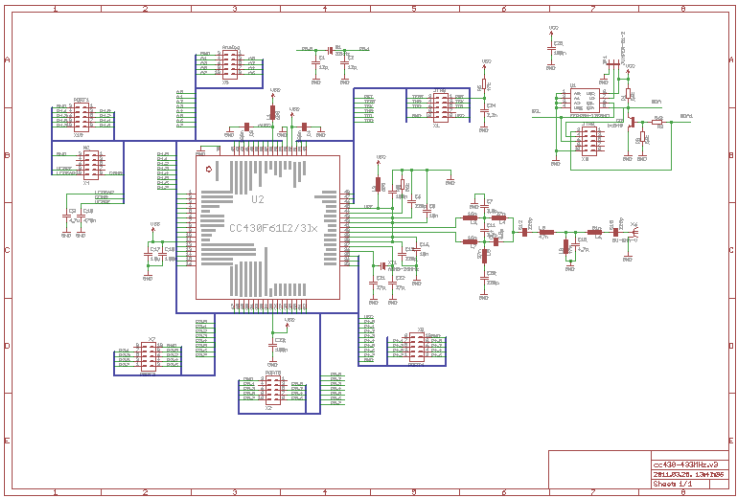
Tika izvēlēta UART saskarne, jo to atbalsta operētājsistēmas, līdz ar to tiek atvieglots darbs saistībā ar šīs saskarnes lietojumu. Lai sāktu programmatūras izstrādi EdiMotes attīstītājrīkam, bija jāizvēlas programmēšanas valoda. Ar virknes portu ērti darboties no tādām programmām, kā LabView, Matlab, Microsoft C, Python u.c.
EdiMotes vadībai izvēlēta Python programmēšanas valoda tās vienkāršības un operētājsistēmas (OS) neatkarības dēļ. LabView un Matlab netika izvēlēti, jo tās ir maksas programmatūras un lietotāji, kuriem nav šādu rīku jāinstalē attiecīg "Runtime-library", kas sarežģī EdiMotes rīka uzstādīanu uz jauna darba datora.
Programmatūras izstrāde tika sadalīta vairākos etapos;

- Python valodas apgūšana;
- UART komunikācijas nodrošināšana;
- balstoties uz EdiMotes rīka specifikāciju, izveidot komandu kopu, kas ļautu sazināties kā arī konfigurēt EdiMoti;
- Izveidot konsoles tipa programmu, kuru varētu testēt caur komandrindu logu;

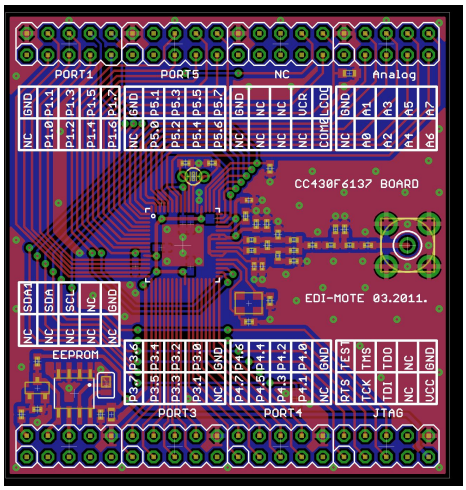
3.3.3 Moduļi

CC430

Kompleksa integrālā mikroshēma, kurā ir ieintegrēti vairāki komponenti - 433MHz radio un MSP430 mikrokontrolieris. Šis modulis tika izveidots, lai pielāgotu MansOS darbībai uz tā, kā arī veiktu sākotnējās LynxNet projekta prototipa 2. versijas simulācijas, izmantojot EdiMoti.

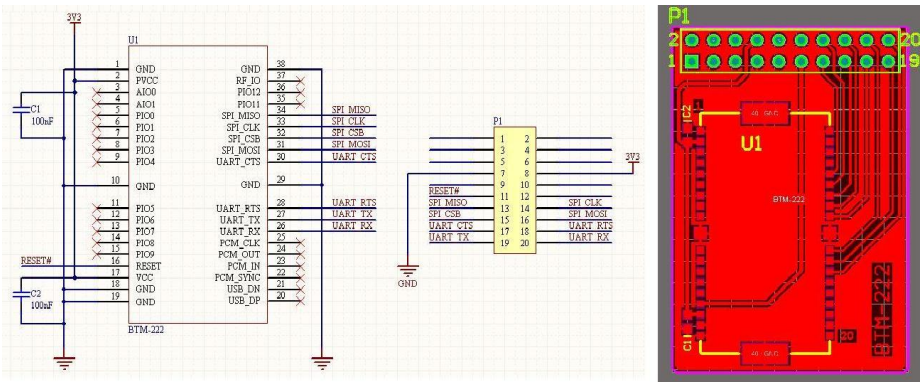


Att. 3.7: CC430 moduļa principiālā elektriskā shēma EdiMote



Att. 3.8: CC430 moduļa iespiedplate EdiMote

Bluetooth modulis BTM-222



Att. 3.9: BTM-222 principiālā elektriskā shēma un iespiedplate EdiMote

3.4 Rezultāti

Sasniegtos rezultātus var iedalīt trīs grupās - saistībā ar aparatūras izstrādi un to ”pieradināšanu”, ciparu loģiskās shēmas izstrādi, datora programmatūras izstrāde.
Saistībā ar aparatūras izstrādi galvenie rezultāti ir:

- MSP mikrokontroliera programmēšanas protokola (BSL) pieradināšana, tas ir, lietotājs, MSP mikrokontrolierus, var programēt neizmantojot JTAG programmatorus. Lai to darītu EdiMote jāsavieno ar datoru caur USB kabeli;
- uzprojektēta un pasūtīta CC430 modulārā iespiedplate;
- uzprojektēta un pasūtīta BTM-222 modulārā iespiedplate.

Viens no būtiskākajiem rezultātiem ir ciparu loģiskās shēmas jauna koncepta izveidošana, ir realizēti šādi funkcionālie bloki:

- komunikācijas bloks - nodrošina komunikāciju caur UART (460 kbaud/s) ar personālo datoru;
- komandu dekodētājs;
- adrešu formētājs;
- atmiņas jeb reģistru fails;
- ciparu signālu konfigurators;
- iesākts ciparu signālu atkļūdotājs;

Sākta datora programmatūras izstrāde EdiMotei, izveidota programma, kas ļauj kominicēt caur UART saskarni. Izveidotās programmas darbības princips ir sekojošs:

- Tiek definētas izsaucamo komandu konstantes, kas definētas CPLD:
  - wr = b(0x10) Write to memory (address)
  - rd = b(0x20) Read from memory (address)
  - rd block = b(0x21) Read a memory block from starting address
- Izveidota funkcija scan(), kas noskanē datoram pieslēgtos un pieejamos virknes saskarnes portus un izvada pieprasījumu izvēlēties nepieciešamo portu;
- Izveidota klase Commands un klases konstruktors (init) , kas inicializē virknes saskarni ar uzstādītajiem parametriem;
- Izveidotas funkcijas darbam ar virknes interfeisu, kas ļauj nosūtīt, nolasīt noteiktu skaitu baitu, atvērt vai aizvērt virknes portu, pārbaudīt pašreizējo aizņemtības statusu;
- Izveidotas izsaucamās funkcijas konkrētu parametru uzstādīšanai/nolasīšanai EDI Motē;
- Tiek izsaukta programmas galvenā funkcija main(), kas veic sākuma inicializāciju, izmantojot iepriekš definētās funkcijas, un interaktīvā veidā ļauj lietotājam komunicēt ar EDI Moti.

3.5 Kopsavilkums un secinājumi

Turpinās darbi, kas apvienotu atsvešķas EdiMotes daļas un sasaistītu tās kopā. Viens no galvenajiem uzdevumiem šajā posmā bija EdiMotes komunikācija ar personālo datoru. Izpildot šo nosacījumi, tika attīstīti šādi novirzieni - datora programmatūras izstrāde (neizmantojot gatavus risinājumus), savukārt no EdiMotes puses tika attīstīta iespēja pārkonfigurēt un atkļūdot ciparu signālus.

3.6 Nākotnes perspektīvas

Turpināt veidot moduļu plates EdiMotei. Šim nolūkam tika veikta aptauja, EDI darbiniekiem, kur bija lūgums apkopot sev nepieciešamās plates:

- Saskarnes moduļi:
  - LED + pogu modulis;
  - LCD ekrāna modulis.
- Atmiņas moduļi:
  - FLash čipu atmiņa;
  - SD karte
- Radio moduļi:
  - GPS modulis;

  - WiFi modulis

- Saskarnes moduļi:
  - USB uz seriālo saskarni;
  - Ethernet.

Testēt esošās sensoru motes.
Uzlabot aparatūras programmnodrošinājumu EdiMotei.
Attīstīt programmnodrošinājumu datora aplikācijām, kuras paredzētas EdiMotes kontrolšanai.

Literatūra

[1] Altera max ii epm1207t144c5n datasheet. `http://www.altera.com/literature/hb/max2/max2_mii5v1_01.pdf`.

[2] Altera starter modelsim. `http://www.altera.com/products/software/quartus-ii/modelsim/qts-modelsim-index.html`.

[3] Btm-222. `http://web.argus.lv/shop/productinfo/BTM-222/hwindex.htm`.

[4] Cc430 ic. `http://www.ti.com/corp/docs/landing/cc430/index.htm?DCMP=CC430&HQS=Other+OT+cc430_wireapp`.

[5] M. P. Li. *Jitter, Noise, and Signal Integrity at High-Speed*. Prentice Hall, 1st, edition, 2007.

[6] V. A. Pedroni. *Circuit Design with VHDL*. The MIT Press, 2004.

[7] R. Ruskuls and L. Selavo. EdiMote: A Flexible Sensor Node Prototyping and Profiling Tool. In *Real-World Wireless Sensor Networks 4th International Workshop, REALWSN 2010 Colombo, Sri Lanka, December 2010 Proceedings*, pages 194–197. ACM, 2010.

Nodaļa 4

MansOS grupas atskaite

Anotācija

MansOS grupas mērķis ir izstrādāt operētājsistēmu bezvadu sensoru tīkliem (BST), kā arī strādāt pie šīs operētājsistēmas praktiskajiem pielietojumiem. Lai gan jau eksistē vairākas BST specifiskas operētājsistēmas, tām ir tādi trūkumi kā krauja apmācības līkne vai slikta portējamība. MansOS izvairās no šīm problēmām, sekojot savas arhitektūras vadlīnijām – strādāt mērķauditorijai ar UNIX un C programmēšanas pieredzi, būt lietotājdraudzīgiem, un piedāvāt vieglu portējamību uz jaunām aparatūras platformām. Praktiski darbi pie šī mērķa sasniegšana pašreizējā stadijā iekļauj gan strādāšanu pie specifiskiem MansOS praktiskajiem pielietojumiem, gan sadarbību ar citām VieSenTIS darba grupām. Paralēli šim mērķim norit pētījumi par iespējām pielāgot *Transmission Control Protocol* (TCP) bezvadu sensoru tīkliem. Specifiski, tiek apskatīta ideja drošas piegādēs realizācijai izmantot kļūdu labošanas kodus (*Forward Error Correction*, FEC).

4.1 Ievads

Darbs MansOS grupā 2011. gada pirmajā ceturksnī noritēja pie:

- konkrētiem MansOS praktiskiem pielietojumiem, tādiem kā ar *Inertial Measurement Unit* (IMU) aprīkota sensoru mezgla lietošana trajektorijas izsekošanai, vai arī GPS sensoru mezgla precizitātes paugstināšanai;
- bezvadu sensoru tīklu testēšanas vides ("TestBed") koncepcijas izstrādes;
- lietotāju atbalsta un programmatūras koda uzturēšanas, pamatā sadarbojoties ar citām VieSenTIS darba grupām (CarMote, EdiMote), kā arī ar Latvijas Universitātes studentiem;
- Tmote Mini izklājplates izstrādes sadarbībā ar Latvijas Universitātes studentiem;
- LynxNet apakšprojekta [1] ietvaros izstrādāts projektējums iekārtas prototipa 2. versijai un EdiMote CC430 modulim;

- jaunu pētniecības ideju apzināšanas, pierakstīšanas un publicēšanas lokālā Wiki

4.2 Risinājums

4.2.1 Trajektorijas izsekošana

Ātruma sporta veidos (piemēram, kalnu slēpošana) zināšanas par precīzu sportista trajektoriju trasē var būt noderīgas gan treniņiem, gan sacensībām – lai analizētu optimālo (ātrāko) trajektoriju, un pamanītu novirzes no tās. Mūsu mērķis šeit ir izstrādāt programmatūras un aparatūras komplektu, kas ļautu izsekot sportista trajektorijai trasē ar kļūdu mazāku par vienu metru. Neuzlabota GPS sistēma nespēj piedāvāt tādu precizitāti, tāpēc pasaulē tāda veida projektos kalnu slēpotāju izsekošanai tiek lietotas sistēmas, kur GPS precizitāte uzlabota, pielietojot *Differential GPS* (DGPS) vai *Real Time Kinematics* (RTK-GPS) [9], vai arī kombinējot GPS ar *Inertial Measurement Unit* (IMU) [15] [12].

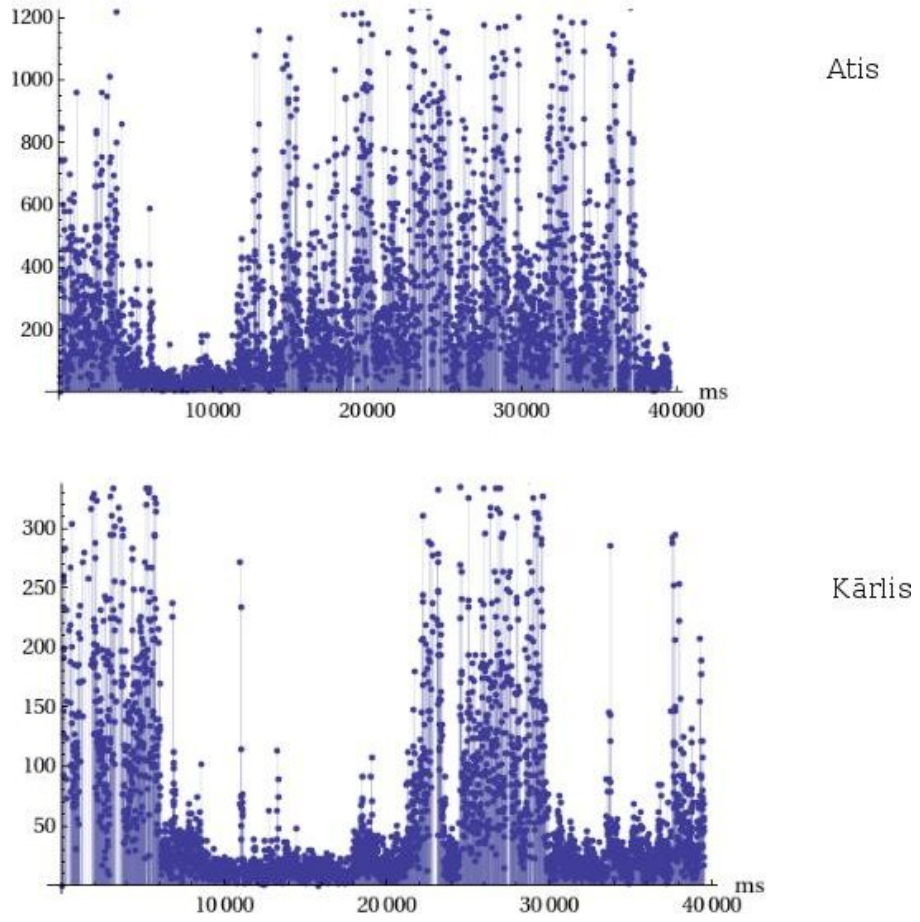
Mūsu realizācijas pamatideja ir rekonstruēt sportistu pārvietošanos trasē izmantojot ar IMU apvienotu GPS. Trajektorijas izsekošanas sistēmas jau eksistē un tiek plaši lietotas profesionālajā sportā (piemēram, lai analizētu treniņu datus), taču amatieriem vai citiem interesentiem ar ierobežotu budžetu tās var būt nepieejami dārgas. Tāda sistēma ļautu atlētam salīdzināt savu sniegumu ar citiem vai arī pašam ar sevi citos braucienos, kā arī analizēt to veidā, kāds viņam līdz šim nav bijis pieejams. Šāda veida sistēmām ir potenciāli pielietojumi arī citās, vairāk vai mazāk saistītās jomās; kā, piemēram, neredzīgo un vājredzīgo cilvēku navigācijai un sportam.

Salīdzinot ar jau eksistējošām pozīcijas izsekošanas sistēmam, kas sastāv no precīzas laika mērīšanas iekārtas un procesu filmējošām videokamerām:

- daudz ērtāk un lētāk uzstādīt un lietot (salīdzinot specifiski ar vairākām videokamerām);
- var iegūt lielāku precizitāti;
- automātiska iegūto datu salīdzināšana un analīze ir vienkāršākas.

Risinājums sastāv no apvienota IMU un GPS mezgla, kas periodiski nosaka savu absolūto pozīciju izmantojot satelītu navigācijas sistēmas datus, bet starp šīm nosacīšanas reizēm lieto uz relatīvi augstas frekvences (*100Hz*) IMU nolasījumiem balstītu *dead reckogning* pozīcijas un ātruma aptuvenai novērtēšanai. Risinājums paredz arī uz Kalmana filtra balstīta algoritma izstrādi, kas ļautu apvienot IMU un GPS datus tādā veidā, kurš nodrošinātu maksimālo precizitāti.

Šis risinājums ir plānošanas un sākotnējās izstrādes stadijā. Pagaidām ir ievākti dati par dažiem nobraucieniem no diviem cilvēkiem. Ātruma aproksimāciju ir iespējams redzēt attēlā 4.1. Pašreizējais novērtējums rāda, ka pašreiz izmantotā *Analog Devices ADXL335* [2] akselerometra un *InvenSense IDG-500* [7] žiroskopa piedāvāta precizitāte var būt nepietiekoša šāda projekta realizācijai, tāpēc šo aparatūru būtu vēlams aizstāt. Savukārt, lai uzlabotu GPS datu precizitāti, viens no pieejamākajiem variantiem būtu lietot *Satellite Based Augmentation System*, kā papildus pozīcijas precizēšanas opciju (veidu, kā realizēt DGPS bez papildus aprīkojuma).



Att. 4.1: Eksperimentālie dati (Akselerometra Z-ass rādījumi divos nobraucienos)

4.2.2 Kļūdu labošanas kodi sensoru tīklos

Daudzos sensoru tīklu lietojumos parādās vajadzība uzticami piegādāt datus no sūtītāja līdz saņēmējam. Piemēram, tā parādās tad, ja sensormezgliem vajag piekļūt ar caur transporta protokolu, kuram pēc specifikācijas jānodrošina uzticama datu piegāde, tādu kā TCP. To vēlams izdarīt ar minimālu enerģijas patēriņu. Šādā scenārijā, kad datiem jānonāk galapunktā bez zudumiem, nevar nerēķināties ar to, ka bezvadu tīklos vispār, un sensoru tīklos it sevišķi, fiziskā līmeņa komunikācija nav uzticama. Līdz ar to jāņem vērā, ka atsevišķas datu paciņas var pazust.

Standarta risinājums šai problēmai ir prasīt, lai datu saņēmējs par katru saņemto datu paciņu paziņo sūtītājam, izmantojot šim nolūkam ar pretējā virzienā nosūtītu apstiprinājuma (*acknowledgement*, ACK) ziņojumu. Taču tādā veidā tiek gandrīz dubultots datu sūtīšanai un saņemšanai izmantotais enerģijas patēriņš. Pie tam jāņem vērā, ka arī apstiprinājuma ziņojumi var pazust, liekot sūtītājam kļūdaini domāt, ka viņa dati nav sasnieguši galamērķi,

un tādējādi liekot vēl vairāk palielināt datu plūsmu tīklā.

Viens no alternatīvajiem risinājumiem ir prasīt, lai tiktu izmantoti negatīvā apstiprinājuma (*negative acknowledgement*, NACK) ziņojumi. Tie tiek nosūtīti gadījumos, kad datu paciņa nav tikusi saņemta. Pie relatīvi nelielas pazudušo paciņu proporcijas šāds risinājums ir ļoti efektīvs, taču uzticamu datu pārraidi šadā veidā ne vienmēr ir iespējams realizēt tehnisku iemeslu dēļ, vai arī sarežģītāk to darīt.

Cits alternatīvs risinājums ir izmantot kļūdu labošanas kodus. Kļūdu labošanas kodi pievieno datiem papildus informāciju, kas ļauj rekonstruēt sākotnējos datus pat tad, ja daļa no tiem pazuduši. Pastāv vairāku veidu kļūdu labošanas kodi, starp pazīstamākajiem minami Heminga kodi, Rīda-Solomona kodi. Viens no kļudu labošanas kodu veidiem ir nenormētie dzēšanas kodi (*rateless erasure codes*), pie kuriem pieder tā saucamie *Fountain codes*. Šī pēdējie ir īpaši izdevīgi drošai blokveida datu piegādei neparedzamos apstākļos, jo neprasa pirms datu sūtīšanas izdarīt nepiegādāto paciņu skaita novērtējumu. Šiem kodiem piemīt tāda īpašība, ka saņēmējs spēj atjaunot sākotnējos datus no jebkuriem N saņemtiem fragmentiem, ja vien fragmentu kopējais skaits ir pietiekoši liels.

Pasaulē kļūdu labošanas kodi ir tikuši lietoti gan drošai datu piegādei sensoru tīklu ietvaros [10], gan TCP optimizācijām [3] [8].

Datu piegāde, izmantojot *Fountain codes*, notiek sekojoši.

Sūtītājs:

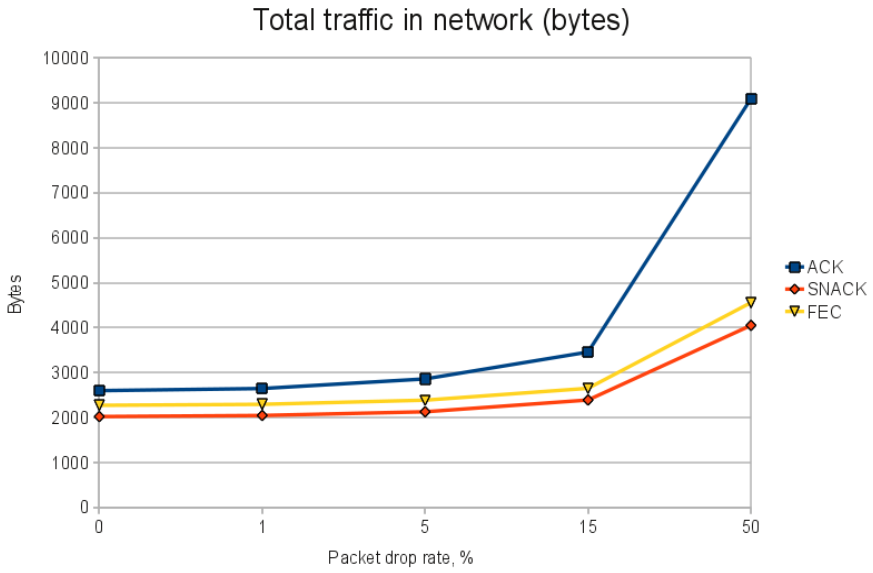
- sadala datus N blokos;
- iekodē un izsūta $N + K$ paciņas;

Saņēmējs:

- saņem $N' \geq N$ paciņas;
- dekodē datus;
- pēc veiksmīgas visu datu dekodēšanas sūta apstiprinājumu (ACK);

Lai salīdzinātu uzticamu datu piegādi izmantojot kļūdu labošanas kodus ar citiem tās veidiem, tika veikts eksperiments šādā scenārijā:

- janogādā 1500 baiti datu (izvēlēts šāds skaitlis, jo tas ir tipiskas IP paciņas izmērs);
- 30 baiti: maksimālais tīkla līmeņa datu paciņas izmērs;
- 10 baiti: tīkla un MAC līmeņa pārtēriņš uz paciņu;
- 2 baiti: ACK un NACK paciņu izmērs;
- nulle līdz vairāki vidusmezgli;
- nulle līdz 50% pakešu zudumi (*end-to-end*);
- visiem datiem obligāti jānonāk no sūtītāja līdz saņēmējam (tātad pazudušas datu paciņas jānosūta atkārtoti)



Att. 4.2: Kopējais tīklā izsūtīto datu baitu skaits

Attēlā 4.2 redzams dažādo piegādes veidu salīdzinājums scenārijā bez vidusmezgliem, ar dažādām paciņu zuduma proporcijām. Salīdzināti: ACK – datu pieghāde ar apstiprinājumiem; SNACK – datu piegade ar negatīvjiem apstiprinajumiem; FEC – datu piegāde ar kļūdu labošanas kodiem. Eksperimentam tika izmantots savs datu paciņu piegādes simulators, rakstīts valodā C++. Rezultāti liek domāt, ka datu piegāde, izmanojot kļūdu labošanas kodus, ir metode, pie kuras vērts strādāt arī turpmāk.

4.2.3 TestBed projektēšanas aktivitātes

Šajā ceturksnī veiktās aktivitātes iekļauj arī piedalīšanos aktivitātes, saistītas ar EDI plānoto institūta teritorijā izvientojamo BST testēšanas vidi (turpmāk tekstā - "TestBed"). Tika veiktas tādas aktivitātes kā TestBed projekta pamatojuma izstrāde, vajadzīgās aparatūras, telpu, un citu resursu apzināšana; pasaulē esošu līdzīgu risinājum apzināšana; piedalīšanās Valsts nozares pētniecības centra (VNPC) darba grupas sapulcēs; potenciāli iegādājamās aparatūras precizēšana un cenu apzināšana.

Viedo sensoru un to tīklu izpētes jomā nozīmīga loma ir sensoru un to tīklu testēšanā, kas tiek veikta speciālos TestBed. Šādu TestBed ietvaros tiek veikta sensoru un to tīklu darbības testēšana (programmatūra, algoritmi, aparatūra) reālos darba apstākļos. Uz šo brīdi šādu TestBed Eiropā ir salīdzinoši maz un to jaudas ir nepietiekošas, salīdzinot ar pieprasījumu. Viedo sensoru un to tīklu testiem ir pieprasīti gan stacionāri, gan mobili TestBed, kas ir pietiekami lieli (100+ mezglu), turklāt jābūt nodrošinātai brīvai, attālinātai piekļuvei. Tāpat arī ir pieprasījums pēc TestBed, kas izvietoti ārpus telpām un ļauj veikt pētījumus par signālu izplatīšanos urbānā vidē, kur ir sastopams radio signāla atstarošanās dēļ radītais *multipath* efekts.

Mērķis ir izveidot apjomīgu bezvadu sensoru tīklu Elektronikas un datorzinātņu institūta telpās un institūtam piederošajā teritorijā ārpus telpām. TestBed varētu tikt izmantota, lai pētītu un novērtētu dažādus bezvadu sensoru tīklus (BST) aspektus: arhitektūru, aparatūru, programmatūru un algoritmus.

TestBed ir jābūt:

- relatīvi lielai (100+ mezgli), jo ar nedaudz mezglu izmēģinājumiem nepietiek, lai novērtētu, kā BST programmatūra uzvedīsies reālos apstākļos un pārliecinātos par tās mērogojamību;
- sastāvošai no mobiliem un stacionāriem komponentiem, lai to varētu ērti izmantot vairākiem atšķirīgiem eksperimentiem, tajā skaitā, lai (pateicoties mobilajai daļai) varētu veikt izmēģinājumus dažādos specifiskos, reālistiskos BST lietojumu apstākļos;
- brīvas piekļuves, jo tādējādi to varētu izmantot gan paša institūta pētnieki ne tikai no institūta telpām, gan arī citas Latvijas, Eiropas un visas pasaules pētniecības grupas.

Ir paredzēts, ka TestBed izdevīgs būs fakts, ka institūtam ir plašas telpas – divi ar atklātu telpu nodalīti korpusi. Viena korpusa garums ir 50+ metri, augstums - septiņi stāvi (~20 metri). Šādas dimensijas ir piemērotas, lai testētu arī dažādus 3D algoritmus sensoru tīkliem (piemēram, 3D maršrutēšanas algoritmus), kas savukārt ir pasaulē aktuāla pētniecības tēma. Bez tam atklātā telpa starp korpusiem ir piemērota, lai pētītu radio signāla izplatīšanos urbānā vidē. Līdzīgā kārtā, tiem sensoru mezgliem, kurus plānots izvietot zem klajas debess, ir svarīgi, ka, lai arī vietējais klimats nav pārāk bargs, tas ir mainīgs, neparedzams, ar relatīvi lieliem temperatūras kontrastiem un citiem apstākļiem, kuri rada elektroniskajām ierīcēm agresīvu vidi. Tādējādi institūta teritorija ārpus telpām ir piemērota sensoru tīklu aparatūras un programmatūras robustuma testēšanai; institūta teritorijas tuvumā ir brīvi pieejams mežs – svarīga alternatīva vide sensoru tīklu izmēģināšanai, kas bieži vien sastopama reālos sensoru tīklu lietojumos; institūta teritorijas tuvumā ir urbāna vide ar transporta ielām, kas dod iespēju izmēģināt pilsētas videi paredzētus risinājumus.

Tiek plānots, ka TestBed infrastruktūra sastāvēs no sojoša aprīkojuma: sensoru mezgli (stacionāri un mobili, izvietoti telpās un ārā), savienojošie kabeļi un PoE komutatori, kameras, mobilā (bezpilota) platforma sensoru uzstādīšanā, *smart home, road unit, parking* u.c. specializēti aprīkojumi, serveris attālinātai piekļuvei, mobils spektra analizators (6GHz) u.c. mērinstrumenti. Katram sensormezglam būtu jānodrošina šādas iespējas:

- iespēja mezglam attālināti piekļūt no tīkla, tai skaitā no Interneta;
- iespēja mezglu kontrolēt (piemēram, pārstartēt) no tīkla;
- iespēja mezglu barot no elektrības sadales tīkla;
- ar 802.15.4 savietojams radio;
- pietiekoši liela izmēra (vairāki MB) Flash vai SD karte datu logošanai;
- dažādi sensori (temperatūra, gaisma, mitrums, u.c.);

- patērētās enerģijas apjoma mērīšana

Mezgli var būt heterogēni; tas ir, CPU, radio aparatūras, citas iekārtas dažādiem sensoru mezgliem var būtiski atšķirties. It īpaši tas attiecas uz sensoriem; dažādiem mezgliem tie var ievērojami atšķirties, atkarībā no to atrašanās vietas un citiem faktoriem; citiem sensoru var vispār nebūt. Aparatūru (sensoru mezglus) plānots izgatavot pēc institūta projektējuma un pasūtījuma.

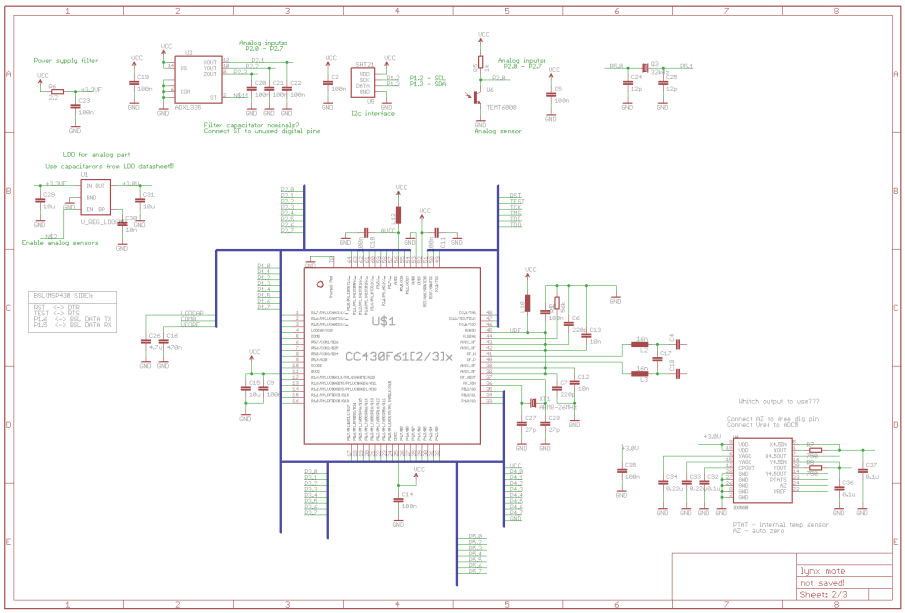
4.2.4 Lietotāju atbalsts, koda uzturēšana, un administratīvās aktivitātes

- Līdzšinējam USART lasīšanas interfeisam baitu līmenī MansOS pievienots interfeiss, kas ļauj lietotājam no USART lasīt veselas paciņas. Pievienots kods, kas automātiski inicializē USART lasīšanas režīmu tajā gadījumā, ja programmā tāds tiek izmantots.
- Pievienots atbalsts jaunas aparatūras – EdiMote un Arduino Uno – atpazīšanai MansOS skriptos.
- Atjauninātas MansOS uzstādīšanas instrukcijas uz MacOS X operētājsistēmas.
- Cita veida lietotāju atbalsts un koda uzturēšana, kas sevī iekļauj:
  - pievienots atbalsts *msp430-gcc* ceturtajai versijai kā MansOS kompilatoram;
  - izpildāmo failu izmēra papildus optimizācijas, kombinējot C kompilatora opcija, kas ļauj katru funkciju likt savā koda sekcījā un saišu redaktora opcija, kas ļauj neiekļaut izpildāmajā failā neizmantotās sekcijas;
  - atbalsts 4800 baudiem sekundē kā konfigurētam USART ātrumam;
  - kompilācijas brīdinājumu novēršana
- Izstrādāta Fastrax iTrax300 [5] GPS uztvērēja konfigurēšanas programma (*gpsserial*), kā arī GPS datu pārsūtīšana programma (*GpsProxy*). Izstrāde iekļāva NMEA protokola, kā arī SiRF binārā protokola vispārējo un šim uztvērējam specifisko komandu apgūšanu.
- Uzstādīta *MediaWiki* programmatūra vega.edi.lv serverī. Tajā publicētas dažas pētniecības idejas, tādas kā enerģijas vākšana no augstprieguma vadiem; precīza lokalizācija izmantojot augstas precizitātes radio impulsu noraidīšanas laika mērīšanu *"time of flight localization"*; sportistu izsekošana trasē izmantojot ar IMU apvienotu GPS.

4.2.5 LynxNet iekārtas prototipa 2. versijas izstrāde

Balstoties uz informācijas, kas iegūta darbinot LynxNet iekārtas prototipa 1. versiju, veikta 2. versijas (skatīt 4.3. attēlu) izstrāde un projektēšana. Izvēlēti sekojoši moduļi:

- mikrokontrolieris – *Texas Instruments CC430F6137* [13];



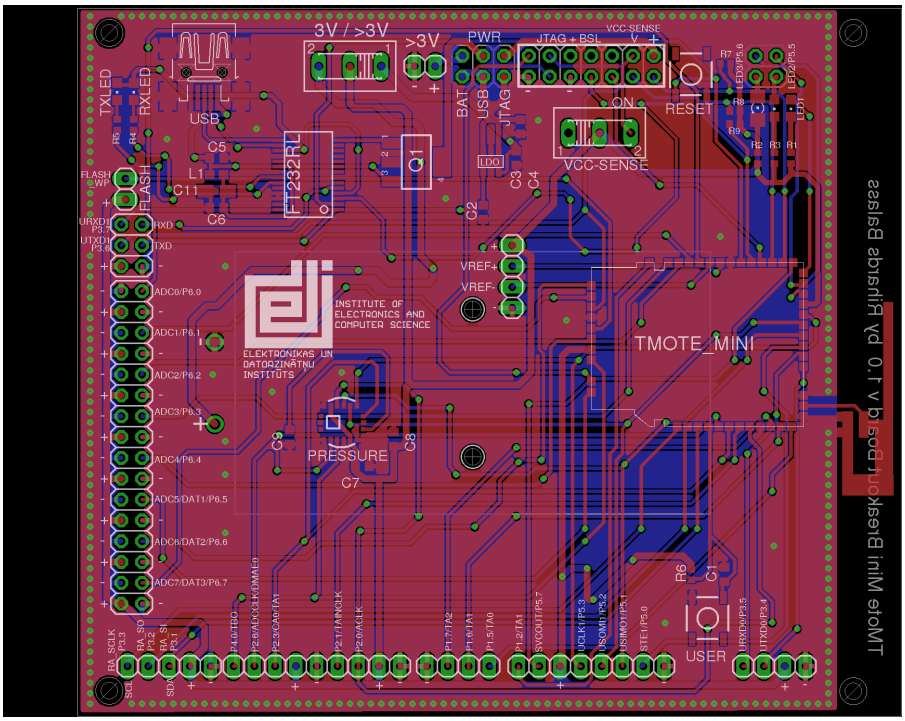
Att. 4.3: LynxNet iekārtas prototipa 2. versijas shēma

- GPS – *Fastrax iTrax300* [5];
- akselerometrs – *Analog Devices ADXL335* [2];
- žiroskops – *InvenSense IDG-500* [7];
- gaismas sensors – *Vishay Semiconductors TEMT6000* [14];
- mitruma un temperatūras sensors – *Sensirion SHT21* [11];
- Flash atmiņa – μSD karte;
- USB kontrolieris – *FTDI FT2232D* [6];
- USB pieslēgvieta – μUSB;
- enerģijas avots – *Enix Energies* 3.75V litija jonu akumulators ar ietilpību 6.8Ah [4].

Sadarbībā ar EdiMote projektu, izstrādāta arī CC430 moduļa plate, kas tiks izmantota, lai prototipētu LynxNet iekārtu MansOS vidē.

4.2.6 Tmote Mini izklājplate

Sadarbībā ar Latvijas Universitātes Datorikas fakultātes studentu Rihardu Balašu tika izstrādāta Tmote Mini izklājplate (skatīt 4.4. attēlu) ērtākai tās darbināšanai un dažādu bezvadu sensoru risinājumu ātrākai prototipēšanai.



Att. 4.4: TMote Mini izklājplate

4.3 Kopsavilkums un nākotnes perspektīvas

MansOS grupā šajā ceturksnī tika:

- izpētīta ideja par IMU un GPS apvienotās sistēmas izmantošanu trajektorijas izsekošanai, ievākti pirmie eksperimentālie dati;
- sākts strādāt pie kļūdu labošanas kodu lietošanas drošai datu piegādei sensoru tīklos;
- veikta BST TestBed projektēšana;
- uzprojektēta LynxNet iekārtas prototipa 2. versija;
- izstrādāta un pasūtīta Tmote Mini izklājplate;
- veikts darbs pie lietotāju atbalsta un programmatūras koda uzturēšanas.

Viens no nākotnes pētījumu virzieniem ir detalizētāka kļūdu labošanas kodu drošai datu piegādei izpēte. Specifiski, eksperimentāla izpēte, kas veikta uz reālas aparatūras vai arī vismaz BST reālos apstākļus labāk modelējošā simulatora.

Literatūra

[1] Lynxnet projekta lapa. http://jupiter.cs.fmf.lu.lv/dilab/index.php/LynxNet. [Online; accessed 30.03.2011.].

[2] Analog Devices. ADXL335 (Rev. B). http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL335.pdf. [Online; accessed 30.03.2011.].

[3] L. Baldantoni, H. Lundqvist, and G. Karlsson. Adaptive End-to-End FEC for Improving TCP Performance over Wireless Links. *2004 IEEE Internatinal Conference on Communications*, s. 4023-4027, 2004.

[4] Enix Energies. 800040 3.75V 6.8Ah. http://www.farnell.com/datasheets/17681.pdf. [Online; accessed 30.03.2011.].

[5] Fastrax. iTrax300 OEM GPS Receiver Module Product Brochure. http://www.fastrax.fi/showfile.cfm?guid=3fe7f5c9-6a99-4afc-8dc3-0b1ed4fc4df3. [Online; accessed 30.03.2011.].

[6] FTDI. FT2232D. http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT2232D.pdf. [Online; accessed 30.03.2011.].

[7] InvenSense. IDG500 Datasheet. http://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/Datasheet_IDG500.pdf. [Online; accessed 30.03.2011.].

[8] D. Kliazovich, M. Bendazzoli, and F. Granelli. Tcp-aware forward error correction for wireless networks. In *Mobile Lightweight Wireless Systems, Second International ICTS Conference, Revised Selected Papers*, pages 68–77, Barcelone, Spain, 2010. Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering.

[9] G. Lachapelle, A. Morrison, and R. Ong. Ultra-precise positioning for sport applications. In *Proceedings of the 13th IAIN World Congress*, Stockholm, 2009. Nordic Institute of Navigation.

[10] M. Rossis, G. Zancas, L. Stabellini, R. Crepaldi, A. F. Harris III, and M. Zorzi. Synapse : A network reprogramming protocol for wireless sensor networks using fountain codes. *2008 5th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, SECON*, s. 188-196, 2008.

[11] Sensiron. SHT21. http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT21.pdf. [Online; accessed 30.03.2011.].

[12] J. Skaloud and P. Limpach. Synergy of CP-DGPS, Accelerometry and Magnetic Sensors for Precise Trajectography in Ski Racing. In *Proceedings of the ION GPS GNSS*, volume 1, 2003.

[13] Texas Instruments. CC430F6137 - MSP430™ SoC with RF Core. http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc430f6137.pdf. [Online; accessed 30.03.2011.].

[14] Vishay Semiconductors. TEMT6000. http://www.vishay.com/docs/81579/temt6000.pdf. [Online; accessed 30.03.2011.].

[15] A. Waegli and J. Skaloud. Assessment of GPS/MEMS-IMU Integration Performance in Ski Racing. In *TimeNav'07*, 2007.

Nodaļa 5

SAntArray grupas atskaite

Anotācija

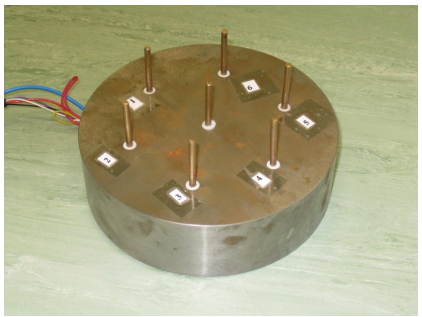
SAntArray grupas mērķis ir izveidot vienkāršu antenu ar elektroniski vadāmu virziendarbību. Šajā atskaitē aprakstīta ESPAR antenas optimizācijas procedūra, kas izmanto N-portu impedances parametru metodi.

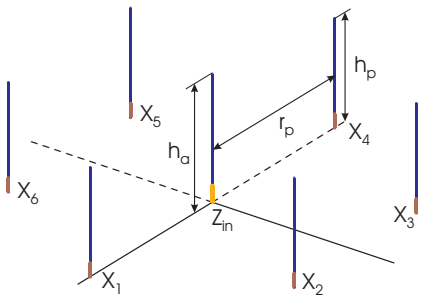
5.1 Ievads

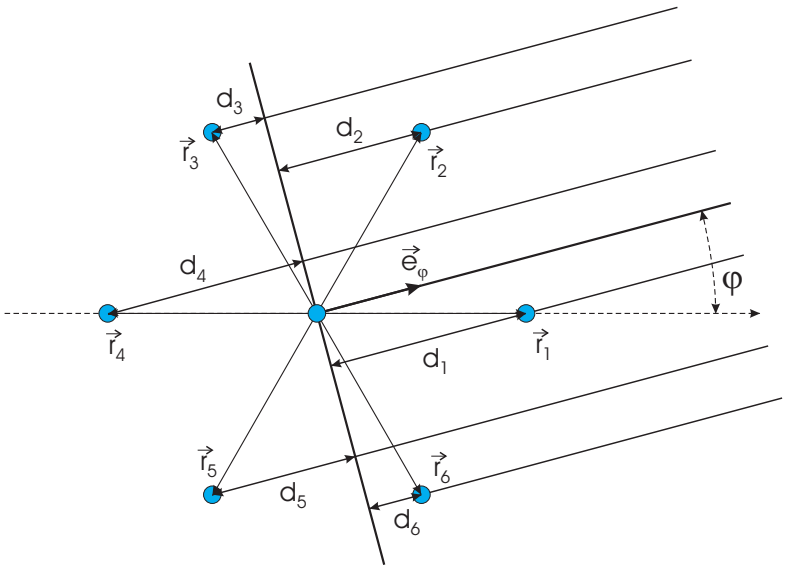
Lai paaugstinātu energoefektivitāti komunikācijai starp sensoru mezgliem, SAntArray grupa strādā pie Elektroniski Vadāma Parazītisko (pasīvo) Elementu Masīva (ESPAR) tipa virziendarbības antenas [9, 8] parametru optimizācijas. Šī antena, (sk. 5.1 zīm.) sastāv no aktīvā elementa antenas centrā, kuru ierosina no raidītāja pienakošais signāls, kā arī no sešiem pasīvajiem elementiem, kuri noslogoti ar varikapiem. Tie savukārt veido elektroniski vadāmas reaktīvās slodzes pretestības $X_1, \ldots, X_6$. Mainot X_m mainās pasīvajā elementā inducētās strāvas fāze un tādējādi tiek izmainīta antenas virziendarbības diagramma.

Optimalu antenu izstrādei būtiska nozīme ir skaitliskajai modelēšanai. Modelējot ESPAR tipa antenas, lielākā daļa aprēķinu jāveic pie fiksētiem antenas izmēriem h_a, h_b un r_p optimizējot vadības elementu reaktīvās pretestības X_m.

Att. 5.1: Septiņu elementu ESPAR antena [8] un tās modelis.







Att. 5.2: `ESPAR` antenas starojuma diagrammas sintēze, vienkāršota skice 2D gadījumam.

Tāpēc šādai analīzei, īpaši teorētiskajos darbos, lieto N-portu impedances parametru metodi, kura šāda tipa antenām pirmoriez izmantota, cik izdevās noskaidrot [4]:

- Strāvu antenas pasīvajos elementos atkarībā no strāvas tās aktīvā elementa ieejā atrod, uzskatot antenu par N-portu sistēmu un tās elementu mijiedarbību aprakstot izmantojot savstarpējās impedances maricu Z, kas, pie fiksētas frekvences ir atkarīga tikai no antenas izmēriem.
- Antenas izstaroto lauku meklē kā aktīvā elementa un pasīvo elementu atsevišķi izstaroto lauku summu, ņemot vērā tajos plūstošās srāvas. Tiek uzskatīts, ka katra atsevišķā antenas elementa izstaroto lauku neietekmē parējo elementu klātbūtne.

Antenas izstaroto elektrisko lauku $\vec{E}(\vec{r},\theta,\varphi)$ tālaja zonā definē izmantojot antenas virziendarbības diagrammu elektiskajam laukam $\vec{E}(\theta,\varphi)$ atbilstoši sakarībai [3]

$$\vec{E}(\vec{r},\theta,\varphi) = \vec{E}(\theta,\varphi)\frac{\exp(-jkr)}{r}$$

Šeit $k = 2\pi/\lambda$ ir viļņu skaitlis, bet λ ir viļņa garums. Kompleksā eksponente skaitītājā nosaka viļņa fāzi, bet r saucējā nodrošina lauka rimšanu atbilstoši enerģijas nezūdamības likumam. Izstarotā elektiskā lauka intensitāte ir proporcionāla strāvai antenas ieejā [5], tāpēc `ESPAR` antenas virziendarbības diagrammu elektiskajam laukam veido tās aktīvā elementa starojuma $\vec{E}_0(\theta,\varphi)$ un pasīvo elementu starojumu $\vec{E}_n(\theta,\varphi)$ summa, ņemot vērā strāvu katrā no elelemntiem i_m un viļņu gājiena starpību d_m attiecībā pret antenas c entrālo

elementu:

$$\vec{E}_{\texttt{ESPAR}}(\theta,\varphi) = c_0\vec{E}_0(\theta,\varphi) + \sum_{n=1}^{6} c_n e^{-jkd_n}\vec{E}_n(\theta,\varphi)$$

Šeit c_n ir ierosinājuma koeficients, pie kam tas ir proporcionāls strāvai elementā $c_n \sim i_n$. Bet viļņu gājiena starpība $d_n = \vec{r}_n\vec{e}_{\theta,\varphi}$, kur $\vec{r}_n$ ir n-tā pasīvā elementa koordinātes, bet $\vec{e}_{\theta,\varphi}$ ir vienības vektors virzienā, kuru nosaka sfēriskās koordinātu sistēmas leņķi θ un φ. Zīmējumā 5.2 attēlota vienkāršota skice gadījumam, kad virziena vektors atrodas antenas pamatnes plaknē $\vec{e}_\varphi = \vec{e}_{90^\circ,\varphi}$. Ja antenas izmēri uzdoti viļņa garuma vienībās $\vec{\bar{r}}_n = \vec{r}_n/\lambda$, tad fāzes reizinātajs izsakās šādi $\exp(-jkd_n) = \exp(-2\pi j\vec{e}_{\theta,\varphi}\vec{\bar{r}}_n)$.

Strāvas antenas elementos nosaka izmantojot vadītspējas matricu Y, kas N-portu sistēmā, saista *ieejas* spriegumus ar *izejas* strāvām [7]:

$$\vec{i} = \mathrm{Y}\vec{u} \tag{5.1}$$

Ja `ESPAR` antenas aktīvā elementa ieejā tiek padots signāls ar amplitūdu u_0, bet pasīvie elementi ir īsslēgti, tad izejas strāvu katrā no elementiem atrod vienādojumā (5.1) ievietojot spriegumu vektoru $\vec{u} = (u_0, 0, \ldots, 0)^T$. Tā kā pasīvajiem elementiem pieslēgtas vadības reaktīvās pretestības X_n, tad signāls atstarojas un parādās ieejas signali $-jX_ni_n$. Tātad

$$\mathrm{Y}^{-1}\begin{pmatrix} i_0 \\ i_1 \\ \ldots \\ i_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_0 \\ 0 \\ \ldots \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ jX_1i_1 \\ \ldots \\ jX_6i_6 \end{pmatrix} \tag{5.2}$$

Tālāk ir lietderīgi izmantot impedances matricu $Z = Y^{-1}$, [7]. Tad strāvas aprēķina izmantojot vienādojumu sistēmu

$$\begin{pmatrix} i_0 \\ i_1 \\ \ldots \\ i_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{00} & Z_{01} & \ldots & Z_{06} \\ Z_{10} & Z_{11}+jX_1 & \ldots & Z_{16} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ Z_{60} & Z_{61} & \ldots & Z_{66}+jX_6 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} u_0 \\ 0 \\ \ldots \\ 0 \end{pmatrix} \tag{5.3}$$

5.2 Saistītie risinājumi

Dažados pētījumos, kur lietota aprakstītā metode, lietoti dažadi impedances matricas Z un elementu starojuma diagrammu $\vec{E}_n(\theta,\varphi)$ iegūšanas paņēmieni. Impedances matricu piedavāts nomērīt eksperimentali [6], aprēķinat ar skaitlisko metožu palīdzību [2, 10] kā arī aprēķināt balstoties uz teorētiskiem apsvērumiem. Savukārt kā elementu starojuma diagrammas parasti izmanto dipola teorētisko vai vienkārši riņķi horizontālajā plaknē [2]. Iegūtās starojuma diagrammas tiek salīdzināti ar mērījumu rezultātiem.

5.3 Risinājums

Pārskatot literatūru, neatradām darbu, kur šī metode konsekveni būtu salīdzināta ar citām skaitliskajām metodēm. Tādēl tika izvirzīts uzdevums gan Z-matricu gan arī atsevišķu elementu starojuma diagrammas aprēķināt ar `NEC`

programmatūru [3] un iegūtās ESPAR antenas starojuma diagrammas salīdzināt ar NEC programmatūru aprēķinātajām.

5.4 Eksperimenti un rezultāti

5.4.1 Impedances matrica

Atbilstoši NEC programmatūras īpatnībām, vispirms nosaka vadītspējas matricu Y. Uzdodot aktīvā elementa ieejā spriegumu $u_0 = 1$ un īsslēdzot pasīvos elementus, aprēķina strāvas. Tad pēc (5.1)

$$Y_{n,0} = \frac{i_n}{u_0} = i_n, \quad \text{kur } n = 0, \ldots, 6$$

Pēc tam ierosina katru no malējiem elementiem, padodot tam spriegumu $u_s = 1$ un īslēdzot centralo un pārējos malējos elementus. Tad

$$Y_{n,m} = \frac{i_n}{u_0} = i_n, \quad \text{kur } n = 0, \ldots, 6 \text{ un } m \neq 0$$

Iegūto vadītspējas matricu Y apgriež un atrod impedances matricu Z

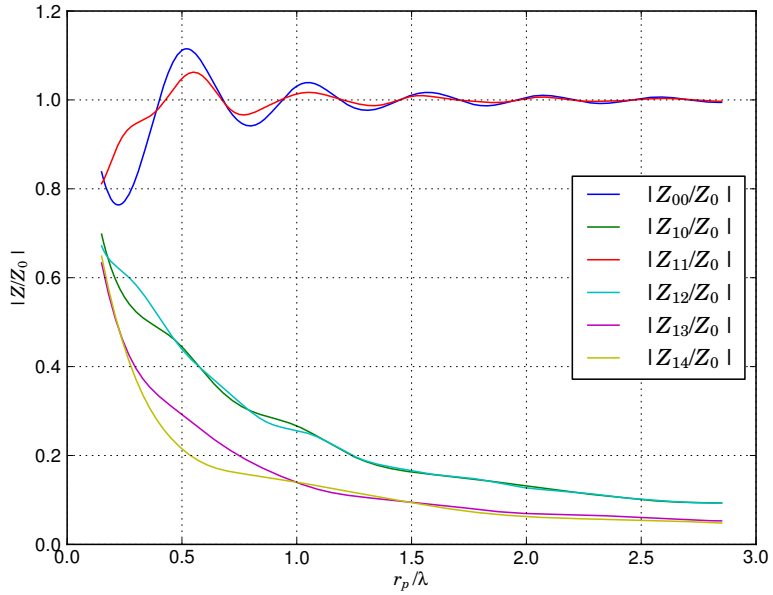
$$Z = Y^{-1}$$

Gan Z gan arī Y ir simetriskas matricas [7]. Ņemot vērā ESPAR antenas simetrijas īpašības, izrādās, ka tikai 6 no matricas Z elementiem ir dažādas vērtības:

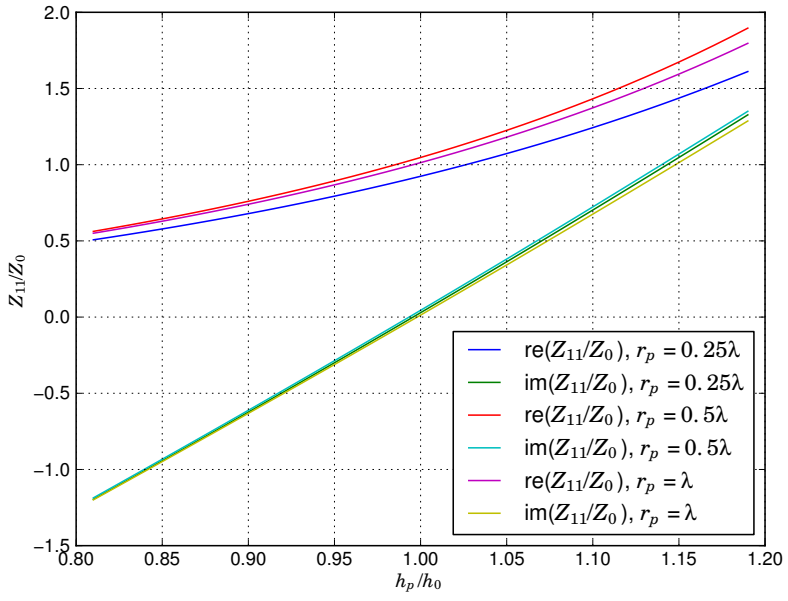
$$Z_{01} = Z_{02} = Z_{03} = Z_{04} = Z_{05} = Z_{06} = Z_{10} = Z_{20} = Z_{30} = Z_{40} = Z_{50} = Z_{60}$$
$$Z_{12} = Z_{16} = Z_{23} = Z_{21} = Z_{34} = Z_{32} = Z_{45} = Z_{43} = Z_{56} = Z_{54} = Z_{61} = Z_{65}$$
$$Z_{13} = Z_{15} = Z_{24} = Z_{26} = Z_{35} = Z_{31} = Z_{46} = Z_{42} = Z_{51} = Z_{53} = Z_{62} = Z_{64}$$
$$Z_{14} = Z_{25} = Z_{36} = Z_{45} = Z_{52} = Z_{63}$$
$$Z_{11} = Z_{22} = Z_{33} = Z_{44} = Z_{55} = Z_{66}$$
$$Z_{00}$$

Zīmējumā 5.3 attēlotas matricas Z elementu skaitliskās vērtības atkarībā no attāluma starp aktīvo un pasīvajiem elementiem r_p. Antenas aktīvā un pasīvo elementu garums ir vienads ar izolēta ceturtdaļviļņa monopola rezonanses garumu. Kā redzams, matricas elementa Z_{00} un Z_{11} grupas elementu absolūtās vērtības oscilē ap ceturtdaļviļņa monopola rezonanses ieejas pretestības vērtību Z_0, uz to tiecoties palielinoties attālumiem starp elementiem. Savukārt Z_{10}, Z_{12}, Z_{13} un Z_{14} grupu elementu absolūtās vērtības samazinās palielinoties attālumiem starp elementiem.

Projekta iepriekšējā atskaitē [1] tika parādīts, ka mainot ESPAR antenas pasīvā elementa garumu, optimalu parametru iegūšanai mainās $X_1, \ldots, X_6$ vērtību intervals pārējiem parametriem praktikski nemainoties. Šo īpašību var izskaidrot aplūkojot vienādojumā (5.3) esošās matricas diognālajos elementos, kuri definēti formā $Z_{nn} + jX_n$. Aplūkojot zīmējumā 5.4 dotās pasīvo elementu pašimpedances Z_{11} vērtības var secināt ka šā lieluma imaginārā daļa būtiski mainās atkarību no pasīvā elementa garuma. Savukārt reālā daļa mainās ievērojami mazāk, pie kam ši tendence maz atkarīga no attāluma starp aktīvo un pasīvajiem elementiem r_p. Tātad, mainot pasīvā elementa garumu, var mainīt X_n maiņas intervālu.



Att. 5.3: `ESPAR` antenas impedances matricas Z elementu skaitliskās vērtības atkarībā no attāluma starp aktīvo un pasīvajiem elementiem r_p. Šeit $h_a = h_p = h_0$, kur h_0 ir izolēta ceturtdaļviļņa monopola rezonanses garums un attiecīgi Z_0 ir tā ieejas pretestība.



Att. 5.4: `ESPAR` antenas pasīvo elementu pašimpedances (Z_{11}) atkarība no pasīvā elementa garuma dažādiem attālumiem starp aktīvo un pasīvajiem elementiem r_p. h_0 ir izolēta ceturtdaļviļņa monopola rezonanses garums un attiecīgi Z_0 ir tā ieejas pretestība.

5.4.2 Antenas elementu strāvas

Izmantojot vienādojumu (5.3) tika aprēķinātas strāvas antenas pasīvajā un aktīvajos elementos dažādam reaktīvās slodzes pretestību $X_1, \ldots, X_6$ vērtībām. Iegūtie rezultāti sakrita ar vērtībām, kas iegūtas izmantojot `NEC` programmatūru.

5.4.3 Antenas ieejas pretestība

Ieejas pretestību antenai definē kā $Z_{in} = u_0/i_0$, tad no vienādojuma (5.2) ieūst

$$\begin{pmatrix} Z_{\text{in}} i_0 \\ -jX_1 i_1 \\ \ldots \\ -jX_6 i_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{00} & Z_{01} & \ldots & Z_{06} \\ Z_{10} & Z_{11} & \ldots & Z_{16} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ Z_{60} & Z_{61} & \ldots & Z_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_0 \\ i_1 \\ \ldots \\ i_6 \end{pmatrix}$$

Lai atrastu ieejas pretestību, katru šā vienādojuma rindu izdala ar $-i_0$. Tā rezultātā

$$\begin{pmatrix} Z_{\text{in}} \\ -jX_1 \tilde{i}_1 \\ \ldots \\ -jX_6 \tilde{i}_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{00} & Z_{01} & \ldots & Z_{06} \\ Z_{10} & Z_{11} & \ldots & Z_{16} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ Z_{60} & Z_{61} & \ldots & Z_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \tilde{i}_1 \\ \ldots \\ \tilde{i}_6 \end{pmatrix}$$

Šeit $\tilde{i}_m = -i_m/i_0$. No šeienes viegli redzēt, ka

$$Z_{\text{in}} = Z_{00} - \begin{pmatrix} Z_{01} & \ldots & Z_{06} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{i}_1 \\ \ldots \\ \tilde{i}_6 \end{pmatrix}, \tag{5.4a}$$

kur

$$\begin{pmatrix} \tilde{i}_1 \\ \ldots \\ \tilde{i}_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} + jX_1 & \ldots & Z_{16} \\ \ldots & \ldots & \ldots \\ Z_{61} & \ldots & Z_{66} + jX_6 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} Z_{10} \\ \ldots \\ Z_{60} \end{pmatrix} \tag{5.4b}$$

Izmantojot šo vienādojumu tika aprēķināta ieejas pretestība dažādam reaktīvās slodzes pretestību $X_1, \ldots, X_6$ vērtībām. Iegūtie rezultāti sakrita ar vērtībām, kas iegūtas izmantojot `NEC` programmatūru.

5.5 Kopsavilkums un secinājumi

Izmantojot `NEC` programmatūru atrasta `ESPAR` antenas impedances matica un izpētīta tās elementu vērtību atkarība no antenas ģeometriskajiem izmēriem. Izmantojot atrastās impedances matricas, tika apreķināta antenas ieejas pretestība un strāva antenas elementos. Iegūtās vērtības sakrīt ar vērtībām, kas iegūtas izmantojot `NEC` programmatūru.

Nākošais solis šajā pētījumā būtu salīdzināt antenas starojuma diagrammas aprēķinātas izmantojot aprakstīto metodi un `NEC` programmatūru. Šo metodi varētu pēc tam varētu lietot optimizējot antenas ar ievērojami lielāku pasīvo elementu skaitu kā arī ar dielektriķi pildītas `ESPAR` antenas optimizācijā, impedances matricas apreķināšanai izmantojot `HFSS` programmatūru.

Literatūra

[1] Projekta "Viedo sensoru un tīklotu iegulto sistēmu pētījumu un attīstības centrs" pārskats Nr. 4, Decembris 2010.

[2] S. J. Blank and M. F. Hutt. On the empirical optimization of antenna arrays. *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, 47(2):58–67, 2005.

[3] G. J. Burke and A. J. Poggio. Numerical Electromagnetic Code (NEC) - Method of Moments. Technical report, Lawrence Livermore Laboratory, 1981.

[4] R. F. Harrington. Reactively controlled directive arrays. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 26:390–395, 1978.

[5] J. D. Jackson. *Classical Electrodynamics*. Wiley, 1998.

[6] S. A. Mitilineos, K. S. Mougiakos, and S. C. A. Thomopoulos. Design and optimization of ESPAR antennas via impedance measurements and a genetic algorithm. *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, 51(2):118–122, 2009.

[7] D. M. Pozar. *Microwave engineering*. J. Wiley, 2005.

[8] K. Prieditis, I. Drikis, and L. Selavo. Passive elements array antena for wireless sensor networks. In *ACM SenSys 2010*, Zurich, 2010.

[9] R. Schlub, J. Lu, and T. Ohira. Seven-element ground skirt monopole espar antenna design from a genetic algorithm and the finite element method. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 51:3033–3039, 2003.

[10] C. Sun, A. Hirata, T. Ohira, and N. C. Karmakar. Fast beamforming of electronically steerable parasitic array radiator antennas: Theory and experiment. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 52:1819–1832, 2004.

Nodaļa 6

SenSigA grupas atskaite

Anotācija

Lai efektīvi diskretizētu, pārraidītu un atjaunotu plaša dinamiskā diapazona signālus, tika izstrādāta Asinhronā Sigma-Delta Modulatora (ASDM) diskretizācijas un signāla atjaunošanas datorprogramma, kas tika realizēta arī maketa veidā. Tika izstrādāta datu (laika momentu) pārraides sistēma, izmantojot mikrokontrolieri un raiduztvērēju.

6.1 Ievads

Pasaulē arvien aktuālāka paliek tēma par smadzeņu elektrisko signālu (EEG) izmantošanu dažādu ierīču kontrolēšanai un vadīšanai, kā arī slimību detektēšanai un novēršanai. Šādu signālu galvenās īpašības ir to relatīvi mazā amplitūda ($\sim 10-100\mu V$) un plašs dinamiskais diapazons. Lai pareizi novērtētu smadzeņu elektriskās aktivitātes, ir nepieciešams liels daudzums sensoru, kas aptvertu lielāku galvas laukumu, lai izveidotu smalkāku apgabalu novērtējumu. Lai šādu EEG signālu efektīvi atjaunotu, ir nepieciešama ļoti precīza un daudzbitīga ierīce. Avoti [1], [2], [3] u.c. liecina, ka šobrīd pieejamās sistēmas ir vai nu ar daudz sensoriem, bet ar mazu izšķirtspēju, vai arī ar lielu izšķirtspēju, bet ar maz sensoriem.

EEG signālu iegūšanai visās sistēmās tiek izmantoti elektrodi, kas vairumā gadījumu veidoti no sudraba vai sudraba hlorīda materiāliem, bet diskretizācija tiek veikta, pielietojot dažādus analogs-ciparu pārveidotājus (ACP). Daudzkanālu sistēmās parasti šo ACP izšķirtspēja nepārsniedz 12-14 bitus, kā rezultātā nav iespējams atjaunot signālu ar augstu precizitāti. Tā arī ir būtiskākā problēma šadās sistēmās - lai precīzi atjaunotu EEG signālu, ir nepieciešams ACP ar lielu izšķirtspēju.

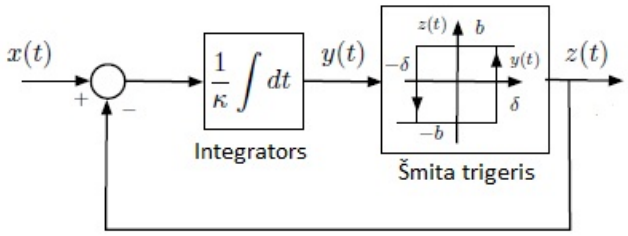
Lai risinātu šo problēmu, tika izstrādāts ASDM, kas ir asinhrona sistēma un dod iespēju precīzāk diskretizēt un atjaunot plaša dinamiskā diapazona signālus.

6.2 Saistītie risinājumi

Avotos [4], [7], [6] un [5] tiek aprakstīta ASDM pamatkoncepcija, uz kuru tika balsīta izveidotā ASDM sistēma.

6.3 Risinājums

Tika izveidots Asinhrons Sigma-Delta Modulators (ASDM), kura bloku diagramma parādīta attēlā 6.1. ASDM sastāv no integratora un simetriski



Att. 6.1: Asinhronā Sigma-Delta ACP arhitektūra

centrēta neinvertējoša Šmita trigera ar negatīvu atgriezenisko saiti, kur k, δ, un b ir ķēdes parametri. Asinhronā Sigma-Delta modulatorā $x(t)$ amplitūdas informācija tiek pārvērsta laika informācijā, respektīvi, to var lietot, lai kodētu joslā ierobežotus analogus signālus uz laikā nepārtrauktiem signāliem ar diskrētu amplitūdu, pie tam šāda sistēma darbojas ar zemiem enerģijas patēriņiem. Ieejas signāla amplitūda ir sekojošās robežās:

$$|x(t)| \leq c < b. \tag{6.1}$$

Izejas signāla $z(t)$ vērtība ir b vai $-b$, bet integratora ieejā tiek padots $x(t) + b$ vai $x(t) - b$. Ievērojot izteiksmi (6.1), integratora izeja $y(t)$ ir vai nu augoša vai dilstoša funkcija, ja $t \in [t_k, t_{k+1}]$, seko, ka $y(t_k) = (-1)^k \delta$.

Trigera izejas signāls sastāv no diviem taisnstūra impulsiem, kuru garums ir $T_k = \alpha_k + \beta_k$, kur α_k un β_k ir laika posmi, kuros trigera izejas amplitūda ir attiecīgi b un $-b$. Pieņemot, ka t_k, $k \in Z$, ir augoša laika secība, signāla iespējamā reprezentācija ir sekojoša:

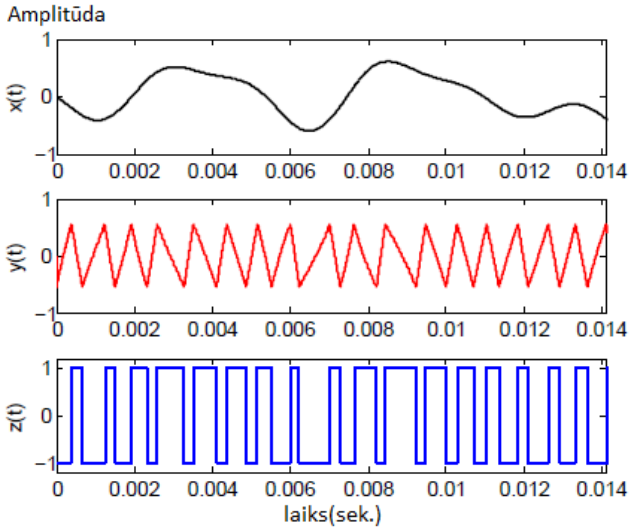
$$x(t) = \sum_{k \in Z} c_k g(t - t_k), \tag{6.2}$$

kur $g(t) = \frac{sin\Omega t}{\pi t}$ un koeficientiem c_k ir jābut determinētiem. Zinot signāla vērtības laika momentos $t = t_l$, no vienādojuma (6.2) iegūst

$$x(t_l) = \sum_{k \in Z} c_k g(t_l - t_k), \tag{6.3}$$

vai matricu formā:

$$\mathbf{q=Gc} \tag{6.4}$$



Att. 6.2: ASDM x(t)-ieejas signāls y(t)-integratora izeja z(t)-trigera izeja

ar nezināmu vektoru $[c]_k = c_k$ un zināmu vektoru $\mathbf{q}$ un matricu $\mathbf{G}$, kurus var pierakstīt šādi:

$$[\mathbf{q}]_l = x(t_l) \tag{6.5}$$

un

$$[\mathbf{G}]_{l,k} = g(t_l - t_k). \tag{6.6}$$

Nezināmā $\mathbf{c}$ vērtības var iegūt no (6.4) formulas, ja t_k vidējais blīvums sakrīt vai ir lielāks par Naikvista frekvenci, π/Ω. Tāpēc,

$$\max_k(t_{k+1} - t_k) \leq \frac{\pi}{\Omega} \tag{6.7}$$

ir pietiekams nosacījums perfektai signāla atjaunošanai.

Praksē tikai galīgas kopas $\{t_0, t_1, ..., t_{L-1}\}$ un $\{x(t_0), x(t_1), ..., x(t_{L-1})\}$ tiek izmantotas signāla atjaunošanai. Tādā veidā $\mathbf{q}$ un $\mathbf{c}$ (kas tika definēti iepriekš) satur L elementus, bet $\mathbf{G}$ ir $L \times L$ matrica, kā rezultātā formula (6.4) kļūst par galīgu vienādojumu sistēmu. Tāpēc aptuvenā forma atjaunotajam signālam ir:

$$\hat{x}(t) = \sum_{k=0}^{L-1} c_k g(t - t_k), \tag{6.8}$$

Par cik $\mathbf{G}$ parasti ir vāji nosacīta, tiek piedāvāts līdzīgs risinājums koeficientu iegūšanai:

$$\mathbf{q} = \mathbf{G}^+\mathbf{c}, \tag{6.9}$$

kur $\mathbf{G}^+$ ir $\mathbf{G}$ matricas pseido inversā matrica.

Pieņemot, ka $x(t)$ forma ir:

$$x(t) = \sum_{l \in Z} c_l g(t - s_l) \tag{6.10}$$

kur $s_l = \frac{t_l + t_{l+1}}{2}$ ir vidējās vērtības starp trigera pārslēgšanās momentiem, un c_l ir nezināmi koeficienti. Ievietojot formulu (6.10) vienādojumā

$$\int_{t_k}^{t_{k+1}} x(u)du = (-1)^k[-b(t_{k+1} - t_k) + 2k\delta], \tag{6.11}$$

kas ir attiecība starp bināro izeju un ieeju, iegūst izteiksmi, kas ļauj atjaunot sākotnējo signālu:

$$\sum_{l \in Z} c_l \int_{t_k}^{t_{k+1}} g(t - s_l)dt = (-1)^k(2k\delta - b(t_{k+1} - t_k)). \tag{6.12}$$

Tāpēc, ar vektoru $\mathbf{q}$ un matricu $\mathbf{G}$, kas uzdoti kā

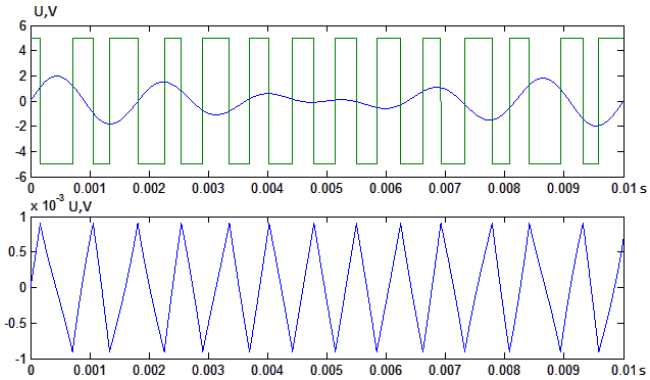
$$[q]_k = (-1)^k(2k\delta - b(t_{k+1} - t_k)), \tag{6.13}$$

$$[G]_{k,l} = \int_{t_k}^{t_{k+1}} g(t - s_l)dt, \tag{6.14}$$

var iegūt formulu **Gc=q**, no kuras var izteikt koeficientus **c**.Ievērojot nosacījumu (6.7) un realizējot formulu (6.12), iespējams atrast vajadzīgos koeficientus, kā arī, piemērojot sinc, PSWF(Prolate Spheroidal Wave function) vai kādu citu funkciju katram aprēķinātajam koeficientam, iespējams ļoti precīzi atjaunot sākotnējo signālu.

6.4 Eksperimentālie rezultāti

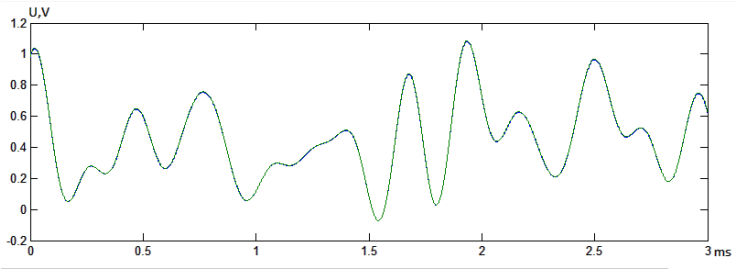
Balstoties uz teoriju *Matlab Simulink* vidē tika izveidots un pārbaudīts Asinhronais Sigma-Delta modulators, uz kura bāzējoties tika izveidota arī *Matlab* datorprogramma, kas veic signāla diskretizāciju un signāla atjaunošanu. Ieejā tika padoti dažādi signāli - viena harmonika, harmoniku summa, kā arī mākslīgi sintizēts EEG signāls. Šādu sistēmu sauc par laika kodēšanu, jo



Att. 6.3: ASDM a)ieejas signāls un trigera izeja b)integratora izeja

kodēšanas rezultātā ir iegūti laika momenti, kuros pārslēdzas neinvertējošais Šmita trigeris. Šie laika momenti tiek izmantoti sākotnējā ieejas signāla

atjaunošanai. *Matlab* programmas vidē, tika izveidota signāla atjaunošanas programma, ar kuras palīdzību izdevās atjaunot dažādus gadījumsignālus, tajā skaitā arī reālu EEG signālu. Attēlā 6.4 parādīts ieejas signāls (zilā krāsā) un atjaunotais signāls (zaļā krāsā). Eksperiments pierādīja, ka ir iespējams iegūt

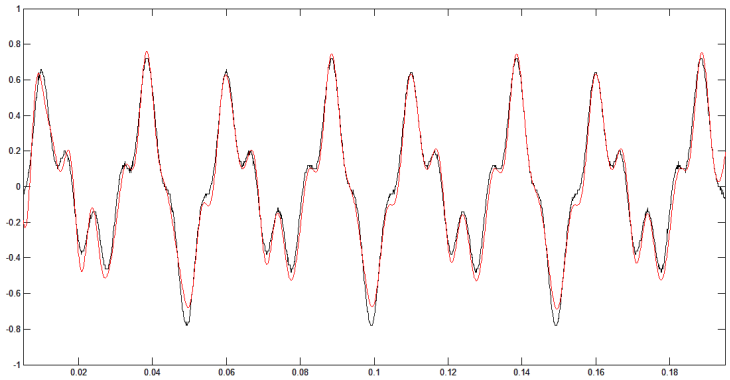


Att. 6.4: ASDM ieejas signāls un atjaunotais signāls

atjaunotā signāla kļūdu attiecībā pret ieejas signālu mazāku par 1%.

Pārliecinoties, ka šāda ASDM sistēma programmas koda veidā strāda un ir iespējams atjaunot sākotnējo signālu, tika nolemts realizēt to maketa veidā. Vispirms Asinhrons Sigma-Delta modulators tika realizēts shematiskās simulācijas veidā, izmantojot datorprogrammu *PSpice*. Pēc tam tika izprojektēta spiestā plate, uz kuras bāzējoties tika salodēts ASDM.

Pēc pirmajiem testiem tika secināts, ka ir iespējams iegūt nepieciešamos laika momentus priekš signāla atjaunošanas. Lai signālu būtu iespējams atjaunot, šie laika momentu dati tika sūtīti uz datoru, izmantojot MSP430F1611 mikrokontrolieri un USART raiduztvērēju. Ar mikrokontroliera palīdzību tiek piemērots 8MHz oscilators, kuram, pieslēdzot skaitītāju, iespējams saskaitīt impulsus no viena trigera pārslēgšanās momenta līdz otram, tādā veidā saglabājot un nosūtot saskaitīto impulsu skaitu, kas rezprezentē laika intervālus starp pārslēguma vietām. No saņemtās laika informācijas (laika kodiem) datorā iespējams atjaunot ASDM ieejas signālu.



Att. 6.5: ASDM ieejas signāls un atjaunotais signāls

6.5 Kopsavilkums un secinājumi

Izmantojot Asinhrono Sigma-Delta Modulatoru, ir iespējams diskretizēt un atjaunot plaša dinamiskā diapazona signālus. Reālas sistēmas izveide, kas sevī iekļauj ASDM, MSP430F1611 mikrokontrolieri, USART raiduztvērēju un Matlab signāla atjaunošanas daļu, ļāva pārliecināties, ka ir iespējama ieejas signālu diskretizācija, pārraide un atjaunošana ar noteiktu precizitāti. ASDM iestatītos parametrus b, δ un dt(diskretizācijas solis) atkarībā no ieejas signāla iespējams izmainīt, pielāgojot sistēmu esošajam signālam. Jo lielāks parametrs δ, jo retāki būs trigera pārslēgšanās momenti, turpretī jo lielāka ir parametra b vērtība, jo biežāki būs trigera pārslēgšanās momenti. Lai palielinātu šādas sitēmas precizitāti, ir nepieciešami ātrdarbīgāgi operāciju pastiprinātāji, kas nodrošinātu stāvākas trigeru pārslēgšanās frontes, kas ļautu atjaunot diskretizēto signālu. Precizitātes palielināšanai atjaunošanas daļā jāizmanto garāks signāls un, izvēloties pareizu maksimālo ieejas signāla frekvenci, iespējams iegūt precīzāku atjaunoto signālu.

6.6 Nākotnes perspektīvas

Šada sistēma ir tikai sākums tālākajai projekta darbībai. Kā nākamais solis būtu šādu sistēmu izveidot ar bezvadu datu pārraidi, kas nākotnē izslēgtu lietotāja kustēšanās ierobežojumus. Lai pilnībā pārliecinātos par izveidotās sistēmas funkcionalitāti, tiks izveidota reāla EEG sensoru sistēma, kas ietvers sevī arī vāju signālu pastiprinātāju, kurā vēlāk tiks pieslēgta pie Asinhronā Sigma-Delta modulatora. Lai optimizētu sistēmu, plānots izveidot jaunu ASDM maketu, kurš būs maksimāli mazs, kā arī pilnveidot signāla atjaunošans algoritmu, kas nākotnē varētu notikt reālā laikā.

Literatūra

[1] `http://www.emotiv.com/store/hardware/epoc-bci/epoc-neuroheadset/`.

[2] `http://www.gtec.at/`.

[3] `http://www.intendix.com/`.

[4] A.A.Lazar, E.K.Simonyi, and L.T.Toth. Time Encoding of Bandlimited Signals, an Overview. Technical report, Department of Electrical Engineering, 2005.

[5] A.A.Lazar and L.T.Toth. Time encoding and perfect recovery of bandlimited signals. Technical report, Proceedings of the ICASSP, Vol. VI., 2003.

[6] S.Senay, L.F.Chaparro, M.Sun, and R. Sclabassi. Time-Frequency multiplexing for time-encoded signal from brain-computer interfaaces. 17th European Signal Processing Conference, 2009.

[7] S.Senay, L.F.Chaparro, M.Sun, and R. Sclabassi. Adaptive Level-Crossing sampling and reconstruction. 18th European Signal Processing Conference, 2010.