

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.9. par periodu no 01.01.2012.g līdz 31.03.2012.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, doktorants.
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
2012.gads

Saturs

Ievads **3**
VieSenTIS . . . 3

1 `BioSen` grupas atskaite **4**
1.1 Ievads . . . 4
1.2 Saistītie risinājumi . . . 5
1.3 Risinājums . . . 5
1.3.1 Uz LBP balstīta sejas atpazīšana . . . 5
1.3.2 Parametru svara piemeklēšana bloku un parametru līmeņos 6
1.4 Eksperimenti un-vai testi . . . 6
1.5 Rezultāti . . . 7
1.6 Kopsavilkums un secinājumi . . . 8
1.7 Nākotnes perspektīvas . . . 8
Literatūra . . . 8

2 `CarMote` grupas atskaite **9**
2.1 Ievads . . . 9
2.2 Saistītie risinājumi . . . 9
2.3 Risinājums . . . 10
2.3.1 Navigācijas sistēma . . . 10
2.4 Kopsavilkums . . . 15
2.5 Nākotnes perspektīvas . . . 15
Literatūra . . . 16

3 `EdiMote` grupa **17**
3.1 Ievads . . . 18
3.2 Eksperimenti un rezultāti . . . 19
3.2.1 EdiMotes enerģijas mērītāju testa apraksts . . . 19
3.2.2 Iegūto datu analīze un secinājumi . . . 20
Literatūra . . . 21

4 `MansOS` grupas atskaite **22**
4.1 Valoda SEAL . . . 22
4.1.1 Ievads . . . 22
4.1.2 Saistītais darbs . . . 22
4.1.3 Valodas pamatelementi . . . 23
4.1.4 Valodas gramatika . . . 23
4.1.5 Valodas izvērtēšana . . . 26

4.2 Operētājsistēma MansOS 26
4.2.1 Ievads 26
4.2.2 Risinājums 27
4.3 MansOS un SEAL IDE 27
4.3.1 Ievads 27
4.3.2 Vispārīgs risinājuma apraksts 28
4.3.3 Jauns teksta redaktors 28
4.3.4 SEAL deklaratīvā programmēšanas valoda 29
4.3.5 Ērta saskarne 30
4.3.6 Darbs ar sensoru mezgliem 33
4.3.7 Nākotnes plāni 33
4.4 Kopsavilkums un nākotnes perspektīvas 33
Literatūra 35

5 `SAntArray` grupas atskaite 36
5.1 Ievads 36
5.2 Saistītie risinājumi 38
5.3 Risinājums 38
5.4 Kopsavilkums un secinājumi 41
5.5 Nākotnes perspektīvas 41
Literatūra 41

6 SenSigA grupas atskaite 42
6.1 Ievads 42
6.2 EEG signāla iegūšana, apstrāde un bezvadu datu pārraide 43
6.2.1 Datu iegūšana un kodēšana, lietojot Asinhrono Sigma-Delta modulatoru 43
6.2.2 On-Off keying bezvadu datu pārraide 45
6.2.3 Signāla uztveršana, apstrāde un atjaunošana 45
6.3 Eksperimentālie rezultāti 46
6.4 Kopsavilkums un secinājumi 49
6.5 Nākotnes perspektīvas 50
Literatūra 50

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 grupas ietvaros tika izveidots algoritms, kas ir paredzēts svaru piemeklēšanai objektu aprakstošiem parametriem. Tas ļauj paaugstināt klasificēšanas precizitāti datubāzēs ar lielu klašu daudzumu un mazu informatīvo bāzi par konkrētu klasi. Metodes pamatā ir intuitīva ideja, kas pastiprina atpazīšanas procesam svarīgas komponentes un novājina mazsvarīgas. Piedāvātais algoritms balstās uz starp klašu Eiklīda attāluma palielināšanu. Algoritmā implementēts **Mini-Batch** [1] princips, kas apmācības procesā izmanto tikai daļu no pieejamiem datiem. Šis princips ļauj ievērojami paātrināt apmācības algoritmu. Arī tiek apskatīta piedāvātas metodikas pielietojamība sejas atpazīšanas algoritma uzlabošanai. Par pamatu ņemts uz Local Binary Patterns (**LBP**) balstītais algoritms. Algoritma parametri testēti uz **color FERET** [2] datubāzes.

1.1 Ievads

Tipiska sejas atpazīšanas sistēma sastāv no diviem galvenajiem moduļiem: pirmais ir sejas aprakstošo *parametru iegūšanas* bloks un otrais ir *klasifikācijas modulis*. Iepriekšējās atskaitēs detalizēti aprakstīts parametru iegūšanas bloks, kas balstās uz Local Binary Patterns transformācijas [3], [8].

Sejas atpazīšanas jomā klasifikācijas modulis parasti balstās uz **Nearest Neighbor Classifier** principiem [3]. Šis fakts tiek skaidrots ar statistiskās informācijas trūkumu par konkrētu klasi (turpmāk tekstā **intra**-klases informācija), kas ir populāra problēma biometriskajās datubāzēs. Piedāvātais parametru svara piemeklēšanas algoritms kompensē statistiskās informācijas trūkumu izmantojot datus no visām klasēm. Informācija (svaru vērtības), kas ir dabūta apmācības procesā, implementēta atpazīšanas procesā pielietojot **Weighted Nearest Neighbor Classifier** principu.

Centrāla metodes ideja balstās uz Eiklīda attāluma palielināšanu starp klasēm. Tas tiek panākts pielietojot iteratīvi trenēto diagonālo transformāciju parametru telpai. Diagonāla transformācija lineāri pastiprina nozīmīgus sejas parametrus, kas ļauj uzlabot atpazīšanas precizitāti. Jāatzīmē, ka piedāvātais algoritms tiek paplašināts izmantošanai divos līmeņos: parametru-līmeņa svara

piemeklēšana un bloku-līmeņa svara piemeklēšana. Ideja par svara piemeklēšanu divos līmeņos ir aprakstīta nākošajās nodaļās.

Regulāri tiek sekots arī jaunākajiem rakstiem sejas atpazīšanas jomā dažādās interneta saitēs (http://www.face-rec.org). Raksts, kas tika izpētīts sīkāk: "Face Recognition Algorithms" Proyesto Fin de Carrera, Ion Marques.

1.2 Saistītie risinājumi

Daļēji līdzīgas parametru svara piemeklēšanas metodes ir aprakstītas literatūrā [4] un [9]. Tomēr šo metožu īstenošanai ir nepieciešams nozīmīgs intra-klases informācijas daudzums, kamēr mūsu metode apmācības procesā izmanto tikai divas sejas bildes katrai klasei. Mūsu piedāvātajā metodikā arī implementēts Mini-Batch princips, kas ievērojami paātrina apmācības procesu.

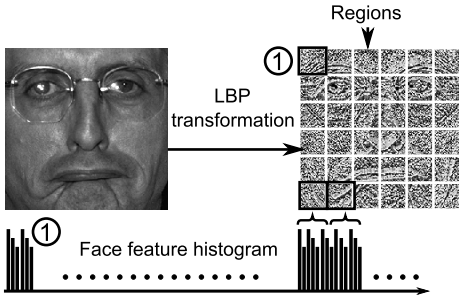
1.3 Risinājums

1.3.1 Uz LBP balstīta sejas atpazīšana

Iepriekšējās atskaitēs detalizēti aprakstīta uz LBP balstīta sejas atpazīšanas metodika. īsumā atkārtosim galvenos algoritma principus. Atpazīšana sastāv no vairākiem posmiem:

- *priekšapstrādes solis* - sejas bildes pagriešana vertikālā pozīcijā,
- ieejas attēla LBP transformāciju aprēķināšana,
- LBP transformēto attēlu sadalīšana reģionos,
- katra reģiona histogrammu noteikšana un reģionu histogrammas saliksšana vienā parametru vektorā.

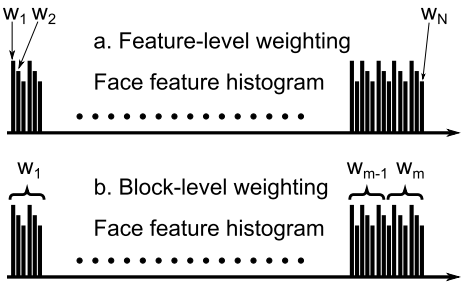
Tādā veidā iegūtais vektors efektīvi apraksta seju un ir piemērots turpmākai atpazīšanai. Algoritma vizualizācija paradīta 1.1 attēlā.



Att. 1.1: LBP histogrammas iegūšanas process, dalot seju 6×6 reģionos

1.3.2 Parametru svara piemeklēšana bloku un parametru līmeņos

Gan katrai vērtībai, gan katram blokam LBP histogrammā (1.1 attēls) ir nozīme sejas atpazīšanas procesā. Šo īpašību var implementēt atpazīšanas stadijā piemeklējot katrai vērtībai/blokam savu svaru, ko atbilstoši saucam par svara piemeklēšanu *parametru* un *bloku līmenī*. Šis princips tiek parādīts 1.2 attēlā.

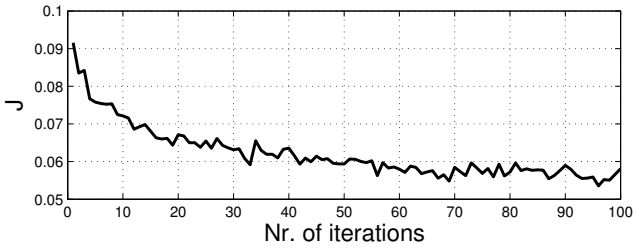


Att. 1.2: LBP histogrammas svara piemeklēšana parametru un bloku līmenī

Parametru svara piemeklēšanas algoritms balstās uz Eiklīda attāluma palielināšanu starp klasēm / sejām un ir detalizēti aprakstīts publikācijā [7].

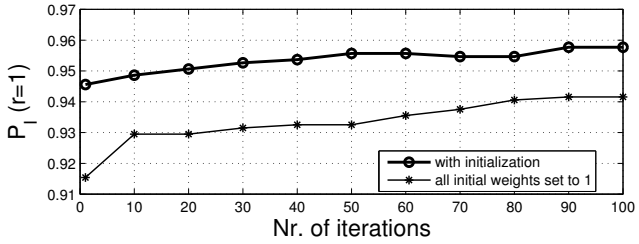
1.4 Eksperimenti un-vai testi

Algoritms testēts izmantojot **color FERET** datubāzi. Svaru piemeklēšana parametru vektoram ir optimizācijas problēma, kas balstās uz **Cost Function** [1] iteratīvas minimizācijas. Cost Function vērtības atkarība no algoritma iterāciju daudzuma parādīta 1.3 attēlā. Ir redzams funkcijas globālais kritums ar lokālajām svārstībām, kas parādījās izmantojot Mini-Batch principu. Samazinoties Cost Function vērtībai palielinās sejas atpazīšanas precizitāte.

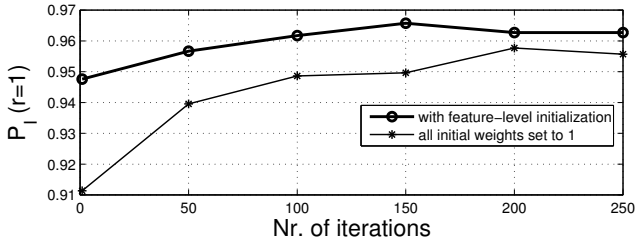


Att. 1.3: Piemērs Cost Function atkarībai no iterāciju daudzuma

Sejas identifikācijas precizitātes atkarība no iterāciju daudzuma divos gadījumos (svara piemeklēšana *parametru* un *bloku līmenī*) parādīta 1.4 un 1.5 attēlos.



Att. 1.4: Svara piemeklēšana *parametru līmenī*: atpazīšanas precizitātes atkarība no iterāciju daudzuma. Color FERET seju datubāze



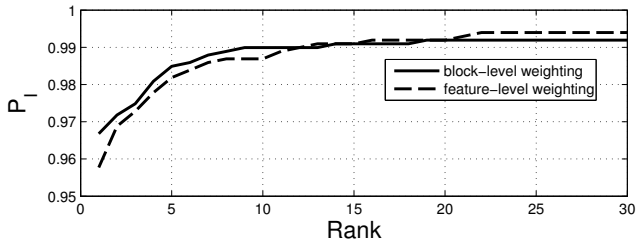
Att. 1.5: Svara piemeklēšana *bloku līmenī*: atpazīšanas precizitātes atkarība no iterāciju daudzuma. Color FERET seju datubāze

1.5 Rezultāti

Testējot algoritmu uz **fa** un **fb** apakškopām no color FERET datubāzes iegūti sekojoši rezultāti:

- pielietojot svara piemeklēšanu *parametru līmenī*: sejas atpazīšanas algoritma precizitāte palielinājās līdz 95.8%,
- pielietojot svara piemeklēšanu *bloku līmenī*: sejas atpazīšanas algoritma precizitāte palielinājās līdz 96.7%.

Atbilstošas Cumulative Match Characteristics parādītas 1.5 attēlā.



Att. 1.6: Cumulative Match Characteristics pēc optimizācijas algoritma pielietošanas *parametru un bloku līmeņos*. Color FERET seju datubāze

1.6 Kopsavilkums un secinājumi

Izstrādāts inovatīvs parametru telpas svara piemeklēšanas algoritms. Algoritma parametri novērtēti tos pielietojot sejas atpazīšanas uzdevumam. Izstrādātas metodikas pozitīvais moments ir apmācības procesa ātrdarbība, kā arī fakts par algoritma darbspēju pie minimāliem intra-klases datiem.

Pielietojot aprakstītos principus izdevās paaugstināt sejas atpazīšanas algoritma precizitāti līdz 96.7%. Kopumā vairākas metodes ir apskatītas un notestētas uz color FERET datubāzes dažādos rakstos [5] un [6], bet labākais rezultāts nepārsniedz 90%.

1.7 Nākotnes perspektīvas

Automātiskā sejas atpazīšanas sistēma sastāv no vairākiem blokiem: sejas detektēšana, sejas lokalizācija un sejas atpazīšana. Šajā periodā tika izveidots, notestēts un aprakstīts precīzs sejas atpazīšanas algoritms. Nākotnē tiek plānots izveidot uzticamus sejas detektēšanas un lokalizācijas blokus.

Literatūra

[1] http://www.ml-class.org/.

[2] http://face.nist.gov/colorferet/.

[3] T. Ahonen, A. Hadid, and M. Pietikainen. Face recognition with local binary patterns. *Computer Vision, ECCV 2004 Proceedings, Lecture Notes in Computer Science 3021, Springer*, pages 469–481, 2004.

[4] A. de la Torre, A. M. Peinado, A. J. Rubio, J. C. Segura, and C. Benitez. Discriminative feature weighting for hmm-based continuous speech recognizers. *Speech Communication 38*, page 267–286, 2002.

[5] Y. M. R. J. Young Choi, K. N. Plataniotis. Using colour local binary pattern features for face recognition. *Proceedings of 2010 IEEE 17th International Conference on Image Processing, ICIP 2010*, pages 4541–4544, 2010.

[6] S. G. K. Delac, M. Grgic. Independent comparative study of pca, ica, and lda on the feret data set. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 15(5):252–260, 2006.

[7] O. Nikisins and M. Greitans. A mini-batch discriminative feature weighting algorithm for lbp - based face recognition. 2012.

[8] Y. Rodriguez. *Face Detection and Verification using Local Binary Patterns.* PhD thesis, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2006.

[9] N. Thakoor, S. Jung, and J. Gao. Hidden markov model based weighted likelihood discriminant for minimum error shape classification. *Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005.*, pages 342 – 345, 2005.

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 grupa nodarbojas ar 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 ir saistītas ar navigācijas sistēmas izstrādi.

2.1 Ievads

CarMote grupas mērķis ir kooperatīva transportlīdzekļa izstrāde, kas spēj efektīvi plānot kustību un pārvietoties līdzīga veida transportlīdzekļu plūsmā. Šī mērķa sasniegšanai tika noteikti vairāki uzdevumi elektronikas, programinženierijas, digitālās signālu apstrādes, bezvadu komunikācijas u.c. jomās. Par kooperatīva transportlīdzekļa izstrādes prasību pamatu tika paņemti GCDC noteikumi [1], kas deva vairākas priekšrocības:

- ekonomēja laiku prasību uzstādīšanai;
- tika izmantots lokāls standarts, kuru izstrādāja un novērtēja profesionālu zinātnieku/izstrādātāju grupa;
- varēja veikt sekmīgu izstrādātā risinājuma testēšanu, salīdzinot to ar citu komandu risinājumiem no dažādām pasaules institūcijām un valstīm;

2.2 Saistītie risinājumi

Kooperatīvo transportlīdzekļu un autonomo transportlīdzekļu izstrāde ir ļoti populāra tēma pasaules zinātnē [2]. Katru gadu parādās arvien vairāk transportlīdzekļu, līdz ar to efektīva transportlīdzekļu plūsmas plānošana un drošības paaugstināšana ir aizvien svarīgāka. Tēmas attīstību atbalsta dažādu sacensību rīkošana [3, 4].

2.3 Risinājums

2.3.1 Navigācijas sistēma

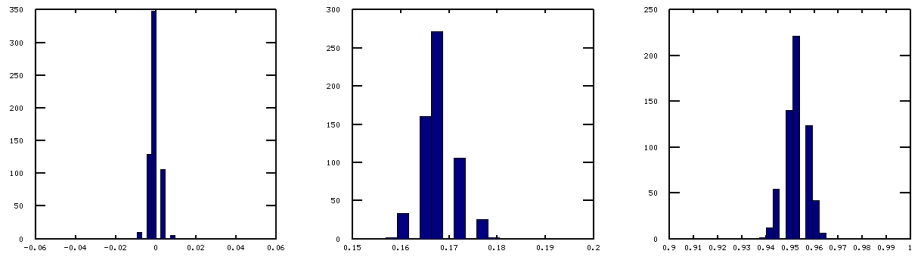
Turpinot navigācijas sistēmas izstrādi, tika veikti vairāki pasākumi, kas ir saistīti ar GPS (Globālās Pozicionēšanas Sistēmas), INS (Inerciālās Navigācijas Sistēmas) un digitālā kompasa datu analīzi/kalibrēšanu un navigācijas sistēmas programmatūras pilnveidošanu.

Sensoru datu analīze un kalibrēšana

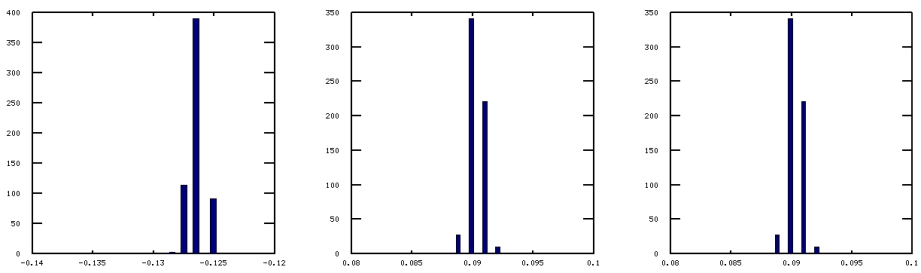
Lai efektīvi izmantotu sensoru datus navigācijas risinājumā, ir nepieciešama datu analīze un kalibrēšana. Datu analīze var dot labu priekšstatu par datu trokšņiem sistēmā un to ietekmi uz rezultātu. Savukārt kalibrēšana ir nepieciešama, lai samazinātu trokšņu ietekmi.

Akselerometra un žiroskopa datu analīze/kalibrēšana

Apskatīsim akselerometra un žiroskopa datus (sk. att. 2.1 un 2.2), kā arī izlases raksturlielumus (sk. tab. 2.1). Mērījumu laiks ir 1 minūte un laika intervāls starp mērījumiem ir apm. 100 milisekundes, tātad kopā ir 600 mērījumi. Ir redzams, ka akselerometra un žiroskopa datiem ir Gausa sadalījums. Tas ļauj turpmāk efektīvi pielietot Kalmana filtru sensoru datu sapludināšanai. No Ņūtona mehānikas ir zināms, ka ātrums ir integrālis no paātrinājuma un pozīcija/orientācija ir integrālis no ātruma. Tā rezultātā ātruma, pozīcijas un orientācijas kļūdas ar laiku uzkrājas (sk. att. 2.3 un 2.4).



Att. 2.1: Akselerometra dati (x, y, z ass)

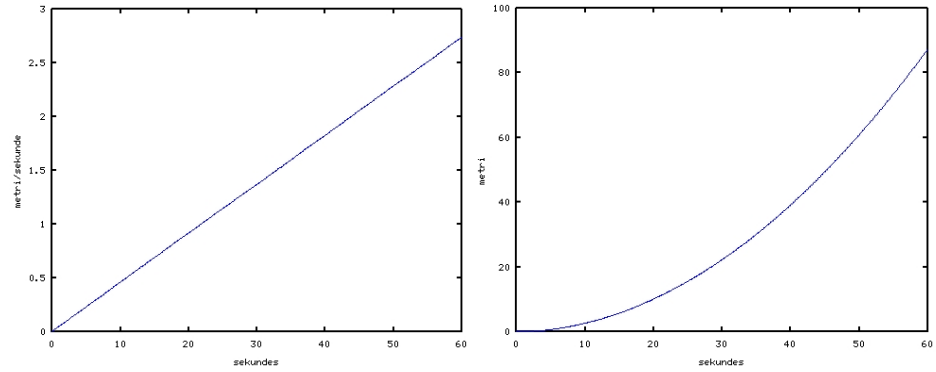


Att. 2.2: Žiroskopa dati (x, y, z ass)

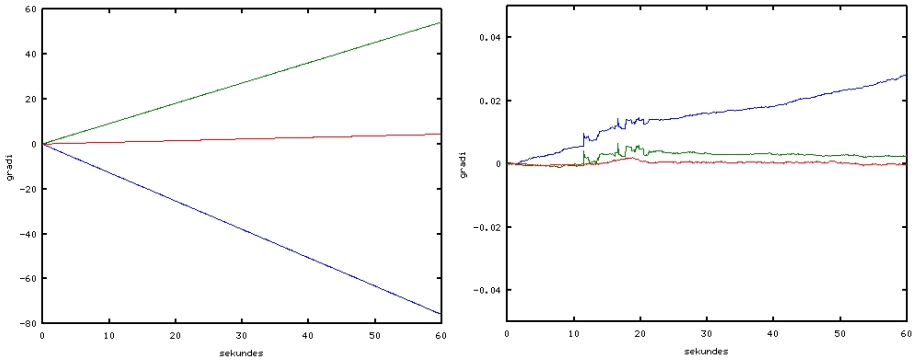
Tabula 2.1: Sensoru datu izlases raksturlielumi

	ax	ay	az	wx	wy	wz
aritmētiskais vidējais	-0.0002	0.16817	0.95254	-0.1263	0.09028	0.00727
standartnovirze	0.00283	0.00367	0.00459	0.00074	0.00072	0.00071

ax, ay, az - akselerometra dati (x, y, z ass; mērvienība ir g = 9.8 m/s^2)
wx, wy, wz - žiroskopa dati (x, y, z ass; mērvienība ir grādi/s)

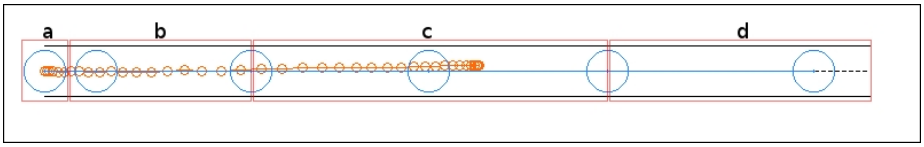


Att. 2.3: Ātruma nobīde laikā (kreisajā pusē), pozīcijas nobīde laikā (labajā pusē)

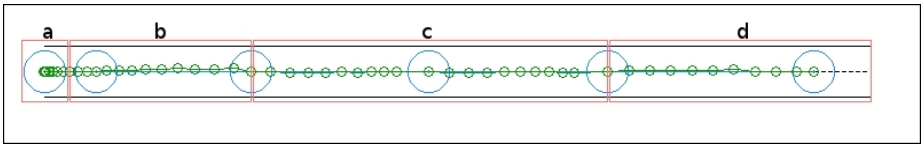


Att. 2.4: Orientācijas nobīde laikā pirms kalibrēšanas (kreisajā pusē) un pēc kalibrēšanas (labajā pusē)

Apskatīsim ātruma un pozīcijas nobīdes, kas notiek akselerometra trokšņu, sensoru iekārtas ierobežojumu un novietošanas dēļ. Sākumā nobīdes pieaug nedaudz un iepriekš nodefinēti precizitātes nosacījumi [1] ļauj ignorēt akselerometra kļūdas. Tomēr ir nepieciešams regulāri atjaunot pozīcijas atskaites punktu, pārrēķinot tās pozīciju ar INS un GPS datiem, apstrādātiem ar Kalmana filtru.



Att. 2.5: INS pozīcijas noteikšanas simulācija ar mainīgu ceļa slīpumu (ar lieliem apļiem attēlotas GPS pozīcijas, ar maziem apļiem - INS pozīcijas)



Att. 2.6: Pozīcijas noteikšanas simulācija ar mainīgu ceļa slīpumu (ar lieliem apļiem attēlotas GPS pozīcijas, ar maziem apļiem - pozīcijas pēc INS un GPS datu apstrādes ar Kalmana filtru)

Apskatīsim orientācijas nobīdi, kas notiek galvenokārt žiroskopa trokšņu un sensoru iekārtas ierobežojumu dēļ. Tā pieaug ļoti strauji un var ievērojami ietekmēt pozīcijas noteikšanas procesu. Apskatīsim "kalnu braukšanas" simulāciju (sk. att. 2.5), kur transportlīdzeklis pārvietojas pa ceļu ar mainīgu slīpumu. Intervālā (a) transportlīdzeklis uzņem ātrumu ar pastāvīgu paātrinājumu, intervālā (b) - vienmērīgi brauc ar konstantu ātrumu, intervālā (c) - brauc kalnā (30 grādu leņķis) ar konstantu ātrumu un intervālā (d) - vienmērīgi brauc ar konstantu ātrumu. Pielietojot Kalmana filtru (sk. att. 2.6), var daļēji uzlabot situāciju, bet tas ir iespējams tikai tad, kad ir pieejami arī GPS dati. Rezultātā kvalitātes paaugstināšanai ir nepieciešama žiroskopa kalibrēšana. Veicot žiroskopa kalibrēšanu, miera stāvoklī tiek uzņemta datu virkne. Rēķinot tās vidējo vērtību, nosaka žiroskopa datu nobīdi. Noņemot šo nobīdi no datiem, uzņemtiem navigācijas sistēmas darbības laikā, tiek samazināta orientācijas izkliede (sk. att. 2.4).

Magnetometra datu analīze/kalibrēšana

Lai noteiktu transportlīdzekļa pozīciju, ir jānovērtē ne tikai paātrinājumu un ātrumu, bet arī kustības virzienu jeb kursu. Žiroskopu var izmantot, lai noteiktu kustības virzienu, tomēr (1) tas dod iespēju noteikt tikai relatīvo kustības virzienu un (2) ar laiku uzkrājas kļūda, kas neļauj to izmantot kā uzticamu kursa noteikšanas sensoru. Vēl viens sensors, kas dod iespēju noteikt kustības virzienu, ir magnetometrs, kas mēra magnētisko lauku un var būt izmantots kā digitālais kompass. Tomēr reālā vidē magnetometra darbību traucē blaukus esošie ferromagnētiskie materiāli, kas izraisa Zemes magnētiska lauka sagrozīšanu (sk. att. 2.7) interferences dēļ un neļauj pareizi noteikt kursu.

Magnetometra traucējumus var sadalīt "hard-iron" un "soft-iron" kategorijās. Hard-iron traucējumi rodas no materiāliem, kas veido konstantu magnētisko lauku. Tas interferē ar Zemes magnētisko lauku un veido konstantu nobīdi katrai magnetometra ass signāla izejai. Grafiskā veidā šo traucējumu var

noteikt, redzot nobīdi starp riņķa līnijas centru, kas attēlo magnetometra x un y ass mērījumus, un koordinātu plaknes sākumpunktu. Tāda tipa traucējumu kompensācija ir samērā vienkārša - ir nepieciešams noteikt nobīdes lielumus x un y asīs, un atņemt tos no iegūtajiem datiem. Savukārt, soft-iron traucējumi rodas, kad kāds materiāls (piem., tērauds vai niķelis) ietekmē vai sagroza Zemes magnētisko lauku. Traucējumi, kas rodas soft-iron efekta dēļ, ir atkarīgi no savstarpējās sensora-objekta orientācijas un pozīcijas. Tāda tipa traucējumus nevar kompensēt, noņemot konstantu lielumu, bet ir nepieciešama sarežģītāka kalibrācijas procedūra. Grafiskā veidā soft-iron traucējumi deformē riņķa līniju, pārveidojot to elipses formā.

Apskatīsim hard-iron efekta iedarbību uz magnetometra mērījumiem (sk. att. 2.7). Uzņemtie dati veido figūras ar centru, nobīdītu no koordinātu plaknes sākumpunkta. Uzņemot datus (sk. att. 2.7 kreisajā pusē), magnetometrs tika griezts pa riņķi ar rādiusu apm. 30 cm ap z asi. Punktā, kur ir redzams robs, tika noteikta spēcīga elektromagnētiskā lauka iedarbība no datora. Uzņemot datus (sk. att. 2.7 labajā pusē), magnetometrs tika griezts pa riņķi ar rādiusu apm. 30 cm ap z asi, netuvojoties elektromagnētisko lauku starojošiem objektiem.

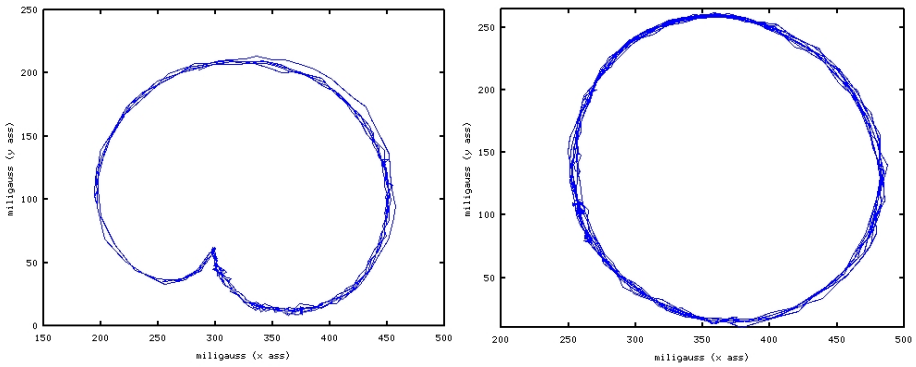
Navigācijas sistēma tiks lietota transportlīdzekļa pozīcijas noteikšanai, tātad var pieņemt, ka lielāka ietekme būs tieši no hard-iron efekta. Šajā gadījumā magnetometra x un y ass mērījumi, attēloti grafiski, veido riņķa līniju ar nobīdītu centru. Lai noteiktu nobīdi, var paņemt trīs mērījumus (trīs punkti koordinātu plaknē - (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)) un sekojoši noteikt apļa centru:

$$m_a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m_a = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}$$

$$x_c = \frac{m_a m_b (y_1 - y_3) + m_b (x_1 + x_2) - m_a (x_2 + x_3)}{2(m_b - m_a)}$$

$$y_c = -\frac{1}{m_a}(x_c - \frac{x_1 + x_2}{2}) + \frac{y_1 + y_2}{2}$$



Att. 2.7: Uzņemto magnetometra x un y ass mērījumu attēlošana grafiskā veidā ar elektromagnētisko lauku starojošu objektu (kreisajā pusē) un bez elektromagnētisko lauku starojoša objekta (labajā pusē)

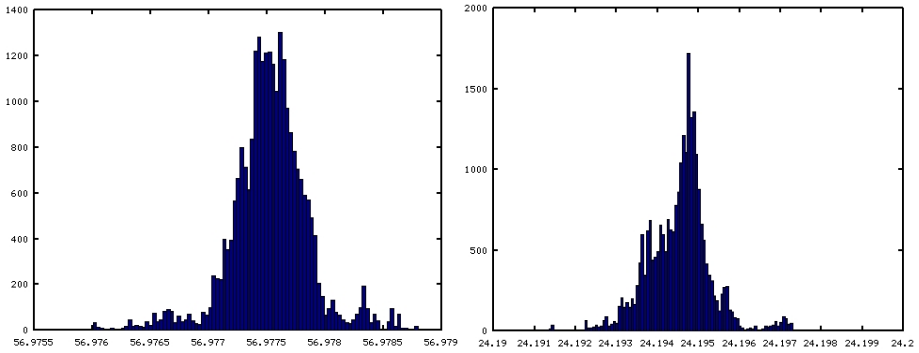
GPS datu analīze

Apskatīsim GPS datus (sk. att. 2.8 un 2.9), kā arī izlases raksturlielumus (sk. tab. 2.2). Mērījumu laiks ir 7 stundas 13 minūtes 33 sekundes un laika intervāls starp mērījumiem ir apm. 1 sekunde, tātad kopā ir 26013 mērījumi. Ir redzams, ka GPS datiem ir Gausa sadalījums. Tas ļauj turpmāk efektīvi pielietot Kalmana filtru sensoru datu sapludināšanai.

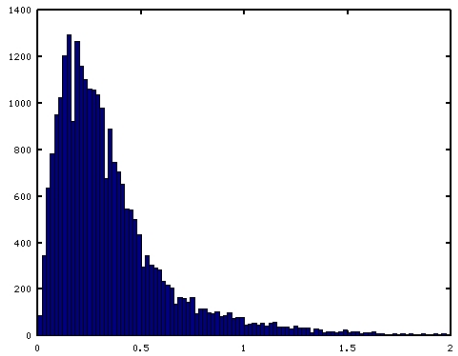
Tabula 2.2: GPS datu izlases raksturlielumi

	Ģeogrāfiskais platums	Ģeogrāfiskais garums	GPS ātrums
aritmētiskais vidējais	56.9775	24.1945	0.38
standartnovirze	0.00034	0.00079	0.43

Lai aprēķinātu izlases standartnovirzi metros, ir nepieciešams noteikt



Att. 2.8: Ģeogrāfiskais platuma izlases sadalījums (kreisajā pusē) un ģeogrāfiskais garuma izlases sadalījums (labajā pusē)



Att. 2.9: GPS ātruma sadalījums

attālumu starp vidējo vērtību un vidējo vērtību ar standartnovirzi grādos. Attāluma aprēķināšanai tiek izmantota 'haversine' formula, kas ļauj novērtēt īsāko attālumu starp diviem punktiem virs Zemes virsmas (neņemot vērā kalnus u.c. šķēršļus):

(1) a = $sin^2(\Delta lat/2) + cos(lat1) \cdot cos(lat2) \cdot sin^2(\Delta lng/2)$

(2) c = $2 \cdot atan2(\sqrt{a}, \sqrt{(1-a)})$

(3) attālums = $R \cdot c$

kur $lat1$ un $lat2$ ir punktu ģeogrāfiskie platumi, Δlat un Δlng ir punktu ģeogrāfisko platumu un garumu starpības. Izmantojot šo formulu, var noteikt, ka standartnovirze ir 61.7 metri. Tik liela novirze ir saistīta ar nelabvēlīgiem eksperimenta vides apstākļiem.

2.4 Kopsavilkums

Navigācijas sistēmas pilnveidošanas laikā tika paveikts:

- programmatūras pielāgošana darbībai ar Sparkfun IMU moduli un Holux M-1200E GPS uztvērēju;
- SDL, wxWidgets, armadillo, mysql-dev bibliotēku integrēšana;
- lietotāja saskarnes komponenšu izveide priekš vizuālās datu analīzes (izmantojot SDL un wxWidgets bibliotēkas);
- datu glabāšanas mehānisma ieviešana (izmantojot mysql-dev bibliotēku);
- iepriekš īstenotā matemātiskā aparāta aizvietošana ar efektīvāku un stabilāku analogu uz armadillo bibliotēkas bāzes;
- demonstrācijas apakšprogrammu koriģēšana un pilnveidošana, datu simulācijas bloka uzlabošana;
- atmiņas pārvaldības uzlabošana un koda optimizācija (atvieglo turpmāko pilnveidošanu un uzturēšanu, paaugstina platformas neatkarības līmeni).

Grupas darbības rezultāti, kas saistīti ar iepriekšējām aktivitātēm GCDC sacensību auto tehniskā aprīkojuma izstrādē [1], kuras veiktas sadarbībā ar VPP projektu IMIS, kā arī transporta līdzekļa kustības režīma identificēšanu reālajā laikā, ir publicēti divās zinātniskajās publikācijās [5, 6], kā arī prezentēti starptautiskās zinātniskās konferences "10th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS 2012)" speciālajā sesijā "AMAS: Adaptive Multi-Agent Systems" (Salamanka, Spānija).

2.5 Nākotnes perspektīvas

Nākotnē tiek plānota navigācijas sistēmas programmatūras pilnveidošana un attīstīšana, kas dotu iespēju iegūt gatavu navigācijas risinājumu uz

Sparkfun IMU moduļa un Holux M-1200E GPS uztvērēja bāzes. Lai to panāktu, ir nepieciešama simulācijas vides uzlabošana priekš INS un GPS datu sapludināšanas algoritma pilnveidošanas, kā arī turpmāko eksperimentu veikšana reālā vidē.

Navigācija ir transportlīdzekļa pozīcijas noteikšanas un kustību vadības process, tāpēc nākotnē tiek plānota arī vadības mehānisma attīstīšana, kas iekļauj sevī kustību plānošanu (piem., ar A* algoritma vai dinamiskās programmēšanas palīdzību), kustību trajektorijas noteikšana (ar izlīdzināšanas algoritmu palīdzību) un trajektorijas sekošana (piem., ar PID vadības algoritma palīdzību). Arī ir iespējama kartes veidošanas mehānisma attīstīšana, pielietojot SLAM (Simultaneous localization and mapping) metodes, kas varētu būt noderīga gan transportlīdzekļa lokalizācijas rezultāta uzlabošanai, gan citās nozarēs, kur ir nepieciešama apkārtējas vides kartes veidošana.

Literatūra

[1] GCDC organization. *GCDC 2011 Rules & Technology Document Final version*, April 2011.

[2] The New York Times: Google Car. `http://www.nytimes.com/2010/10/10/science/10google.html`.

[3] DARPA Grand Challenge. `http://www.darpagrandchallenge.com/`.

[4] Grand Cooperative Driving Challenge. `http://www.gcdc.net/`.

[5] Artis Mednis, Georgijs Kanonirs, and Leo Selavo. Adaptive vehicle mode monitoring using embedded devices with accelerometers. In Javier Bajo Pérez, Miguel A. Sánchez, Philippe Mathieu, Juan M. Corchado Rodríguez, Emmanuel Adam, Alfonso Ortega, María N. Moreno, Elena Navarro, Benjamin Hirsch, Henrique Lopes-Cardoso, and Vicente Julián, editors, *Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*, volume 156 of *Advances in Intelligent and Soft Computing*, pages 231–238. Springer Berlin / Heidelberg, 2012. 10.1007/978-3-642-28762-6_28.

[6] Artis Mednis. A multimodal approach for determination of vehicle position. In Laila Niedrite, Renate Strazdina, Benkt Wangler, Wil Aalst, John Mylopoulos, Michael Rosemann, Michael J. Shaw, and Clemens Szyperski, editors, *Workshops on Business Informatics Research*, volume 106 of *Lecture Notes in Business Information Processing*, pages 223–235. Springer Berlin Heidelberg, 2012. 10.1007/978-3-642-29231-6_18.

Nodaļa 3

EdiMote grupa

Anotācija

EdiMotes grupa nodarbojas ar universālas platformas izstrādi, kas būtiski atvieglo iegulto sistēmu aparatūras un programmatūras izstrādes procesu. Šāds rīks ir modulārs un nav piesaistīts pie konkrētiem iegulto sistēmu moduļiem (MCU, radio, sensoru, atmiņu, utt.) kā tas ir vairumā izstrādes rīku [4] [1] [2]. Tas nodrošina iegulto sistēmu izstrādātājam iespēju savstarpēji savienot iekārtas moduļus ar minimālu vai bez iespiedplašu projektēšanas nepieciešamības, izstrādes gaitā, kā arī veikt atsevišķu moduļu un kopējās sistēmas testēšanu. Tiek veidota arī analogo un ciparu signālu atkļūdošanas un analīzes iespēja, kā arī atsevišķu moduļu enerģijas mērīšanas funkcija. Platforma tiek vadīta no datora, kā arī analizējamo datu apstrāde, attēlošana un glabāšana notiek datorā.

EdiMote [5] palīdzētu atrisināt tipiskās iegulto sistēmu projektēšanas problēmas, ar ko saskaras gan inženieri, gan pētnieki. Šīs problēmas var iedalīt ar aparatūru saistītās problēmās un ar programmatūru saistītās problēmās:

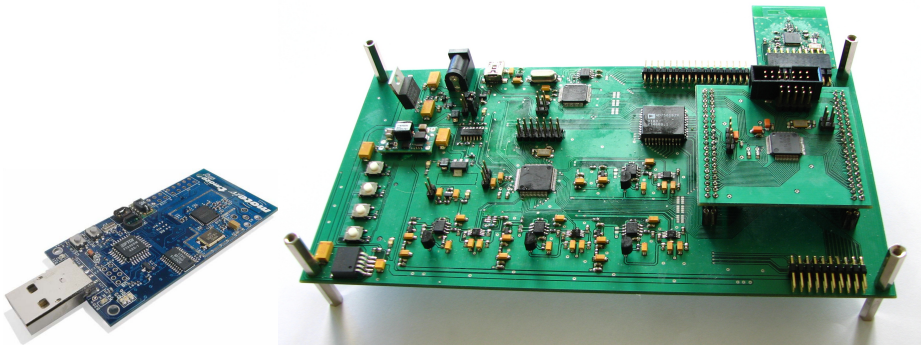
- aparatūras problēmas:
  - moduļu savstarpējā savienošana;
  - signālu komutēšana;
  - enerģijas patēriņa mērīšana;
- programmatūras problēmas:
  - dažādu mikrokontrolieru programmēšanas atbalsts;
  - ciparu un analogo signālu atkļūdošana;
  - programmu veicamo operāciju ietekme uz enerģijas patēriņu.

3.1 Ievads

Iegulto sistēmu izstrāde ir laikietilpīgs un sarežģīts process. To iespējams atvieglot, izmantojot dažādus palīgrīkus, kas palīdzētu savienot atsevišķos iegultās sistēmas moduļus, nodrošināt to savstarpējo signālu savietojamību, analogo un ciparu signālu atkļūdošanu, kā arī novērtēt atsevišķu moduļu un sistēmas kopumā patērējamo enerģiju konkrētu procesu veikšanas brīdī. Izstrādājot iegultās sistēmas, kas izstrādes sākumā tiek veidotas kā prototipi, jāveic moduļu vai atsevišķu integrālo mikroshēmu savienošana, kam nepieciešama laikietilpīga spiesto plašu izstrāde [3] , nepieciešamas specifiskas ierīces procesoru programmēšanai un dažādi mērinstrumenti signālu novērošanai un atkļūdošanai. EdiMote [5] ir universāls iegulto sistēmu izstrādes rīks, kas paredzēts visu iepriekšminēto uzdevumu atvieglošanai.

Iegultās sistēmas atšķiras pēc to veiktspējas, energopatēriņa, pielietojuma un citiem parametriem. EdiMotes resursi ir piemēroti tieši bezvadu sensoru tīklu, bezvadu sensoru mezglu izstrādē, kur tiek izmantoti mikrokontrolieri, bezvadu pārraides moduļi, dažāda veida sensori, atmiņas moduļi datu uzkrāšanai, ievades un izvades moduļi, indikācijas elementi u.c. Izstrādājot EdiMotes platformu, paralēli tiek veikti testi ar pasaulē pazīstamiem bezvadu sensoru mezgliem kā TeslosB [4],Epic mote [1], MICAz [2], kā arī tiek veidoti jauni bezvadu sensoru mezgli kā LynxNet [7], elektriskā lauka mērīšanas mote [6] u.c.

Iepriekšējā laika posmā tika veikta analogo komutācijas izveide un konfigurēšana no datora, kā arī tika veikti tās testi. Šajā laika posmā tika papildināta enerģijas mērītāju funkcionalitāte. Veikti testi ar enerģijas mērītājiem un novērtēta to precizitāte. Turpināts darbs pie īslaicīgu, precīzu enerģijas mērītāju izstrādes, kas paredzēta detalizētai moduļu strāvas patēriņa līknes iegūšanai izmantojot analogos-ciparu pārveidotājus. Turpināts darbs ar EdiMotes otrās revīzijas veidošanu.



(a) TelosB mote (b) Emulētā TelosB mote

Att. 3.1: Testējamās motes

3.2 Eksperimenti un rezultāti

3.2.1 EdiMotes enerģijas mērītāju testa apraksts

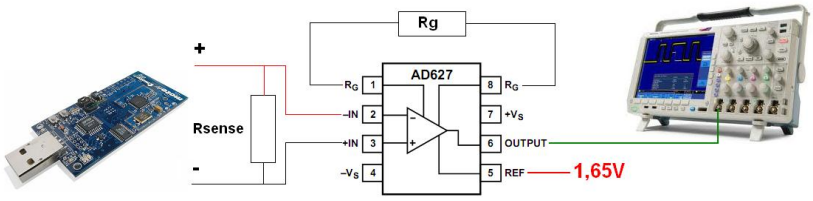
Testa mērķis - salīdzināt SPOT enerģijas mērītāju precizitāti ar cita veida enerģijas mērīšanas metožu precizitāti. Par testa objektu tika izvēlēta oriģināla un emulēta TelosB mote, kurai bija izveidota testa programma. Programma izpildās cikliski, viens cikls sastāv no četrām daļām kā arī izpildās vienas sekundes laikā:

- datu sūtīšana izmantojot CC2420 integrālo mikroshēmu (IMS) 230 ms
- datu saņemšanu radio CC2420 IMS 200ms
- sensoru datu lasīšanu 14 ms
- guļošo režīmu (sleep mode) 570 ms

Enerģijas mērīšana tika veikta izmantojot trīs metodes:

- sprieguma krituma mērīšana ar oscioloskopu uz R šunta rezistora, iegūtie dati tika apstrādāti uz datora. Mērijumi tika veikti oriģinālai TelosB motei, katrai programmas daļai 10 mērījumi.
- Enerģijas novērtēšana izmantojot Contiki powertrace programmatūru. Contiki powertrace norāda kāda stāvoklī atrodas testējamā sistēma, piemēram, guļošais režīms, sūtīšanas vai kāds cits režīms. Zinot, cik ir maksimālais enerģijas patēriņš katrai no šīm daļām (to ir iespējams uzzināt no detaļu specifikācijas) ir iespējams noteikt cik patērē testējamā sistēma dotajā brīdī. Testam tika izmantota oriģināla TelosB mote, iegūtie dati no TelosB motes tika nosūtīti uz datoru caur UART saskarni. Tika veikts vienas stundas garš mērījums.
- Enerģijas mērīšana ar SPOT mērītājiem. Tika izmantota emulētā TelosB mote ar identisku programmu. Vienas stundas gari mērījumi katrai TelosB motes programmas daļai.

Iegūtos datus no EdiMotes bija jāsalīdzina ar etalon-metodi. Par šādu metodi tika izvēlēta sprieguma pārveidošana ciparu formātā izmantojot analogo ciparu pārveidotāju - **ACP**. Precīzāk tika izmantots oscioloskops, ar iespēju novērotos signālus saglabāt csv failā un pēc tam apstrādāt uz datora.



Att. 3.2: TelosB motes enerģijas mērītāja shēma

Lai tests būtu iespējams tika papildināta EdiMotes ciparu daļas funkcionalitāte - ieviests globāls trigeris, kas kontrolē enerģijas mērītāju ieslēgšanu/izslēgšanu. To var piesaistīt pie viena no EdiMotes izvadiem. Tādā veidā tiek panākts, ka enerģijas mērīšana tiek kontrolēta gan no datora puses, gan no globālā trigera. Beidzoties vienam mērījumam EdiMote uz datoru atsūta mērījuma ilgumu (us) kā arī vidējo strāvu šajā laikaposmā.

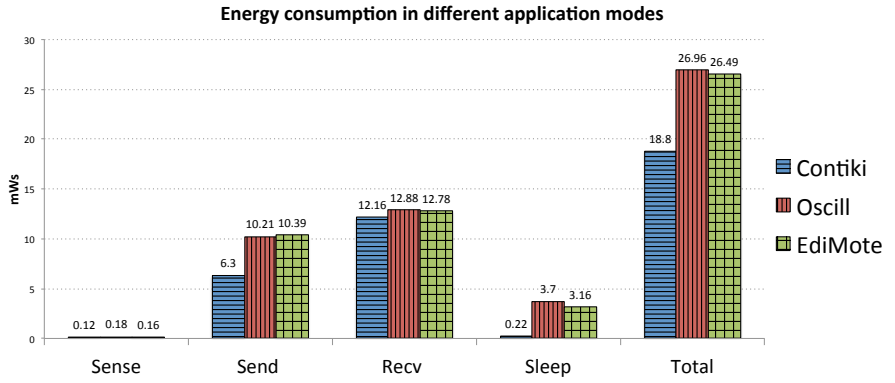
Programma, kas bija uzstādīta uz TelosB motes, kontrolēja vienu izvadu, kas pilda šāda trigera uzdoto funkcionalitāti. Tas arī reprezentēja, kāda no četrām programmas daļām šobrīd ir aktivizēta. Šo programmas daļu var nomainīt nospiežot pogu (user button).

Šāds TelosB motes trigeris tika izmantots arī mērot enerģijas patēriņu ar oscioloskopu. Tika iegūti divi signāli, viens reprezentē strāvas patēriņu laikā, otrs kura programmas daļa ir aktivizēta. Datus saglabājot csv failā. Tika izveidota programma, kas automātiska izvēlējās un apstrādāja datus pēc trigera vērtības.

3.2.2 Iegūto datu analīze un secinājumi

Iegūtie enerģijas rezultāti ar abām metodēm ir apkopoti 3.3 attēlā. Analizējot no EdiMotes iegūtos datos, ir redzams, ka šāds rīks dot vairāk informācijas par enerģijas patēriņu nekā mērītāji, kas mēra enerģijas patēriņu visai kopējai sistēmai. Ar EdiMoti ir iespējams novērtēt enerģijas sadalījumu katram modulim atsevišķi. Līdz ar to ir iespēja novērtēt sistēmas vājāko posmu un mēģināt to optimizēt. Secinājumi veiktajam testam ar enerģijas mērītājiem:

- Contiki powertrace ir pielietojama enerģijas novērtēšanai programmas daļām, kuras ir statiskas, piemēram, gaidošais režīms.
- SPOT mērītājiem pie dinamiskām slodzēm ir lielāka precizitāte salīdzinot ar Contiki powertrace.
- EdiMotes mērītāju arhitektūra sniedz vairāk informācijas par enerģijas patēriņa sadalījumu nekā sistēmas, kas mēra tikai kopējo enerģijas patēriņu. EdiMote nodrošina iespēju novērot programmu. Šajā testa aplikācijā tika atrasta kļūda, ka ADC un UART preifērijas iekārtas netika izslēgtas.



Att. 3.3: Enerģijas patēriņa novērtēšana ar trīs metodēm: oscioloskops, Contiki powertrace, EdiMotes SPOT mērītāji.

Literatūra

[1] P. Dutta and D. Culler. Demo: Epic: An Open Mote Platform for Application-Driven Design. In *In Proceedings of the Seventh International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'08) Track on Sensor Platforms, Tools, and Design Methods*. IPSN, 2008.

[2] Micaz. `http://www.cmt-gmbh.de/MICAz.pdf`.

[3] Spiestās elektriskās plates. `http://en.wikipedia.org/wiki/Printed_circuit_board`.

[4] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler. Telos: enabling ultra-low power wireless research. In *Proceeding IPSN '05 Proceedings of the 4th international symposium on Information processing in sensor networks*. IPSN, 2005.

[5] R. Ruskuls and S. L. 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.

[6] A. Severdaks, G. Supols, M. Greitans, and L. Selavo. Wireless Sensor Network for Distributed Measurement of Electrical Field. In *Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija*, page 7–10., 2011.

[7] R. Zviedris, A. Elsts, G. Strazdins, A. Mednis, and L. Selavo. LynxNet: Wild Animal Monitoring Using Sensor Networks. In *Real-World Wireless Sensor Networks 4th International Workshop, REALWSN 2010 Colombo, Sri Lanka, December 2010 Proceedings*, pages 170–173. 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 pārnesamība. MansOS izvairās no šīm problēmām, sekojot savas arhitektūras vadlīnijām – strādāt mērķauditorijai ar UNIX un C programmēšanas pieredzi, būt lietotājdraudzīgiem, un piedāvāt vieglu pārnesamību uz jaunām aparatūras platformām. Šajā ceturksnī MansOS pamatā noritēja darbs pie valodas SEAL izveides un uzlabošanas. Ir iegūts strādājošs valodas SEAL kompilators, kā arī Bekusa-Naura formā nodefinēta valodas gramatika. Tāpat ir strādāts pie MansOS atbalstīto aparatūras risinājumu un programmatūras platformu klāsta paplašināšanas, kā arī izveidota jauna MansOS tīmekļa vietne.

4.1 Valoda SEAL

4.1.1 Ievads

Lielākajai daļai potenciālo BST lietotāju nav formālas izglītības datorzinātnē. Lai padarītu BST lietojumprogrammu izstrādi pieejamāku un pievilcīgāku šai mērķauditorijai, tika izveidota SEAL. Tās pamatā ir novērojums, ka, lai gan *zema līmeņa* BST programmēšana ir pārpilna ar komplicētām detaļām, lielākā daļa BST lietojumprogrammu ir *konceptuāli* vienkāršas – tās var tik aprakstītas vai nu kā "izmērīt un sūtīt" *sense-and-send*, vai kā notikumu detektēšana. SEAL ļauj nodalīt zema līmeņa datortīklu detaļas un iegulto sistēmu detaļas no lietojumprogrammas loģikas, tādējādi samazinot to sarežģītības līmeni, kas ir redzams lietotājam.

4.1.2 Saistītais darbs

Dažādas augsta līmeņa BST programmēšanas valodas ir jau tikušas piedāvātas [11]; pārāk daudzas, lai tās visas nosauktu šeit. Ja salīdzinam tās ar SEAL, tad var redzēt, ka tādi risinājumi kā *TinyDB* ļauj uztvert visu sensoru tīklu kā

relāciju datubāzi. Tajā pašā laikā tām trūkst iespējas adresēt specifiski vienu mezglu. Tādi risinājumi kā *Regiment* un *Snlog* lieto konceptus no funkcionālās programmēšanas un valodas Prolog respektīvi, kuri var būt grūti uzverami cilvēkiem ar mazu pieredzi datorikā. Savukārt tādi risinājumi kā *Kairos* un *Pleiades* paplašina programmēšanas valodas (Python un C respektīvi) BST vajadzībām, tādējādi novedot iesācējus programmētājus pie *embrass de richess*. Neviens no tiem nav deklarējis vielu lietojamību iesācējiem kā savu galveno mērķi.

Vislīdzīgākais mūsu risinājumam ir, iespējams, pētījums [9], bet tā autori nemin specifisku praktisku pielietojumus kā savu motīvu, un tajā pašā laikā ir restriktīvāki to lietojumu klasē, kurus viņu valodas atbalsta (kā piemēram, heterogēnu tīklu atbalsta trūkums). makeSense [5] ir jauns lietojums, kurš ir līdzīgāks mūsējam, bet viņu mērķauditorija atšķiras - tie ir lietotāji ar biznesa procesu modelēšanas iemaņām.

4.1.3 Valodas pamatelementi

SEAL valodā tiek atbalstītas šādas valodas konstrukcijas:

- Komponentu lietojumi. Atkarībā no komponenta tipa ir jālieto šādi atslēgvārdi: `use` (aktuatoriem, piemēram LED), `read` (sensoriem) un `output` (sistēmas izvadiem).
- Nosacījuma izteikumi ar `when`, `elsewhen` un `else` zariem.
- Stāvokļa mainīgo definēšanas un lietošanas izteikumi ar `set` atslēgvārdu.
- `define` izteikumi, kas ļauj vienreiz nodefinētu kodu izmantot atkārtoti.
- Iespējas definēt konstanšu masīvus ar `pattern` atslēgvārdu.

SEAL sintakse maz līdzinās "tradicionālo" programmēšanas valodu (piemēram, C) sintaksei. Tai nav arī nekāda konkrēta cita līdzinieka, uz kura bāzes sintakse būtu veidota. Tā ir paredzēta lietotājiem, kuri ir ar progammēšanu maz saskārušies, līdz ar to valodas līdzība kādai citai neko nedotu, tikai, iespējams, izraisītu lietotāju apjukumu daudzu nealfabētisko simbolu lietojuma gadījumā.

4.1.4 Valodas gramatika

Lai nofiksētu valodas gramatiku viegli lasāmā formā, tikai izveidotas tās specifikācijas Extended Backus-Naur Form (EBNF) formātā. Tā sniegta tālāk.

⟨*program*⟩ ::= ⟨*declaration*⟩*

⟨*declaration*⟩ ::= ⟨*component_use_case*⟩
| ⟨*when_block*⟩
| ⟨*system_parameter_declaration*⟩
| ⟨*pattern_declaration*⟩
| ⟨*set_statement*⟩
| ⟨*define_statement*⟩
| ';'

⟨*component_use_case*⟩ ::= 'use' ⟨*identifier*⟩ ⟨*parameter_list*⟩ ';'
| 'read' ⟨*identifier*⟩ ⟨*parameter_list*⟩ ';'
| 'output' ⟨*identifier*⟩ ⟨*parameter_list*⟩ ';'

⟨*system_parameter_declaration*⟩ ::= 'parameter' ⟨*identifier*⟩ ⟨*value*⟩ ';'

⟨*pattern_declaration*⟩ ::= 'pattern' ⟨*identifier*⟩ '[' ⟨*value_list*⟩ ']' ';'

⟨*set_statement*⟩ ::= 'set' ⟨*identifier*⟩ ⟨*value*⟩ ';'

⟨*define_statement*⟩ ::= 'define' ⟨*identifier*⟩ ⟨*parameter_list*⟩ ';'

⟨*when_block*⟩ ::= 'when' ⟨*condition*⟩ ':' ⟨*declaration*⟩* ⟨*elsewhen_block*⟩ 'end'

⟨*elsewhen_block*⟩ ::= 'elsewhen' ⟨*condition*⟩ ':' ⟨*declaration*⟩* ⟨*elsewhen_block*⟩
| 'else' ':' ⟨*declaration*⟩ *
| ϵ

⟨*condition*⟩ ::= ⟨*condition_term*⟩
| ⟨*condition*⟩ 'or' ⟨*condition_term*⟩

⟨*condition_term*⟩ ::= ⟨*condition_factor*⟩
| ⟨*condition_term*⟩ 'and' ⟨*logical_statement*⟩

⟨*condition_factor*⟩ ::= ⟨*logical_statement*⟩
| 'not' ⟨*condition_factor*⟩

⟨*logical_statement*⟩ ::= arithmetic_expression
| '(' ⟨*condition*⟩ ')'
| ⟨*arithmetic_expression*⟩ ⟨*equality_comparison*⟩ ⟨*arithmetic_expression*⟩
| ⟨*arithmetic_expression*⟩ ⟨*nonequality_comparison*⟩ ⟨*arithmetic_expression*⟩
| ⟨*arithmetic_expression*⟩ '>' ⟨*arithmetic_expression*⟩
| ⟨*arithmetic_expression*⟩ '⟨' <*arithmetic_expression*⟩
| ⟨*arithmetic_expression*⟩ '>=' ⟨*arithmetic_expression*⟩
| ⟨*arithmetic_expression*⟩ '⟨=' <*arithmetic_expression*⟩

⟨*equality_comparison*⟩ ::= '=='
| '='

⟨*nonequality_comparison*⟩ ::= '!='
| '⟨⟩'

⟨*arithmetic_expression*⟩ ::= ⟨*arithmetic_expression*⟩ '+' ⟨*arithmetic_term*⟩
| ⟨*arithmetic_expression*⟩ '-' ⟨*arithmetic_term*⟩
| ⟨*arithmetic_term*⟩

⟨*arithmetic_term*⟩ ::= ⟨*arithmetic_term*⟩ '*' ⟨*arithmetic_factor*⟩
| ⟨*arithmetic_term*⟩ '/' ⟨*arithmetic_factor*⟩
| ⟨*arithmetic_factor*⟩

⟨*arithmetic_factor*⟩ ::= ⟨*value*⟩
| '(' ⟨*arithmetic_expression*⟩ ')'

⟨*parameter_list*⟩ ::= ⟨*parameter_list*⟩ ',' ⟨*parameter*⟩ | ϵ

⟨*parameter*⟩ ::= ⟨*identifier*⟩
| ⟨*identifier*⟩ ⟨*value*⟩
| 'pattern' ⟨*value*⟩
| 'parameters' ⟨*value*⟩

⟨*value_list*⟩ ::= ⟨*value_list*⟩ ',' ⟨*value*⟩ | ϵ

⟨*value*⟩ ::= ⟨*boolean_literal*⟩
| ⟨*integer_literal*⟩
| ⟨*string_literal*⟩
| ⟨*identifier*⟩

⟨*boolean_literal*⟩ ::= 'true'
| 'false'

⟨*identifier*⟩ ::= alphabetic character , alphabetic character | digit

⟨*integer_literal*⟩ ::= ⟨*decimal_literal*⟩
| ⟨*hexadecimal_literal*⟩

⟨*decimal_literal*⟩ ::= digit + alphabetic character +

⟨*hexadecimal_literal*⟩ ::= '0x' hex_digit +

⟨*string_literal*⟩ ::= " (any character except quote and newline) * "

Visa sintakse neņem vērā simbolu reģistru (t.i. valoda SEAL ir *case insensitive*). Tāds lēmums tika pieņemts, pamatojoties uz to, ka lietotāji iesācēji var nebūt pieraduši pievērst uzmanību programmas teksta reģistram.

4.1.5 Valodas izvērtēšana

Lai novērtētu SEAL parseri un koda ģeneratori, ir izstrādāti vairāki testi, kurus iespējams palaist automātiski. Uzģenerēto C kodu pēc tam iespējams arī automātisko nokompilēt uz bināro kodu, tādējādi var pārbaudīt gan sintakses, gan semantiskas kļūdas valodas SEAL kompilatorā.

Šobrīd ir izstrādāti 42 testi, kas pa kategorijām sadalās šādi:

- Pamatsintakse (sekcijas kods 0x) – 8 testi;
- Nosacījuma operatori (kods 1x) – 8 testi;
- Loģiskie operatori (kods 2x) – 5 testi;
- Stāvokļa mainīgie (kods 3x) – 2 testi;
- Sintakses papildelementi (kods 4x) – 4 testi;
- Sintakses kļūdas (kods 5x) – 4 testi;
- Semantikas kļūdas (kods 6x) – 3 testi;
- Komentāri (kods 9x) – 6 testi.

Šobrīd visi testi ārpus sekcijām 5x un 6x tiek izieti veiksmīgi, savukārt par visiem testiem minētajās sekcijas tiek saņmeti kļūdas ziņojumi un kompilācijas rezultātā netiek veidots .c fails.

4.2 Operētājsistēma MansOS

4.2.1 Ievads

Paplašinot MansOS atbalstīto aparatūras platformu klāstu, šajā ceturksnī MansOS kods tika pielāgots divām jaunām platformām. Pirmā no tām ir motes, kas paredzētas lauksaimniecības pielietojumiem un aprīkotas ar mikrokontrolieri MSP430F2252 [8], kā arī radio transcīveri CC1101 [1]. Otrā ir Texas Instruments MSP430 Launchpad [7].

Tāpat arī tika veikts darbs pie esošā MansOS koda uzturēšanas, piemēram, pievienots MinGW [6] platformas atbalsts, un pie lietotāju atbalsta, piemēram, izveidota jauna MansOS tīmekļa vietne [1]. Vēl izveidota jauna VirtualBox MansOS instance (kopā ar operētājsistēmu un rīkiem) virtuālajai videi, kas kompresētā veidā aizņem tikai aptuveni 500MB, kas ir ievērojami mazāk par aptuveni 2GB lielo VmWare virtuālo datora instanci, kura tika izveidota iepriekšējā ceturksnī.

[1] Pieejama http://mansos.net un http://mansos.edi.lv

4.2.2 Risinājums

Texas Instruments *MSP430F2252* ir ļoti zema enerģijas patēriņa mikrokontrolieris, kurš pieder pie Sensoru tīklu izstrādātājiem tas ir pievilcīgs energoefektivitātes dēļ, kā arī relatīvi zemās cenas dēļ. Pamatā MSP430F2252, kurš pieder pie MSP430 otrās sērijas, ir līdzīgs MSP430 pirmās sērijas mikrokontrolieriem, kuriem atbalsts MansOS ir jau kopš tās pastāvēšanas sākuma. Taču ir arī dažas būtiskās atšķirības:

- nav USART saskarnes, kuras vietā nāk USCI saskarne;
- iebūvētā 12 bitu ADC vietā nāk 10 bitu ADC.

Eksistē arī citas, mazākas atšķirības, piemēram, iekšējas informācijas zibatmiņas apjoms tāpat kā pirmajās sērijas čipiem ir 256 baiti, bet tas ir sadalīts četros, nevis divos segmentos u.c.

MansOS kodā šī čipa atbalstam ir pievienots:

- USCI modulis darbam vienā no I2C, SPI un UART režīmiem;
- ADC10 modulis darbam ar 10 bitu ADC.

Texas Instruments *CC1101* radio čips ir paredzēts darbam UHF frekvenču diapazonā, taču atšķirībā no līdz šim MansOS atbalstītajiem radio (izņemot LINX TRM-430) tas darbojas frekvencēs zem 1 GHz: specifiski 300-348 MHz, 387-464 MHz un 779-928 MHz joslās. Tā atbalstītais datu pārraides apjoms ir līdz 500 kilobaudiem sekundē. CC1101 programmēšana daļēji atgādina CC2420 radio programēšanu, kaut arī koda atkārtotas izmantošansasiesējas ir ierobežotas. Šajā atskaites periodā uzrakstītais dzinis, kurš šobrīd ir testēšanas stadijā, atbalsta populārākās radio funkcijas:

- nosūtīt datus;
- saņemt datus;
- uzstādīt frekvenci (kanālu);
- uzstādīt izstarotā signāla jaudu;
- nolasīt RSSI;
- nolasīt LQI;
- ieslēgt un izslēgt radio klausīšanos;

MansOS dzinis izmanto 868 MHz brīvpieejas frekvenci pēc noklusēšanas. Jāpiezīmē, kas šim čipam ir arī *wake-on-radio* funkcija, kuras atbalsts tiek plānots kādā no tuvākajām MansOS revīzijām.

4.3 MansOS un SEAL IDE

4.3.1 Ievads

Lai dotu domēna-ekspertiem dažādās jomās (piemēram, augļkopībā) iespēju modificēt dažādus uzstādītā bezvadu sensoru tīkla darbības aspektus un

atvieglotu bezvadu sensoru tīklu izstrādāšanu LU darbiniekiem, tika nolemts izveidot MansOS IDE, kas ir grafisks teksta redaktors, kas paredzēts MansOS [12] un deklaratīvās programmēšanas valodas SEAL [10] koda izstrādei. MansOS IDE tika uzstādīti mērķi ļaut lietotājiem nepārzinot SEAL sintaksi izveidot vienkāršas programmas SEAL valodā, kā arī ļaut lietotājiem ar pieredzi pilnvērtīgi programmēt C valodā izmantojot MansOS. MansOS IDE būtu jāļauj lietotājam komandas veidot izvēloties to sastāvdaļas no piedāvātajiem variantiem un kombinējot tās kopā. Pieredzējušākiem lietotājiem, kas pārzina SEAL komandas, būtu jānodrošina iespēja komandas rediģēt arī atklāta teksta(plaintext) veidā. Par noderīgu funkcionalitāti vēl tiek uzskatītas iespējas:

- Kompilēt un augšupielādēt izveidoto programmu uz viena vai vairākiem sensoru mezgliem. (Ir realizēts)
- Attēlot no sensoru mezgla saņemtos datus. (Ir realizēts)
- Saglabāt izveidoto programmu datnē un ielasīt programmu no datnes. (Ir realizēts)
- Daudzciļņu atbalsts. (Ir realizēts)
- Nodrošināt koda sintakses pārbaudi reālā laikā. (Ir realizēts)
- Nodrošināt koda izcelšanu (*highlighting*). (Nav realizēts)

4.3.2 Vispārīgs risinājuma apraksts

MansOS IDE tiek izstrādāts Python programmēšanas valodā, versija 2.7, izmantojot grafisko bibliotēku wxPython, šāds salikums izvēlēts, lai nodrošinātu MansOS IDE darbību uz visām populārākajām platformām(Windows, Linux, Mac). Vēl sistēma izmanto tādas komponentes kā pySerial, lai attēlotu no sensoru mezgla saņemtos datus, un PLY(Python – Lex – Yacc), lai veiktu SEAL koda sintakses pārbaudi un strukturizētu SEAL kodu, lai spētu piedāvāt lietotājam koda veidošanu izvēloties parametrus un to vērtības.

Sistēma ir veidota izmantojot objektorientēto pieeju, kas ļauj ērti un strukturēti pārvaldīt kodu. Tā kā wxPython grafiskā bibliotēka arī ir objektorientēta, tad daudzas sistēmas komponentes ir wxPython klašu apakšklases, kas papildinātas ar sistēmai specifisku funkcionalitāti.

4.3.3 Jauns teksta redaktors

Dažādi grafiskie teksta redaktori ir samērā daudz, tādi kā Eclipse [3], Code::Blocks [2], GNU Emacs [4], u.c., kas piedāvā spraudņu sistēmu, kas ļautu tos pilnībā pielāgot visām nepieciešamajām MansOS IDE piedāvātajām funkcijām, tomēr visiem šiem redaktoriem ir viena problēma, tie atbalsta tik lielu funkcionalitātes daudzumu, ka jaunie lietotāji tajā visā apjūk. Šis apsvērums arī lika izšķirties par jauna grafiskā teksta redaktora veidošanu, nevis spraudņa rakstīšanu kādam no jau gatavajiem teksta redaktoriem.

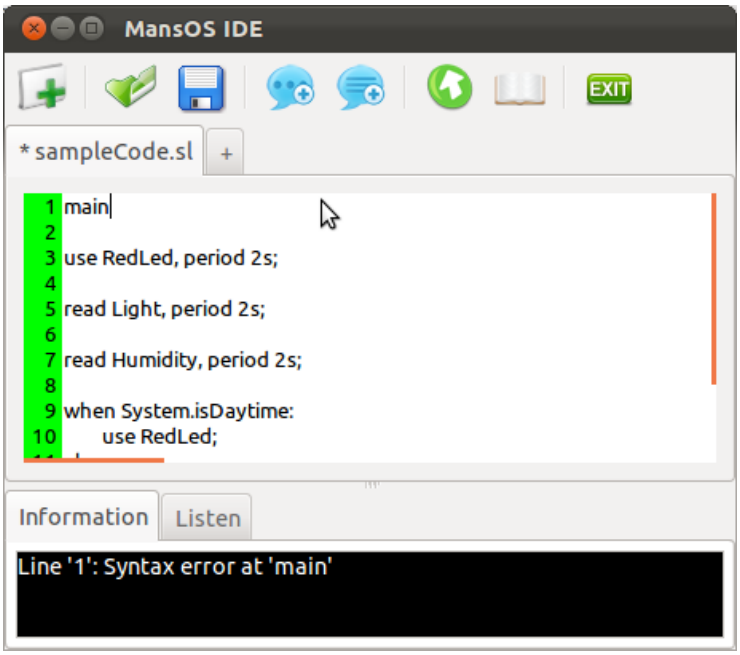
MansOS IDE tiecas lietotājam piedāvāt ērtu un saprotamu saskarni, kas nebūtu piebāzta ar kontekstam nevajadzīgām lietām, bet atbalstītu tikai bezvadu sensoru programmētājam nepieciešamo funkcionalitāti un ļautu to izmantot nepārzinot bezvadu sensoru programmēšanas specifikas.

4.3.4 SEAL deklaratīvā programmēšanas valoda

SEAL ir deklaratīva programmēšanas valoda, kas paredzēta bezvadu sensoru tīklu programmēšanai, bet veidota tā, lai to spētu lietot cilvēki, kas nav saistīti ar datorikas nozari. SEAL sintakse veidota viegli uztverama un lai saprastu lielāko daļu SEAL koda pietiek ar angļu valodas zināšanām. SEAL sintakse satur trīs aprakstošus apgalvojumus, priekš sensoriem, aktuatoriem un izvada, nosacījumu apgalvojumus un sintaksi mainīgo aprakstīšanai [10].

Lai spētu atpazīt SEAL komandas un parametrus sākotnēji tika izmēģinātas vairākas pieejas, gan teksta apstrāde meklējot noteiktus atslēgvārdus, gan lietojot regulārās izteiksmes, tomēr abi šie risinājumi nesniedza pietiekošu stabilitāti un pielāgojamību, kas ir nepieciešama, jo SEAL valoda arī ir vēl tikai tapšanas stadijā un ar sintaksi saistītās lietas var krasi mainīties. Tāpēc beigās nonācu pie secinājuma, ka tomēr jāveido lex un yacc, kas atpazītu SEAL kodu, jāpiezīmē, ka eksistēja SEAL valodas interpretators izmantojot lex un yacc, bet tas bija rakstīts C++ valodā, tāpēc man atlika tikai to pielāgot PLY sintaksei un pielāgot esošo sintakses glabāšanas struktūru yacc piedāvātajai funkcionalitātei.

Pēc valodas atpazīšanas daļas pārnešanas uz Python valodu tika nolemts SEAL valodas interpretatoru pilnībā pārnest uz Python valodu. Tāpēc pašlaik MansOS IDE vēl izmanto manis veidoto SEAL interpretatoru, bet tuvākajā laikā ir plānots izveidot atbalstu SEAL interpretatora izmantošanai, kas novērstu jebkādas problēmas ar interpretatora salāgošanu gadījumā, ja SEAL sintakse mainās un manuprāt būtu pats optimālākais risinājums.



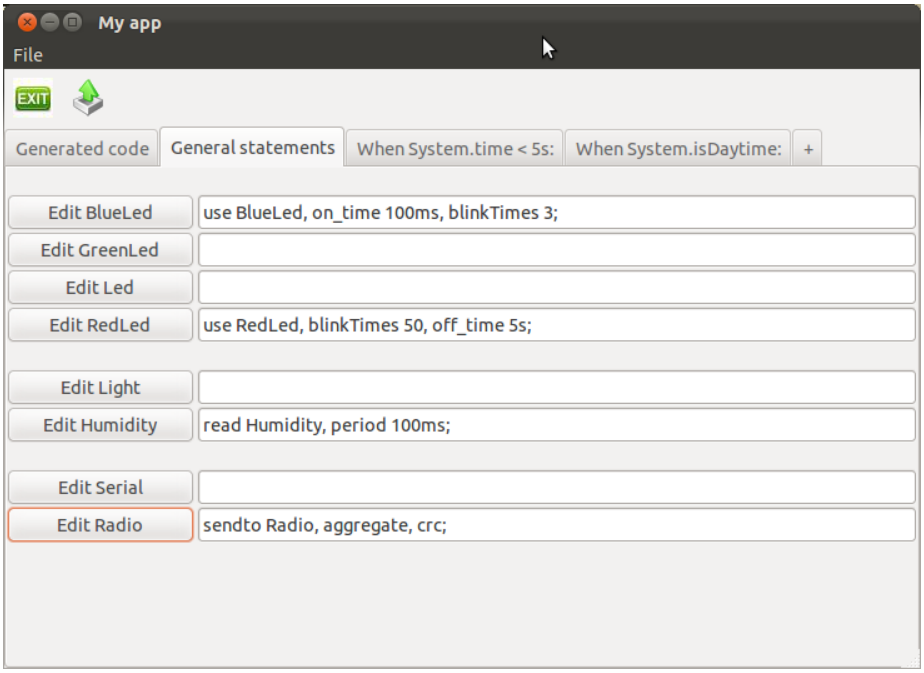
Att. 4.1: MansOS IDE

Kā jau visos nopietnos redaktoros, ir nepieciešama arī koda pārbaude pret sintakses kļūdām, kas izmanto SEAL interpretatoru lai noteiktu koda sintaktisko pareizību. Šī pārbaude norāda kurā vietā sintakse ir nekorekta

(Att. 4.1) Nākotnē ir paredzēts arī pievienot paskaidrojumu ar to, kāpēc šī sintakse ir nepareiza un iespējams piedāvāt iespējamos labojumus.

4.3.5 Ērta saskarne

Lai nodrošinātu ērtu un viegli uztveramu lietotāja saskarni, tika izmēģināti vairāki SEAL koda rediģēšanas varianti:

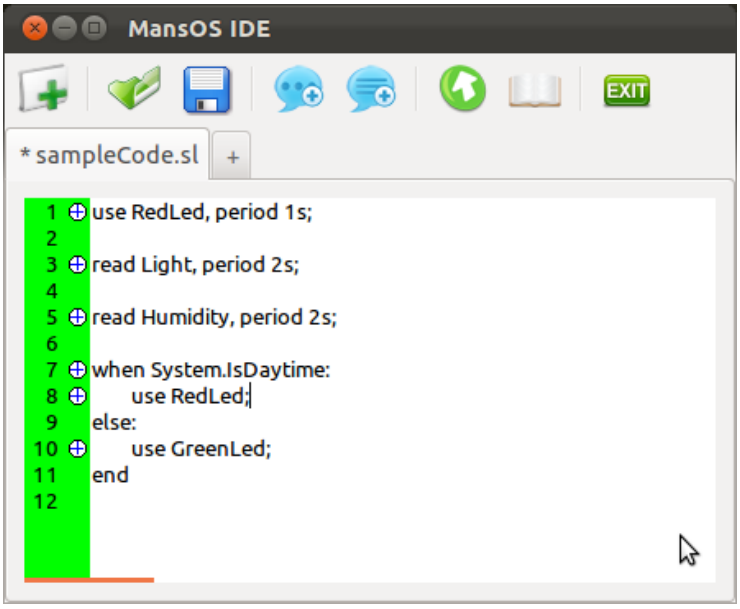


Att. 4.2: Izteikumu rediģēšana

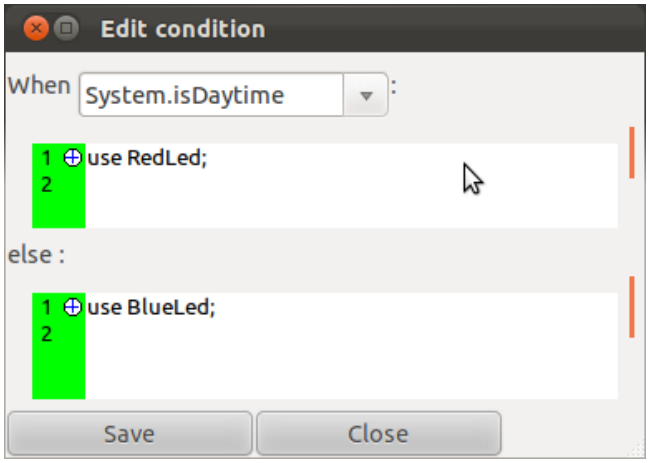
Pirmkārt, visi ievadi tika sadalīti pa teksta laukiem, kur nosacījumu loģika tika atdalīta no pārējās loģikas, jo katrs nosacījums atradās savā cilnē (Att. 4.2). Atverot koda cilni viss kods tika uzģenerēts un parādīts.

Šādai pieejai bija ļoti daudz trūkumu, sākot ar to, ka kods ir grūti pārskatāms un pieredzējušākiem lietotājiem šāds ievadīšanas veids varētu nebūt īpaši ērts. Šāda pieeja arī uzspiež lietotājam iepriekš definētu koda strukturēšanas pieeju un kā vēlāk noskaidrojās šāda pieeja nevar atbalstīt visas SEAL piedāvātās funkcijas, kā piemēram nosacījums nosacījumā.

Otrkārt, viss SEAL kods tomēr tika pārnests uz klasiskā izskata redaktoru vienā teksta laukā, kur katrai atpazītajai SEAL komandai malā atradās pluss, uz kura uzspiežot atvērās logs, kas ļāva rediģēt šo komandu izvēloties vajadzīgos parametrus (Att. 4.3 un Att. 4.4). Nosacījumi atvēra logu ar diviem teksta redaktoriem, kur viens atbildēja par when nosacījuma daļu, bet otrs par else daļu, jo šajā izstrādes stadijā SEAL valodai elsewhen nosacījuma daļa vēl nebija pievienota. Šajā logā pie when arī bija iespējams izvēlēties nosacījumu no vairākiem iepriekš piedāvātiem nosacījumiem (Att. 4.5). Šāds variants bija daudz labāks par iepriekšējo, bet tomēr likās, ka jauna loga veidošana katru reizi, kad gribas kaut ko rediģēt, nav īpaši ērta pieeja un vēl pastāvēja problēma,



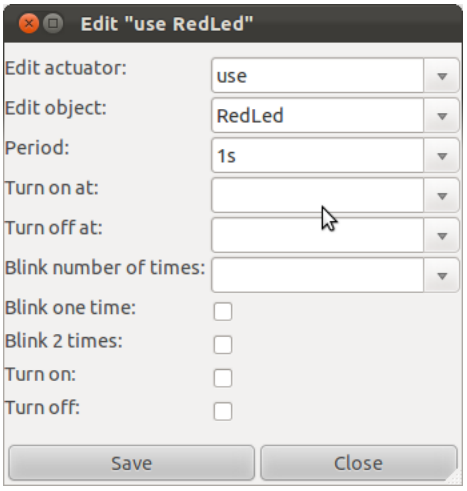
Att. 4.3: Nosacījuma izteikuma attēlošana IDE



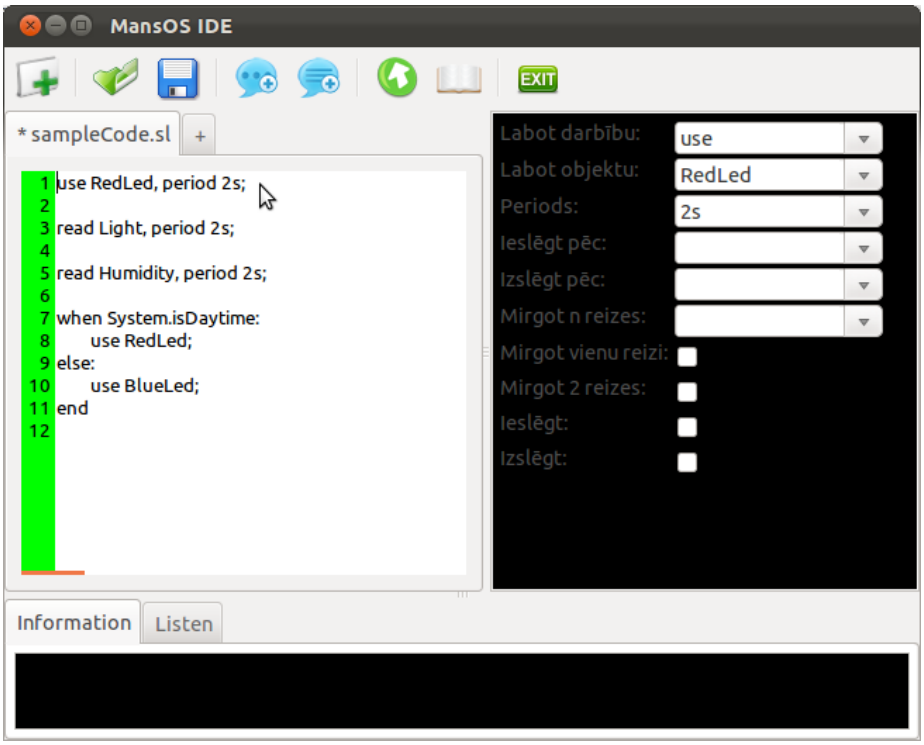
Att. 4.4: Nosacījuma izteikuma rediģēšana

ka, ja ir nosacījums, kurā ir nosacījums un šajā nosacījumā ir kāds apgalvojums, tad, lai to rediģētu nepieciešams atvērt trīs jaunus logus, šādā tempā samērā sarežģīta programma var kļūt ļoti neparocīga rediģēšanai lielā atvērto logu skaita dēļ.

Beigās nonācām pie secinājuma, ka labāks būtu variants, kad izvēles parādās blakus teksta redaktoram, ja kursors atrodas uz kādas no SEAL komandām (Att. 4.1). Jebkuras datu izmaiņas šajā izvēlnē uzreiz tiek atspoguļotas teksta redaktorā un otrādi. Šis variants liekas vispieņemamākais, jo atļauj lietotājam ātri un ērti pārslēgties starp dažādu apgalvojumu rediģēšanu, kā arī ļauj lietotājiem redzēt pieejamās komandas nemaz nepārslēdzoties uz citu logu,



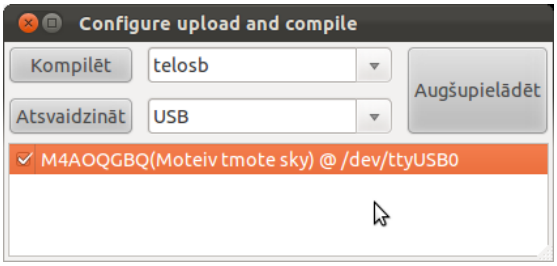
Att. 4.5: Komponenta lietojuma rediģēšana atsevišķā logā



Att. 4.6: Komponenta lietojuma rediģēšana galvenajā logā

jo rakstot kādu apgalvojumu, tikko tas tiks atpazīts, tā malā tiks parādīta izvēlne, bet lietotājs turpinot rakstīt varēs tikai apskatīties kādus parametrus tur piedāvā izvēlēties un ierakstīt tos pats, tādējādi ietaupot laiku.

4.3.6 Darbs ar sensoru mezgliem



Att. 4.7: Saraksts ar motēm, kuras pieejamas pārprogrammēšanai

Tā kā šīs sistēmas mērķauditorija ir cilvēki bez zināšanām datorikas nozarē, tad viņiem liels izaicinājums būtu kompilēt un augšupielādēt programmas izmantojot klasiskos paņēmienus, tāpēc MansOS IDE tika iekļautas iespējas kompilēt gan SEAL, gan MansOS kodu, kā arī augšupielādēt to izmantojot ērtu un saprotamu grafisko saskarni, kas piedāvā izvēlēties vēlamo kompilācijas platformu un vienu vai vairākus augšupielādes mērķus (Att. 4.7) Laika gaitā kompilēšanas un augšupielādēšanas paziņojumi tika integrēti ziņojumu sadaļā, kas atrodas zem teksta redaktora, un pievienotas pogas augšupielādēšanai un augšupielādēšanas uzstādījumu rediģēšanai, tādējādi ļaujot noklusētās augšupielādēšanas darbības veikt tikai ar vienu pogas spiedienu.

Jāpiebilst, ka sistēmā ir integrēts arī atbalsts MansOS piedāvātajai vairāku sensoru mezglu vienlaicīgai pārprogrammēšanai izmantojot bezvadu saziņas kanālus. Tas ļauj piemēram ātri pārprogrammēt visu bezvadu sensoru tīklu, bez vajadzības katru sensoru mezglu pieslēgt pie datora.

Tika iekļauta arī iespēja klausīties datus, ko sensoru mezgls sūta pa seriālo portu, tādējādi atvieglojot atkļūdošanas procesu (Att. 4.8).

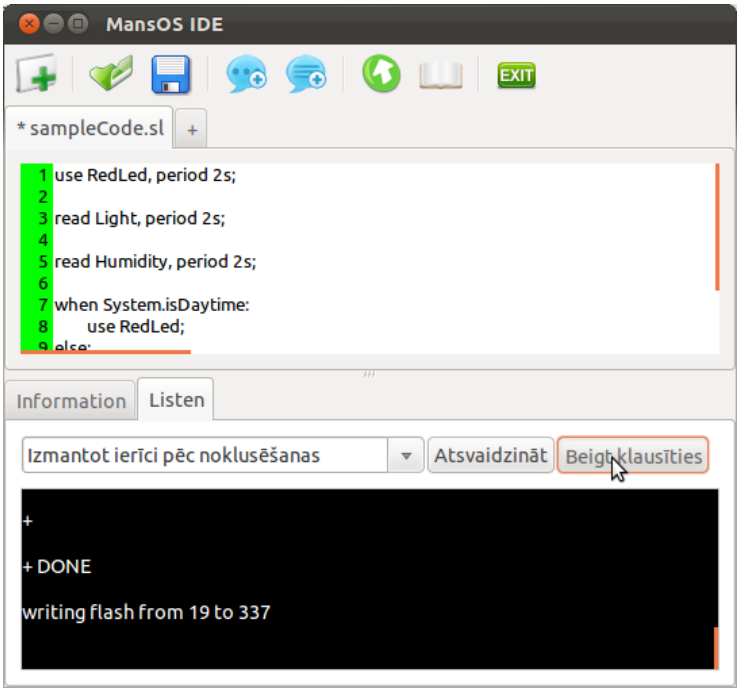
4.3.7 Nākotnes plāni

Tuvā nākotnē ir plānota SEAL interpretatora integrēšana MansOS IDE. Vēl padomā ir:

- koda izcelšana, gan MansOS, gan SEAL;
- sintakses kļūdu atpazīšana, skaidrošana un labošana;
- koda priekšā teikšana, t.i. lietotājam ir iespēja paprasīt, ko tālāk var rakstīt un izvēlēties vienu no vairākām iespējām;
- redaktora uzstādījumu rediģēšana, kas ļautu mainīt dažādus redaktora uzvedības un izskata aspektus.

4.4 Kopsavilkums un nākotnes perspektīvas

Kā nozīmīgu rezultātu atskaites periodā var minēt publikācijas “A User-Centric Approach to Wireless Sensor Network Programming Languages” iesūtīšanu seminārам “Third International Workshop on Software Engineering for Sensor



Att. 4.8: Motes pārprogramēšana ar IDE

Network Applications", kas norisināsies 2. jūnijā, Cīrihes Universitātē, Šveicē. Tajā ieskicēta valoda SEAL un īsi apkopota aiz tās stāvošā motivācija.

Vēl MansOS grupā šajā ceturksnī tika veikta:

- mūsu rezultātu prezentēšana starptautiskai auditorijai konferencē *European Conference on Wireless Sensor Networks 2012* (EWSN 2012);
- SEAL valodas pilnveidošana un koda ģeneratora izstrāde;
- SEAL valodas gramatikas nofiksēšana EBNF formātā;
- SEAL testēšanas programmu izveide;
- eksperimentāla daļēja SEAL koda ģeneratora izveide Contiki videi;
- MansOS grafiskās izstrādes vides (IDE) pilnveidošana;
- jaunas MansOS tīmekļa vietnes izveide;
- Mikrokontroliera MSP430F2252 atbalsta pievienošana, t.sk. 10 bitu ADC un USCI atbalsts;
- Radio transcīvera CC1101 atbalsta pievienošana;
- Texas Instruments MSP430 Launchpad platformas atbalsta pievienošana;
- MinGW vides atbalsta pievienošana;
- Virtualbox virtuālā datora instances izveide ātrai un ērtai MansOS lietošanas uzsākšanai.

Literatūra

[1] CC1101 Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver (Rev. G). http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf. [Online; accessed 30.03.2012.].

[2] Code::Blocks webpage. http://www.codeblocks.org/.

[3] Eclipse webpage. http://www.eclipse.org/downloads/moreinfo/classic.php.

[4] GNU Emacs webpage. http://www.gnu.org/software/emacs/.

[5] makeSense Project. http://www.project-makesense.eu.

[6] MinGW: Minimalist GNU for Windows. http://www.mingw.org/. [Online; accessed 30.03.2012.].

[7] MSP-EXP430G2 LaunchPad Quick Start Guide (Rev. A). http://www.ti.com/lit/ml/slac432a/slac432a.pdf. [Online; accessed 30.03.2012.].

[8] MSP430F22x2, MSP430F22x4 Mixed Signal Microcontroller (Rev. F). http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f2274.pdf. [Online; accessed 30.03.2012.].

[9] L. Bai, R. Dick, and P. Dinda. Archetype-based design: Sensor network programming for application experts, not just programming experts. In *Proceedings of the 2009 International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, pages 85–96. IEEE Computer Society, 2009.

[10] A. Elsts, J. Judvaitis, and L. Selavo. Poster abstract: Seal: An easy-to-use sensor node application development system.

[11] L. Mottola and G. P. Picco. Programming wireless sensor networks: Fundamental concepts and state of the art. *ACM Comput. Surv.*, 43(3):19:1–19:51, Apr. 2011.

[12] G. Strazdins, A. Elsts, and L. Selavo. Mansos: easy to use, portable and resource efficient operating system for networked embedded devices. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, SenSys '10, pages 427–428, New York, NY, USA, 2010. ACM.

Nodaļa 5

`SAntArray` grupas atskaite

Anotācija

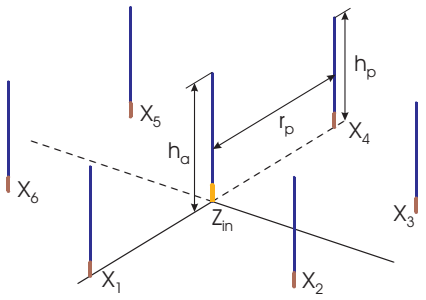
`SAntArray` grupas mērķis ir izveidot vienkāršu antenu ar elektroniski vadāmu virziendarbību. Šajā atskaitē aprakstīta antenas ieejas pretestības salagošana ar standarta 50 Ω viļņvadu izmantojot "T" veida slēgumu.

5.1 Ievads

Iepriekšējās atskaitēs [1, 2] aprakstīta septiņu elementu `ESPAR` antena ar elektronisko slēdzu vadību, kuras skice dota 5.1. zīmējumā. Dots tās konstrukcijas apraksts, aprēķinaātas kā arī nomērītas virziendarbības diagrammas dažādām vadības slēdzu kombinācijām. Līdz šim netika apskatīts kā mainās antenas ieejas pretestība Z_{in} atkarībā no vadības slēdzu kombinācijām.

Antenas ieejas pretestības tika novērtētas izmantojot `NEC2` programmu [3]. Tabulā 5.1 apskatītas 4 dažadas antenas, kas atšķiras ar pasīvā elementa garumu h_p un vadības pretestību X_i vērtībām, kas atkarībā no atbilstošā slēdža stāvokļa var būt vai nu Z_0 vai arī Z_1. Visos gadījumos antenas aktīvā elementa garums ir $h_a = 0.238\,\lambda$ un attālums no aktīvā elementa līdz pasīvajam elementam

Att. 5.1: Septiņu elementu `ESPAR` antenas skice



h_p Z_0 Z_1	0.220 λ open short	0.240 λ open short	0.250 λ open short	0.238 λ open (0.0-3.0j) Ω
`[0,0,0,0,0,0]`	(33.7+13.2j) Ω	(31.9+13.3j) Ω	(30.9+13.4j) Ω	(32.0+13.3j) Ω
`[1,1,1,1,1,1]`	(5.9+33.3j) Ω	(2.4+42.4j) Ω	(1.6+47.2j) Ω	(3.0+40.0j) Ω
`[1,0,1,0,1,0]`	(5.4+35.7j) Ω	(6.3+63.8j) Ω	(20.0+78.9j) Ω	(3.5+55.4j) Ω
`[1,0,0,1,0,0]`	(15.9+47.4j) Ω	(51.4+52.0j) Ω	(57.0+38.6j) Ω	(43.6+57.0j) Ω
`[1,0,1,1,0,1]`	(6.9+37.2j) Ω	(7.7+55.4j) Ω	(13.3+64.6j) Ω	(6.4+50.5j) Ω
`[1,0,0,0,0,0]`	(33.7+27.7j) Ω	(38.6+23.5j) Ω	(38.3+21.2j) Ω	(37.9+24.7j) Ω
`[1,0,0,0,0,1]`	(29.2+31.0j) Ω	(34.8+31.2j) Ω	(36.2+29.8j) Ω	(33.4+31.5j) Ω
`[1,1,0,0,0,1]`	(22.2+37.8j) Ω	(30.3+40.0j) Ω	(33.1+39.3j) Ω	(28.4+39.7j) Ω
`[0,1,1,1,1,0]`	(12.5+39.5j) Ω	(20.5+49.6j) Ω	(25.5+51.6j) Ω	(18.2+47.7j) Ω
`[0,1,1,1,1,1]`	(5.9+34.7j) Ω	(4.6+48.4j) Ω	(6.3+55.0j) Ω	(4.4+44.9j) Ω
`[0,1,0,0,0,1]`	(19.8+38.9j) Ω	(38.0+46.9j) Ω	(45.2+41.8j) Ω	(32.8+47.2j) Ω
`[1,0,1,1,1,0]`	(5.7+35.4j) Ω	(6.1+55.5j) Ω	(12.3+65.2j) Ω	(4.6+50.1j) Ω
`[1,1,0,1,0,0]`	(12.1+41.0j) Ω	(26.1+57.8j) Ω	(37.5+58.4j) Ω	(20.9+54.9j) Ω

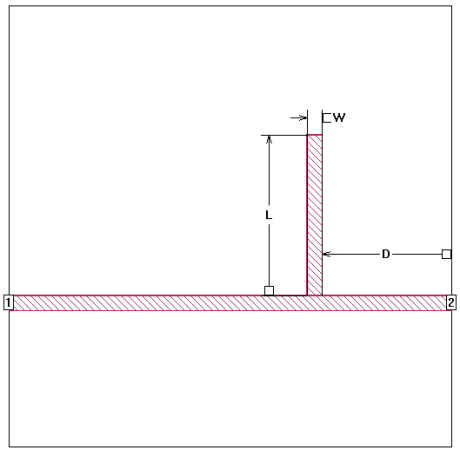
Tabula 5.1: Septiņu elementu `ESPAR` antenas ieejas pretestības novērtējums dažādām vadības slēdzu kombinācijām `[xxxxxx]`. Visos gadījumos $r_p = 0.25\,\lambda$ un $h_a = 0.238\,\lambda$.

r_p	0.250 λ	0.500 λ	0.750 λ	1.000 λ
`[0,0,0,0,0,0]`	(32.0+13.3j) Ω	(48.7+16.0j) Ω	(40.4+11.4j) Ω	(44.7+14.8j) Ω
`[1,1,1,1,1,1]`	(2.6+41.5j) Ω	(29.8-60.5j) Ω	(27.9+48.7j) Ω	(42.5+2.0j) Ω
`[1,0,1,0,1,0]`	(4.9+60.4j) Ω	(41.0-2.1j) Ω	(34.5+20.1j) Ω	(45.8+4.0j) Ω
`[1,0,0,1,0,0]`	(48.7+54.5j) Ω	(48.3+2.8j) Ω	(36.5+19.7j) Ω	(45.8+9.4j) Ω
`[1,0,1,1,0,1]`	(7.1+53.4j) Ω	(45.2-19.1j) Ω	(32.2+31.4j) Ω	(44.7+4.9j) Ω
`[1,0,0,0,0,0]`	(38.5+24.1j) Ω	(49.2+8.4j) Ω	(39.2+15.5j) Ω	(45.6+12.0j) Ω
`[1,0,0,0,0,1]`	(34.4+31.5j) Ω	(56.8-3.6j) Ω	(40.4+21.6j) Ω	(45.5+9.8j) Ω
`[1,1,0,0,0,1]`	(29.6+40.0j) Ω	(61.9-18.4j) Ω	(40.6+27.0j) Ω	(45.3+7.2j) Ω
`[0,1,1,1,1,0]`	(19.6+49.0j) Ω	(59.7-32.9j) Ω	(37.9+33.5j) Ω	(44.6+5.3j) Ω
`[0,1,1,1,1,1]`	(4.5+47.0j) Ω	(47.5-41.6j) Ω	(32.7+38.9j) Ω	(43.7+3.0j) Ω
`[0,1,0,0,0,1]`	(36.1+47.3j) Ω	(46.0+1.7j) Ω	(37.0+18.3j) Ω	(46.1+8.4j) Ω
`[1,0,1,1,1,0]`	(5.4+53.4j) Ω	(49.4-18.1j) Ω	(34.8+29.1j) Ω	(44.8+3.7j) Ω
`[1,1,0,1,0,0]`	(23.9+56.9j) Ω	(49.9-8.2j) Ω	(35.9+25.0j) Ω	(45.5+6.8j) Ω

Tabula 5.2: Septiņu elementu `ESPAR` antenas ieejas pretestības novērtējums dažādām vadības slēdzu kombinācijām `[xxxxxx]`. Visos gadījumos $h_a = h_p = 0.238\,\lambda$, kā arī Z_0 =short, Z_1 =open.

$r_p = 0.25\,\lambda$. Savukārt tabulā 5.2 apskatītas 4 dažadas antenas, kas atšķiras ar attālumu no aktīvā elementa līdz pasīvajam elementam r_p. Šeit visos gadījumos $h_a = h_p = 0.238\,\lambda$, kā arī Z_0 atbilst īsslēgtam pasīvajam elementam bet Z_1 nepieslēgtam, vaļējam.

Apskatot skaitliskās vērtības, varam secināt ka tās ir dažādas un reizēm ievērojami atšķiras no standarta 50 Ω viļņvadu pretestības. Tabulā 5.2 redzam, ka palielinoties r_p antenas ieejas pretestību vērtības klūst samērā vienādas. Diemžēl šādam antenām nav praktiskas vērtības, jo to virziendarbības diagrammas atkarībā no vadības slēdžu kombinācijas mainās ļoti maz. Labi vadāmai antenai pasīvajiem elementiem jāatrodas "dziļi" tuvajā laukā kā rezultātā ievērojami mainās antenas ieejas pretestība.



Att. 5.2: Spiestās plates celiņu "T" veida slēguma modelis `Sonnet Lite` programmā.

Šajā atskaitē aprakstīts, kā salāgot antenas ieejas pretestību ar standarta 50 Ω viļņvadu izmantojot spiestās plates celiņus "T" veida slēgumā. Viekti vienkāršoti teorētiski aprēkini slēguma geometrisko parametru orientējošo vērtību atrašanai kā arī veikta atbilstošās konstrukcijas skaitliskā modelēšana izmantojo `Sonnet Lite` programmatūru [6].

5.2 Saistītie risinājumi

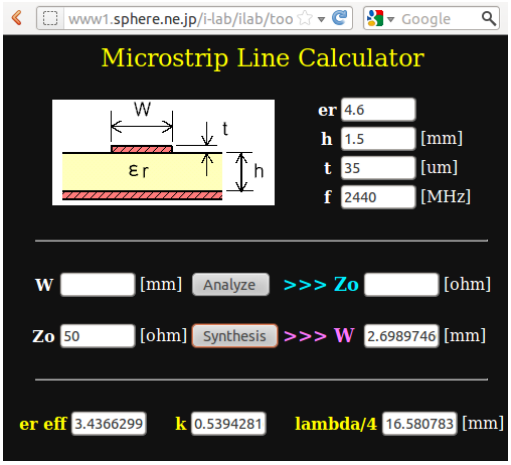
Apskatot `ESPAR` antenām veltīto visai plašo literatūru, var secināt, ka antenas salāgošanaa ar standarta 50 Ω viļņvadu tiek risinatas trīs dažados veidos. Lai arī cik tas dīvaini neliktos, lielākā daļa autoru par šai problēmai nepievēršas, tādējādi zaudējot reizēm ievērojamu antenas pastiprinājuma daļu. To varētu izskaidrot tā, ka šīs antenas domātas raidītāja virziena noteikšanai un tāpēc galvenā nepieciešamā to īpašība ir dažadas starojuma virziendarbības, savukārt antenas pastiprinājums nav tik svarīgs. Ir darbi, kur antena tiek salāgota. Interesants risinājums izmantots [4], kur `ESPAR` antenas vadības X_i tiek meklētas tā lai atrastu kompromisu starp antenas pastiprinājumu un tās salagotību ar standarta 50 Ω viļņvadu. Tāpēc, mainot antenas ģeometriju un X_i vērtības tiek maksimizēta sekojoša mērķa funkcija

$$\text{FitnessFunction} = \left(1 - |S_{11}|^2\right) D \tag{5.1}$$

Šeit D ir antenas pastiprinājums tā maksimālajā virzienā, bet izteiksme $\left(1 - |S_{11}|^2\right)$ dod jaudas zudumu antenas nesalāgotības dēļ.

5.3 Risinājums

Spiestās plates celiņu "T" veida slēguma modelis dots 5.2. attēlā. Slēguma elektriskās īpašības nosaka trīs ģeometriskie parametri:



ε_r	W, mm	k	0.25λ, mm
4.3	2.84	0.554	17.1
4.4	2.79	0.549	16.9
4.5	2.74	0.544	16.7
4.6	2.69	0.539	16.6
4.7	2.65	0.535	16.4

Att. 5.3: `FR-4` tekstolīta spiestās plates līnijas platums W, kas atbilst viļņu pretestībai 50 Ω. Aprēķins veikts izmantojot [7].

W: atzara platums

L: atzara garums

D: atzara attālums no slodzes pieslēguma vietas, kas attēlā apzīmēta ar 2.

Galvenā celiņa platums ir izvelēts tāds, lai tā viļņu pretestība būtu 50 Ω. Tad, pareizi izvēloties W, L un D vērtības, ķēdes ieejas pretestība pieslēguma vietās, kas attēlā apzīmēta ar 1, būs 50 Ω. Lai atvieglotu mezgla izgatavošanu, ari atzars būs tieši tikpat plats. Saksim ar šā platuma atrašanu.

Mezgls tiks izgavosim no `FR-4` tekstolīta ar biezumu $1.5\,mm$. Izmantojot kalkulatoru [7], atrodam cik plata līnija atbilst viļņu pretestībai 50 Ω. Aprēķinu rezultāti doti 5.3. attēla tabulā. Tā kā `FR-4` ražo ar samērā lielu parametra ε_r izkliedi, tabulā apkopoti rezultāti vairākām šā parametra vērtībām. Kā redzams, gan celiņa platums W gan arī tāda celiņa garums, kas atbilst ceturtdaļvilnim, aplūkotajās parametra ε_r robežās mainās tikai par dažām milimetra desmitdaļām. Tāpēc tālāk lietosim celiņa platumu $W = 2.7\,mm$, kas atbilst $\varepsilon_r = 4.6$.

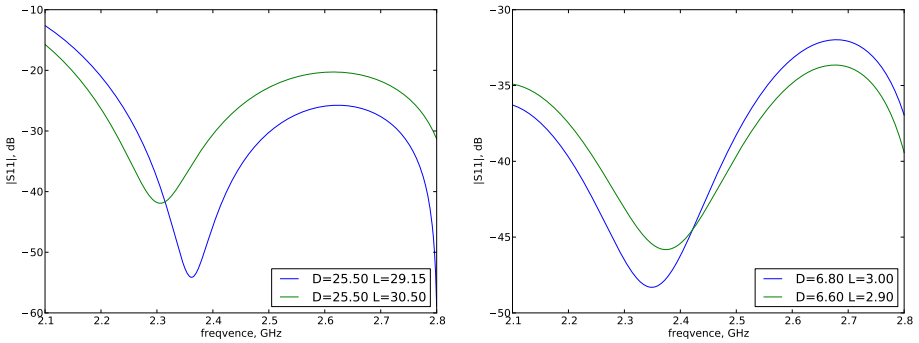
Lai noskaidrotu `Sonnet Lite` aprēķinu pielietojamības robežas, darbu pirmajā posmā lietderīgi veikt salāgošanu ar zināmu slodzi:

- Aprēķināt salāgošans mezglu izvēlētai slodzes pretetībai
- Izmantojot aprēķinātās L un D vērtības izgatavot salāgošanas mezglu, tā izejas spraudni aizstājot ar rezistoru vai rezistora un kondensatora paralēlslēgumu. Šadi konstruētu slodzi ļauj izvelēties `Sonnet Lite` programmatūra.
- Veikt mezgla atstarošanas koefienta $|S_{11}|$ mērījumus un salīdzināt ar aprēķinātajiem

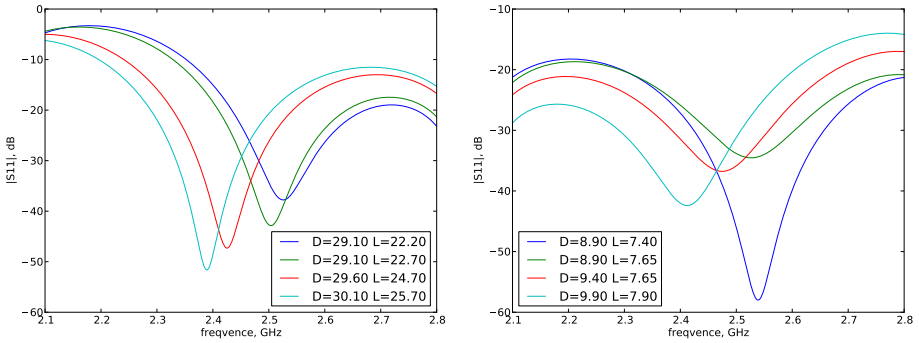
Eksperimentiem izmantosim divas dažādas slodzes: vienu aktīvu $39\,\Omega$ izmantojot tikai rezistoru, otru reaktīvu izmantojot rezistora un kondensatora

Z_L Ω	L		D	
	λ	mm	λ	mm
39	0.461	30.5	0.385	25.5
	0.039	2.6	0.115	7.6
25.8-18.5j	0.388	25.7	0.478	31.6
	0.112	7.4	0.164	10.9

Tabula 5.3: Aprēķinātie salāgošanas mezgla parametri



Att. 5.4: Aprēķinātie atstarošanas koeficienti ķēdei ar slodzi $Z_L = 39\,\Omega$ dažādām "T" mezgla ģeometrisko parametru D un L kombinācijām. $W = 2.7\,mm$



Att. 5.5: Aprēķinātie atstarošanas koeficienti noslogotai ar $R = 39\,\Omega$ un $C = 1.2$ pF paralēlslēgumu dažādām "T" mezgla ģeometrisko parametru D un L kombinācijām. $W = 2.7\,mm$

paralelslēgumu. Otrās slodzes kompleksā pretestība $2.44\,GHz$ frekvencei ir $25.8 - 18.5j\,\Omega$. Izmantojot [5] dotās formulas, varam aprēķināt "T" savienojuma geometrisko parametru D un L orientējošas vērtības. Rezultāti apkopti 5.3. tabulā. Kā redzams, katru no slodzēm var salāgot divos dažādos veidos.

Aprēķināto D un L vērtību apkārtnē tika veikts liels skaits aprēķinu ar `Sonnet Lite` programmu. Labākie no iegūtajiem rezultātiem apkopoti 5.4. un 5.5. zīmējumos.

5.4 Kopsavilkums un secinājumi

- Ir izstrādāts spiestās plates celiņus "T" veida slēgumā modelis lietošanai ar `Sonnet Lite` programmatūru.
- Veikti atstarošanas koeficienta $|S_{11}|$ aprēkini atkarībā parametru D un L izvēles un atlasītas labākās to kombinacijas.
- Optimālās D un L parametru vērtības ir nedaudz mazākas par tām, ko dod aprēķini izmantojot formulas no [5].

5.5 Nākotnes perspektīvas

Nākošais uzdevums ir veikt atstarošanas koeficienta mērījumus izgatavotajiem salāgošanas mezgliem ar doto slodzes pretestību un salīdzināt mērījumus ar aprēķinātajiem. Pēc tam jāveic antenas ieejas pretestības mērījumi, jāaprēķina un jāizgatavo atbilstoši salāgošanas mezgli.

Literatūra

[1] Projekta "Viedo sensoru un tīklotu iegulto sistēmu pētījumu un attīstības centrs" pārskats Nr. 3, Oktobris 2011.

[2] Projekta "Viedo sensoru un tīklotu iegulto sistēmu pētījumu un attīstības centrs" pārskats Nr. 4, Decembris 2011.

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

[4] J. Lu, D. Ireland, and R. Schlub. Dielectric embedded ESPAR (DE-ESPAR) antenna array for wireless communications. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 53:2437–2443, 2005.

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

[6] Sonnet lite. `http://www.sonnetsoftware.com/products/lite/`.

[7] Microstrip line calculator. `http://www1.sphere.ne.jp/i-lab/ilab/tool/ms_line_e.htm`.

Nodaļa 6

SenSigA grupas atskaite

Anotācija

Lai efektīvi iegūtu un apstrādātu EEG signālus, ir izveidots prototips daudzkanālu EEG datu iegūšanas sistēmai, kas sastāv no vairākiem uz galvas izvietojamiem sensoriem. Katrs sensors satur EEG signāla pastiprinātāju, asinhrono sigma delta modulatoru (ASDM) un 434 MHz OOK bezvadu raidītāju. Pirmais sensora prototips ir uzprojektēts un izgatavots, izmantojot trīs spiestās plates, kuru kopējais izmērs ir 16x11 mm (cilindriska forma). Izmantojot superheterodīna uztvērēju, pārraidītajam signālam tiek samazināta nesējfrekvence, kas atvieglo kodētā signāla ciparapstrādi EEG signāla atjaunošanai.

6.1 Ievads

Neirozinātnē, elektroencefalogrāfija ir bieži lietota cilvēka smadzeņu aktivitāšu mērīšanas tehnika. Izmantojot speciālus elektrodus, kas izvietoti noteiktās pozīcijās, ir iespējams iegūt informāciju par cilvēka smadzeņu neirālajām funkcijām un neiropsiholoģiskajām īpašībām jeb cilvēka sajūtām, kustībām un psihi. Pasaulē ir pieejamas dažādas sistēmas, kurās lietojot EEG signālus, iespējama citu vadības ierīču kontrole ar domu "spēku". Šādas ierīces sauc par domu jūtīgām saskarnēm (BCI) [1], [2], [3].

Mūsdienās arvien biežāk par pētniecības virzienu tiek izvēlēts BCI. Nav šaubu, ka BCI izpēte ir mūsu nākotne, tāpēc ir ļoti svarīgi šo nozari attīstīt. Laika gaitā ir izveidotas vairākas EEG datu iegūšanas sistēmas ([4], [5]), bet tām ir vairāki trūkumi un nepilnības. Šādu sistēmu būtiskākais kritērijs ir maksimāli efektīvi ierakstīt, apstrādāt un pārraidīt EEG signālus. Lielākoties šādas BCI sistēmas ir veidotas, izmantojot vienmērīgas diskretizācijas datu savākšanas metodes, bet datu pārraidei tiek lietoti speciāli vadi, pie tam, signāla apstrādes sistēmas ir relatīvi lielas un atrodas attālināti no cilvēka. Tāpēc mūsu mērķis ir izveidot maksimāli mazus uz galvas izvietojamus sensorus (katram kanālam viens sensors), kas saturētu signālu ieguves, apstrādes un bezvadu datu pārraides daļas ar zemu enerģijas patēriņu, turklāt, pateicoties bezvadu tehnoloģijai, cilvēku kustības netiktu ierobežotas.

Lai sasniegtu izvirzītos mērķus, izveidotajā

sistēmā tiek lietota nevienmērīgas diskretizācijas metode (Asinhronais Sigma-Delta modulators (ASDM)) signālu analogs-ciparu pārveidošanai (ACP). Ņemot vērā, ka BCI sistēmām svarīgi ir minimizēt enerģijas patēriņu, tad ASDM pielietojums tām ir labi piemērots, jo šajā gadījumā signālu pārveidošanai nav nepieciešams takts ģenerators (*clock*), kura neesamība samazina ne tikai enerģijas patēriņu, bet arī ierīces izmērus, kā arī novērš elektromagnētisko viļņu interferences problēmas un *clock* frontes drebēšanu.

Bezvadu datu pārraidei tiek izmantota On-Off Keying (OOK) manipulācijas tehnika. Tās priekšrocības ir: vienkārša arhitektūra, laba veiktspēja attiecībā uz starpkanālu interferenci, noturība pret vibrācijām un galvenais kritērijs - realizējama mazos izmēros, kas nepieciešams, lai izveidotu mazu uz galvas izvietojamu sensoru.[6]

Pārraidītā signāla uztveršanai tiek lietots superheterodīna uztvērējs. Rezultātā 434 MHz signāls tiek pārnests uz zemākām frekvencēm, kas atvieglo turpmāko signāla ciparapstrādi, izmantojot *Matlab* datorprogrammu.

6.2 EEG signāla iegūšana, apstrāde un bezvadu datu pārraide

Izveidotā EEG datu iegūšanas sistēma sastāv no vairākām daļām (6.1.attēls): EEG signāla diferenciālā pastiprinātāja, kas signālu pastiprina ∼10 000 reizes, Asinhronā Sigma-Delta modulatora, kas tiek lietos signāla kodēšanai, On-off keying raidītāja bezvadu datu pārraidei, superheterodīna uztvērēja augstfrekvences signāla frekvences samazināšanai un ciparu signālu apstrādes, kas ietver filtrēšanu un sākotnējā EEG signāla atjaunošanu. Nākamajās apakšnodaļās detalizētāk tiks aprakstītas katra no šīm daļām.

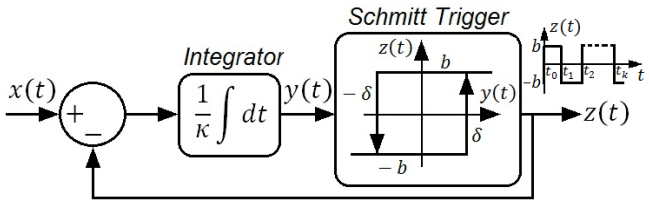


Att. 6.1: Viena kanāla blokshēma

6.2.1 Datu iegūšana un kodēšana, lietojot Asinhrono Sigma-Delta modulatoru

Vispirms, detektētais EEG signāls tiek pastiprināts, izmantojot diferenciālo priekšpastiprinātāju ar augstu sinfāzo trokšņu nospiešanas koeficientu (CMRR ∼120dB). Ķēdei ir maināms pastiprinājums, un tā ietver arī filtrāciju un atgriezenisko saiti uz cilvēka ķermeni (RLD). Pēc signāla pastiprināšanas no ∼10-100μV uz 100-1000mV tā kodēšanai tiek lietots ASDM.

Tā kā ASDM pārveidojuma rezultātā signāla amplitūdas informācija tiek konvertēta uz laika informāciju, tad ASDM pieder pie laika kodēšanas mehānismu (TEM) klases [7]. ASDM darbības princips ir salīdzinoši vienkāršs (blokshēma parādīta 6.2.attēlā). Tas sastāv no integratora, neinvertējošā Šmita trigera un negatīvas atgriezeniskās saites, kur κ, δ un b ir ķēdes parametri, bet



Att. 6.2: ASDM blokshēma

ieejas signāls ir ierobežots pēc amplitūdas sekojoši:

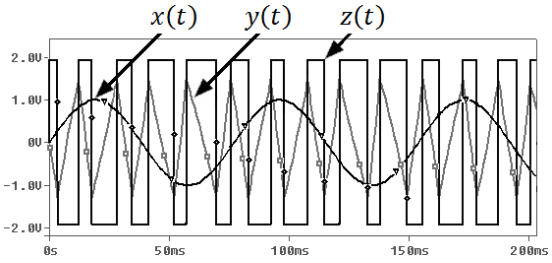
$$|x(t)| \leq c < b \tag{6.1}$$

Kā redzams 6.3.attēlā, $z(t)$ ir divas vērtības: b vai $-b$ ($z(t) = (-1)^{k+1}b$), tāpēc integratora ieejā ir vai nu $x(t)+b$ vai $x(t)-b$. No tā seko, ka integratora izeja $y(t)$ ir vai nu augoša, vai dilstoša funkcija, un $y(t_k) = (-1)^k\delta$, kur $t \in [t_k, t_{k+1}]$. No blokshēmas izriet, ka visiem k, $k \in Z$:

$$\int_{t_k}^{t_{k+1}} x(t)dt = (-1)^k[-b(t_{k+1}-t_k) + 2k\delta], \tag{6.2}$$

un attālums starp sekojošiem trigera pārslēgšanās momentiem t_k un t_{k+1} ir ierobežots gan no augšas, gan apakšas:

$$\frac{2k\delta}{b+c} \leq t_{k+1} - t_k \leq \frac{2k\delta}{b-c} \tag{6.3}$$



Att. 6.3: ASDM ieejas un izejas signāli

Kodēto signālu var perfekti atjaunot no laika secības t_k, lietojot laika dekodēšanas mehānismu (Time Decoding Machine (TDM)), kas aprakstīts avotā [8]. Ja pieņem, ka t_k, $k \in Z$, ir augoša laika secība, tad atjaunotā signāla $x(t)$ reprezentācija ir sekojoša:

$$x(t) = \sum_{l \in Z} c_l g(t - s_l), \tag{6.4}$$

kur

$$g(t) = \frac{\sin(\Omega t)}{\pi t} \tag{6.5}$$

ir ideāla zemfrekvences filtra (Ω - nogriešanas frekvence) impulsa reakcija un $s_l = \frac{t_k + t_{k+1}}{2}$, bet c_l ir nezināmi koeficienti. Ievietojot (6.4) izteiksmē (6.2), tiek iegūts vienādojums

$$\sum_{l \in Z} c_l \int_{t_k}^{t_{k+1}} g(t - s_l)dt = (-1)^k (2k\delta - b(t_{k+1} - t_k)), \tag{6.6}$$

no kura izriet nezināmo koeficientu aprēķina izteiksme $\mathbf{c} = \mathbf{G}^+\mathbf{q}$ ar vektora $\mathbf{q}$ un matricas $\mathbf{G}$ elementiem

$$[q]_k = (-1)^k (2k\delta - b(t_{k+1} - t_k)) \tag{6.7}$$

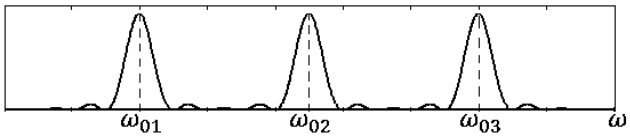
$$[G]_{k,l} = \int_{t_k}^{t_{k+1}} g(t - s_l)dt \tag{6.8}$$

6.2.2 On-Off keying bezvadu datu pārraide

Pēc EEG signāla pastiprināšanas un laika kodēšanas, tiek lietots 434 MHz (ISM frekvenču joslā) OOK raidītājs katras ASDM izejas $z_n(t)$ bezvadu pārraidei. Seko, ka pirmā kanāla pārraidīto signālu $s_1(t)$ var rakstīt šādi:

$$s_1(t) = z_1(t) \cdot cos(\omega_0 t) = \frac{1}{2} z_1(t) \cdot (e^{j\omega_0 t} + e^{-j\omega_0 t}), \tag{6.9}$$

kur ω_0 ir nesējfrekvence, kas katram kanālam ir atšķirīga (ω_{01}, ω_{02}, ω_{0n} (6.4.attēls)). Ja pieņem, ka EEG signāla maksimālā frekvence ir 100 Hz, tad no (6.3) izriet maksimālais attālums 5 ms starp trigera pārslēgšanās momentiem t_k un t_{k+1}.



Att. 6.4: Trīs kanālu izvietojums frekvenču apgabalā

Izvēloties atbilstošus ASDM parametrus (κ, δ un b), var aprēķināt minimālo attālumu starp trigera pārslēgšanās momentiem un līdz ar to arī pārraidītā signāla joslas platumu. Ja ASDM parametrus izvēlas tā, lai minimālais attālums $T = t_{k+1} - t_k$ būtu 1 ms, tad spektra joslas platumu vienam kanālam var aprēķināt sekojoši [9]:

$$\Delta F = \frac{20,4}{T} \approx 20\text{kHz}, \tag{6.10}$$

kas satur 99% signāla enerģijas. Tāpēc teorētiski ISM joslā iespējama līdz pat 85 kanālu pārraide.

6.2.3 Signāla uztveršana, apstrāde un atjaunošana

Sistēmas nākošā daļa sastāv no signāla uztveršanas, apstrādes un atjaunošanas. Uztverto signālu var rakstīt kā summu no visu kanālu signāliem:

$$s_r(t) = \sum_{n=1}^{N} z_n(t) \cdot cos(\omega_n t) \tag{6.11}$$

Tālak, mēs lietojam superheterodīna uztvērēju, lai no uztvertā signāla $s_r(t)$ iegūtu starpfrekvenci (IF), kuru ir vieglāk apstrādāt nekā 434MHz nesējfrekvenci. Seko, ka superheterodīna izeju s_{IF} var pierakstīt šādi:

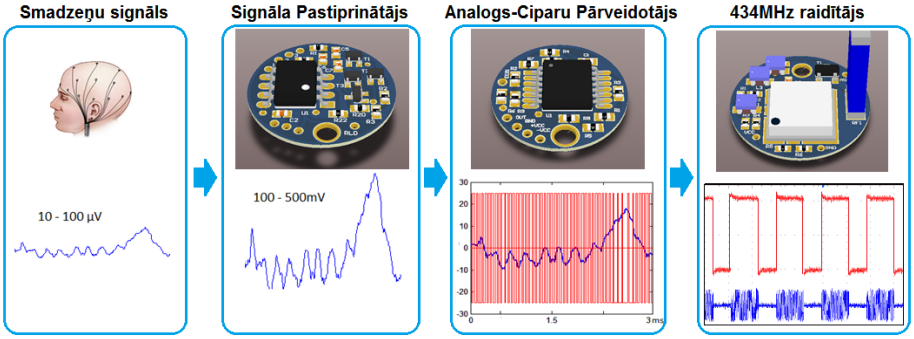
$$s_{IF}(t) = s_r(t) \cdot cos(\omega_0 t), \tag{6.12}$$

kur ω_0 ir maināma frekvence.

Iegūtais IF signāls tiek ielasīts datorā, izmantojot *ATS460* 14-bitu, 125 MS/s ciparotāju. Turpmākā signāla apstrāde tiek veikta ar *Matlab* datorprogrammu. Vispirms, katrs no kanāliem $s_{IF1}, s_{IF2}...s_{IFn}$ tiek izfiltrēts un apstrādāts, atrodot apliecēju ar mērķi iegūt pārraidītā signāla $z(t)$ laika secību t_k.

6.3 Eksperimentālie rezultāti

EEG datu iegūšanas sensors, kas sastāv no 3 spiestajām platēm: EEG pastiprinātāja, ASDM un raidītāja, ir izprojektēts un izgatavots cilindriskā formā – 16x11 mm izmērā. Datu iegūšana, izmantojot izveidoto sensoru, ir parādīta 6.5.attēla blokshēmā, kur iegūtais EEG signāls sākotnēji tiek pastiprināts, tad kodēts un visbeidzot pārraidīts, izmantojot 434 MHz OOK raidītāju.



Att. 6.5: EEG datu iegūšanas blokshēma

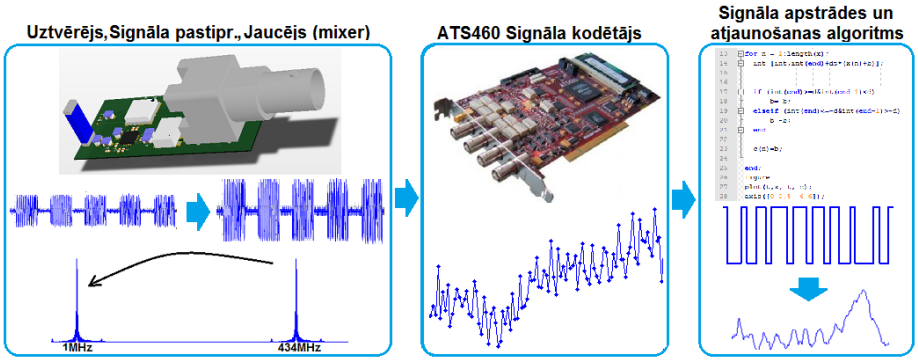
Priekš eksperimentālajiem pētījumiem ir izveidots sensors tādā izmērā, lai to būtu iespējams novietot tieši uz elektroda virsmas. Visu sensoru kopējais barošanas avots ir ±5 V baterijas.

Signāla uztverošā un apstrādes daļa, kas ietver superheterodīna uztvērēju (jaucēju), ATS460 signāla ciparotāju un signāla apstrādes algoritmus (*Matlab*) ir parādīta 6.6.attēlā.

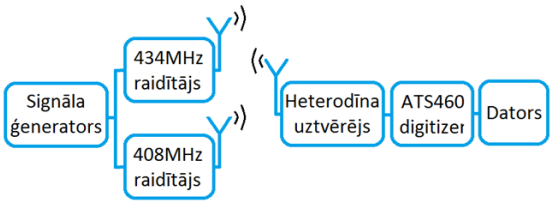
Lai novērtētu sistēmas veiktspēju, balstoties uz apsvērumiem, kas apskatīti 6.2.nodaļā, tika veikti vairāki eksperimenti, kuros par testa signāliem tika izmantoti meandrs vai sinuss (200 Hz).

Lai pārliecinātos, ka ir iespējams no vairākiem sensoriem vienlaicīgi pārraidīt un uztvert vairākus $s_n(t)$ signālus, kas ļautu uztverošajā daļā atjaunot ASDM izejas signālu $z_n(t)$ trigera pārslēgšanās laika momentus t_k, ir izveidots eksperimentālais makets, kura blokshēma parādīta 6.7.attēlā.

Eksperimentu realizācijai par testa signālu tiek izvēlēts 500 Hz meandrs (imitē divas ASDM izejas $z_1(t)$ un $z_2(t)$), kas tiek pievadīts diviem

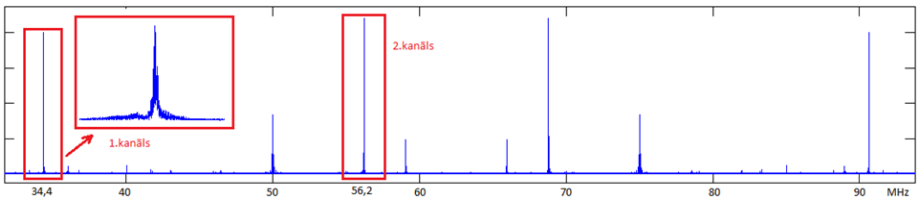


Att. 6.6: Signāla uztveršanas un apstrādes blokshēma



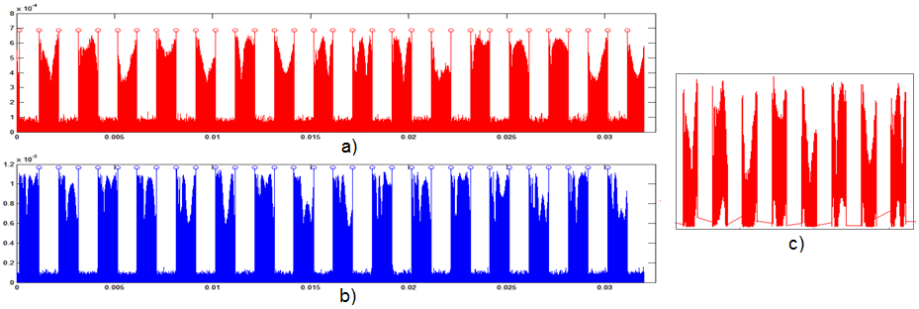
Att. 6.7: Eksperimenta blokshēma

OOK raidītājiem ar dažādām nesēj frekvencēm (434 MHz un 408 MHz). Uztverošajā daļā ar superheterodīna uztvērēju tiek uztverta šo signālu summa un augstfrekvences signāls, izmantojot *LT5526* čipu, tiek konvertēts uz starpfrekvenci $s_{IF}(t)$. Attiecīgi tālāk šis signāls tiek ielasīts datorā, izmantojot ATS460 signālu ciparotāju. Ielasītā signāla spektrs parādīts 6.8.attēlā.



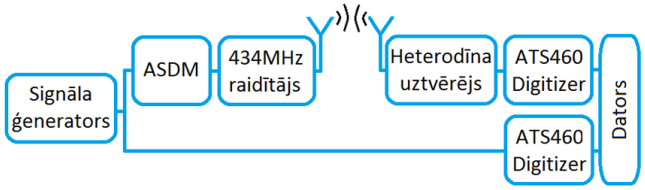
Att. 6.8: Konvertētā signāla s_{IF} spektrs

Zinot signālu nesējfrekvences un joslas platumu, ko katrs signāls aizņem frekvenču apgabalā, ir iespējams katru signālu izfiltrēt ar joslas filtru, priekš tālākās signālapstrādes. Vispirms, katram no izfiltrētajiem signāliem atrod to absolūtās pīķu vērtības. Uzstādot noteiktu slieksni, vērtības, kas ir mazākas par šo slieksni, tiek nullētas (6.9.attēls c), izfiltrējot troksni. Tālāk tiek atrasti laika momenti, kuros starpība starp nolašu vērtībām ir lielāka par uzstādīto slieksni - tās tad arī ir $z_n(t)$ pārslēgšanās vietas jeb laika momenti t_k. Attēlā 6.9. a) un b) ir parādīti divu kanālu izfiltrētie signāli un iegūtie laika momenti (ar stabiņiem).



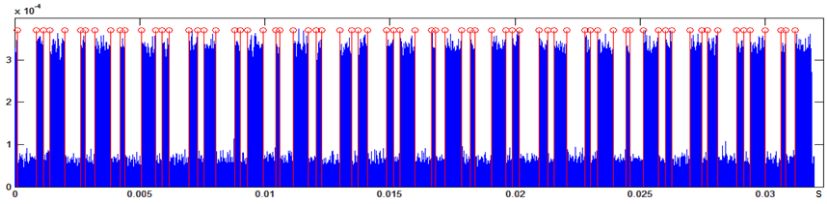
Att. 6.9: a), b) 1. un 2. kanāla atjaunotie laika momenti t_k c) sliekšņa uzstādīšana - vērtību nullēšana

Pārliecinoties, ka ir iespējams vairākus kanālus pārraidīt vienlaicīgi, ir nepieciešams novērtēt kopējās sistēmas veiktspēju. Šim nolūkam tika izveidots eksperimentālais makets, kura blokshēma parādīta 6.10. attēlā.



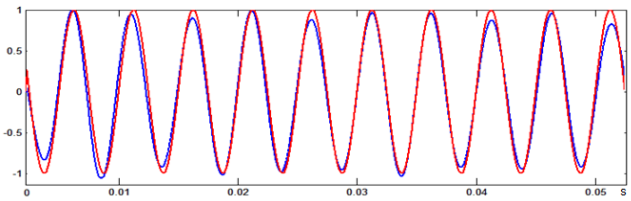
Att. 6.10: Eksperimenta blokshēma

Lai novērtētu sistēmas precizitāti, par testa signālu tiek izvēlēts sinuss (200 Hz), kas tiek padots uz ASDM, kuram ir uzstādīti noteikti parametri b un δ. ASDM izejas signāls, līdzīgi kā iepriekš ar meandru, tiek modulēts un pārraidīts ar 434MHz nesējfrekvenci. Analogi iepriekš minētajam eksperimentam, uztvertais signāls tiek apstrādās, kā rezultātā tiek iegūti laika momenti t_k (6.11.attēls).



Att. 6.11: Ielasītais ASDM signāls un atrastie laika momenti t_k

Izmantojot izvedumus, kas aprakstīti 6.2.1.nodaļā, ir iespējams atjaunot kodēto signālu. Attēlā 6.12. ar sarkano krāsu ir attēlots mākslīgi sintezēts sinuss ar frekvenci 200 Hz, bet ar zilo krāsu - atjaunotais signāls. Salīdzinot abus šos signālus ir redzams, ka to sakritība nav pilnīga, kas skaidrojams ar salīdzinoši lēno (13V/μs) operāciju pastiprinātāju izmantošanu, kuru frontes



Att. 6.12: Mākslīgi sintezēts sinuss un atjaunotais signāls

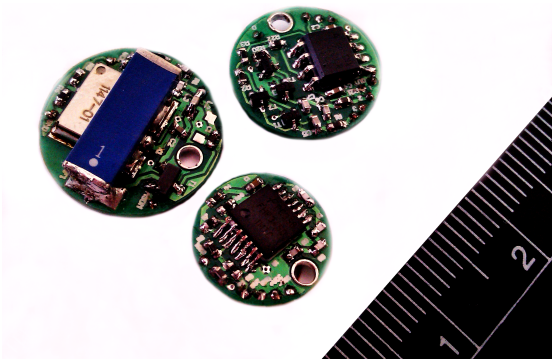
drebēšana un pārslēgšanās ātrums ievieš kļūdu pie precīzākas laika momentu noteikšanas.

6.4 Kopsavilkums un secinājumi

Mūsdienās izveidotās EEG datu iegūšanas sistēmas ir ar dažādiem trūkumiem un nepilnībām. Piemēram, klasisko ACP izmantošana, kuru darbību nodrošina takts ģeneratori, palielina sistēmas enerģijas patēriņu un elektromagnētiskos traucējumus. Arī iegūto datu pārraidi pa vadiem uz datoru tālākai apstrādei var uzskatīt par nepilnību, jo ierobežo cilvēka kustības.

Lai cīnītos ar esošo sistēmu trūkumiem, tika izveidota jauna sistēma. Izveidotais makets, kas satur EEG signālu pastiprinātāju, Asinhrono Sigma-Delta Modulatoru, OOK bezvadu raidītāju un superheterodīna uztvērēju, kā arī ATS460 ciparotāju un *Matlab* apstrādes algoritmus, ļauj secināt, ka šāda sistēma savu priekšrocību dēļ (energoefektīva, maza izmēra, bezvadu tehnoloģija), var tikt izmantota EEG datu iegūšanai.

Teorētiskie aprēķini un eksperimentālie pētījumi parāda, ka ir iespējams pārraidīt vairākus kanālus vienlaicīgi, un izmantojot apstrādes algoritmus, ir iespējams atjaunot katra ASDM izejas signāla laika momentus, kurus izmantojot var atjaunot kodēto signālu.



Att. 6.13: Viens sensors, kas sastāv no 3 daļām

Lai nodrošinātu precīzāku laika momentu noteikšanu, ir nepieciešami ātrdarbīgāki operāciju pastiprinātāji ar frontes izmaiņas ātrumiem vismaz 1000V/μs.

6.5 Nākotnes perspektīvas

Iesāktos pētījumus EEG datu iegūšanai ir nepieciešams turpināt, izmantojot uzprojektētos un izveidotos sensorus (skatīt 6.13.attēlu), kas satur miniatūru EEG signālu pastiprinātāju, ASDM un OOK bezvadu datu raidītāju.

Turpmākajos eksperimentos ir nepieciešams aprobēt izveidoto sistēmu uz reāliem EEG signāliem, kas ietver izveidotā sensora testēšanu un optimizāciju, kā arī daudzkanālu sensoru tīkla izveidi ar bezvadu datu pārraidi.

Literatūra

[1] M. Ozkan and O. Gunaydin. Design of a Brain Computer Interface system based on electroencephalogram(EEG). In *Proceedings of the 4th European Education and Research Conference (EDERC)*, 2010.

[2] J. P. Lucas, H. Bin, and A. J. Doud. Continuous 3D control of a virtual helicopter using a motor imagery based BCI. In *Proceedings of the 5th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*, 2011.

[3] F. Liarokapis and A. Vourvopoulos. Brain-Controlled NXT Robot: Teleoperating a Robot through Brain Electrical Activity. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*, 2011.

[4] H. Chen, X. Zhang, and K. Guo. Design of Portable Multi-Channel EEG Signal Acquisition System. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*, 2009.

[5] K. Insoo, B. J. Gluckman, and A. Jain. Low cost electroencephalographic acquisition amplifier to serve as teaching and research tool. In *Proceedings of the 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2011.

[6] D. L. Ash. A Comprasion Between OOK/ASK and FSK Modulation Techniques For Radio Links.

[7] L. T. Tóth and A. A. Lazar. Perfect Recovery and Sensitivity Analysis of Time Encoded Bandlimited Signals. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular papers*, 51:2060–2073, 2004.

[8] L. T. Tóth and A. A. Lazar. Time Encoding and Perfect Recovery of Bandlimited Signals. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, 2003.

[9] U. Madhow. *Fundamentals of Digital Communication*. Cambridge University Press, March 2008.