

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



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.6. par periodu no 01.04.2011.g līdz 30.06.2011.g.

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

ELEKTRONIKAS UN DATORZINĀTŅU INSTITŪTS
Rīga, Latvija
2011.gads

Saturs

Ievads **3**
VieSenTIS . . . 3

1 `BioSen` grupas atskaite **4**
1.1 Ievads . . . 4
1.2 Saistītie risinājumi . . . 4
1.2.1 Eigenface algoritms . . . 4
1.2.2 Eigenface un Karhunen – Loeve algoritms . . . 5
1.3 Risinājums . . . 6
1.3.1 Sejas biometrija . . . 6
1.4 Eksperimenti un-vai testi . . . 10
1.4.1 Sejas biometrija . . . 10
1.5 Rezultāti . . . 10
1.5.1 Sejas biometrija . . . 10
1.6 Kopsavilkums un secinājumi . . . 11
1.7 Nākotnes perspektīvas . . . 12
Literatūra . . . 12

2 `CarMote` grupa **13**
2.1 Ievads . . . 13
2.2 Saistītie risinājumi . . . 13
2.3 Risinājums . . . 14
2.3.1 Navigācijas sistēma . . . 15
2.3.2 Lietotāja saskarne . . . 17
2.3.3 Bremzes un gāzes pedāļu vadības sistēma . . . 18
2.4 Rezultāti . . . 19
2.5 Kopsavilkums un secinājumi . . . 20
2.6 Nākotnes perspektīvas . . . 20
Literatūra . . . 20

3 `EdiMote` grupa **22**
3.1 Ievads . . . 22
3.2 Risinājums . . . 22
3.2.1 Ciparu loģikas shēma - CPLD . . . 22
3.2.2 programnodrošinājums EdiMotes vadībai no datora . . . 24
3.2.3 moduļu izvadu standartizācija . . . 26
3.3 Eksperimenti un testi . . . 27
3.4 Rezultāti . . . 29

3.5 Nākotnes perspektīvas 30
Literatūra 30

4 `MansOS` grupa **31**
4.1 Ievads 31
4.2 Saistītie risinājumi 32
4.2.1 Pārprogrammēšana un operētājsistēmas ielāde 32
4.2.2 Pavedieni 32
4.3 Risinājums 32
4.3.1 Pārprogrammēšana un operētājsistēmas ielāde 32
4.3.2 Pavedieni 34
4.3.3 SPI kopnes protokola atbalsts 35
4.3.4 Citi papildinājumi 36
4.4 Kopsavilkums un nākotnes perspektīvas 36
Literatūra 37

5 `SAntArray` grupa **38**
5.1 Ievads 38
5.2 Saistītie risinājumi 38
5.3 Risinājums 40
5.4 Rezultāti 42
5.5 Kopsavilkums un secinājumi 43
5.6 Nākotnes perspektīvas 43
Literatūra 43

6 `SenSigA` grupas atskaite **45**
6.1 Ievads 45
6.2 Saistītie risinājumi 46
6.3 Risinājums 46
6.4 Eksperimentālie rezultāti 47
6.5 Kopsavilkums un secinājumi 51
6.6 Nākotnes perspektīvas 52
Literatūra 53

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 apakšgrupas pētnieki nodarbojas ar biometrijas datu iegūšanu un apstrādi. Primārais pētniecības virziens ir sejas atpazīšanas algoritmu izveidošana un to implementācija iegultajās sistēmās. Šajā pētniecības posmā galvenokārt tika strādāts pie Local Binary Patterns sejas atpazīšanas algoritma uzlabojumiem un implementācijas iegultajā sistēmā. Iegultas sistēmas centrālais elements ir firmas Texas Instruments signālprocesors TMS320C6416. Pēc algoritmu implementācijas tiek noteikti sekojoši sistēmas parametri: „Failure to Capture Rate" sejas detektēšanas un lokalizācijas blokam, EER sejas atpazīšanas blokam. Tika apskatīts arī 2D sejas atpazīšanas algoritms, kas balstīts uz jau zināmā Eigenface algoritma un mazāk zināmā Karhunen – Loeve algoritma pamatprincipiem.

1.1 Ievads

Primārais mērķis šajā ceturksnī bija automātiskas iegultas sejas atpazīšanas sistēmas izveidošana. Iepriekš tika izveidota algoritmiska bāze, kura ļauj paveikt sejas detektēšanas, lokalizācijas un atpazīšanas uzdevumus un balstās uz Local Binary Pattern transformācijas [1]. Šie algoritmi tiek pārrakstīti C valodā un optimizēti darbam TMS320C6416 signalprocesorā. Pēc algoritmu implementācijas tiek notestēti sistēmas parametri un izveidots demontsrātors. Demonstrātora galvenie funkcionālie mezgli ir web-kamera, dators un TMS320C6416 DSK. Ar kameras palīdzību tiek uzņemts sejas attēls, ko dators sūta signālprocesoram, kurš savukārt veic visus nepieciešamus attēlu apstrādes uzdevumus un atgriež rezultātu atpakaļ datoram.

1.2 Saistītie risinājumi

1.2.1 Eigenface algoritms

Viens no risinājumiem, kuru sākotnēji apskatījām bija Eigenface [2], kas balstīts uz 2D sejas attēlu izmantošanu. Viens no būtiskajiem algoritma trūkumiem ir rezultāta atkarība no apgaismojuma apstākļiem, tāpēc tiek pieņemts lēmums

izveidot un notestēt LBP sejas atpazīšanas algoritmu, kuram šī problēma nav tik aktuāla.

1.2.2 Eigenface un Karhunen – Loeve algoritms

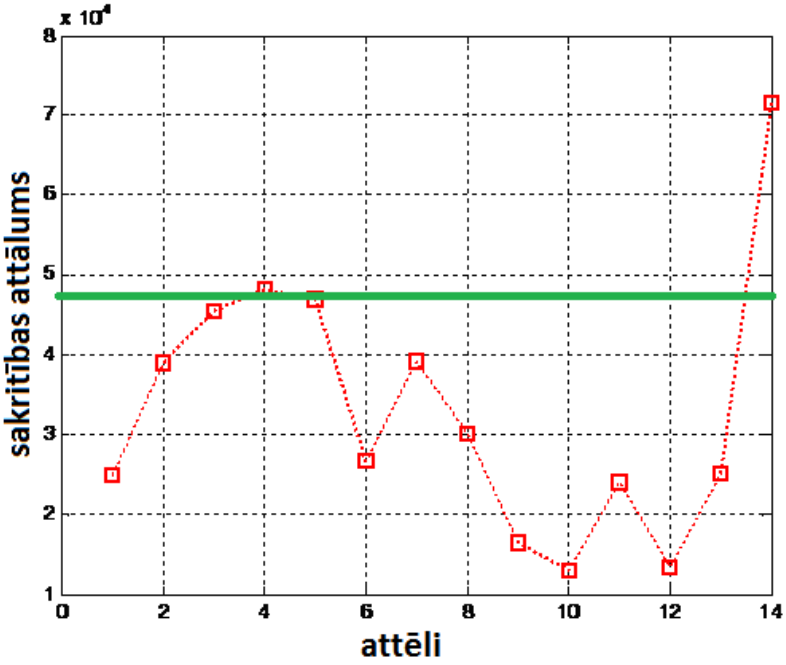
Otrs risinājums ir algoritms, kas balstīts uz Eigenface un Karhunen – Loeve algoritma [3]. Šis risinājums tika apskatīts sīkāk. Tika izlasīta un izpētīta publikācija „Sequential Karhunene – Loeve Basis Extraction and its Application to Images", kas iepazīstina ar šo algoritmu. Vēlāk algoritms tika palaists Matlab un novērtēti tā darbības principi un precizitāte, veikti dažādi eksperimentālie pētījumi, izmantojot institūtā veidoto datubāzi. Viens no eksperimentiem bija testa bilžu sakritība ar attiecīgajām klasēm un to attālumu atbilstība; bija nepieciešams pievērst uzmanību slieksnim un izvēlēties tādu, lai precīzāk un bez kļūdām tiktu atrasts īstais cilvēks un izslēgts nepareizais. Sākumā bija nepieciešams algoritmā aprakstīt datubāzi. Katrai personai tika izveidota sava klase, šajā klasē bija 3 attēli, kopā sākumā tika izveidotas 8 klases, attiecīgi kopējais attēlu skaits bija 24.
Eksperimentu rezultāti un secinājumi par tiem:

- Veicot sakritības pārbaudi, nesakrita divos gadījumos. Pirmajā gadījumā persona, kas tika salīdzināta ar datubāzē esošajiem, nebija iekļauta datubāzē, tāpēc algoritms atrada tuvāk esošo sakritību. Otrajā gadījumā tika izmantota sliktas kvalitātes bilde (atkārtoti fotografēts attēls personas sejas fotogrāfijai) vienai no personām, kas ir datubāzē un tāpēc algoritms neatrada sakritību, bet atrada tuvāko sakritību.

- Svarīgi ir izvēlēties atbilstošu slieksni, lai līdzīgiem sejas attēliem, šis attālums būtu minimāls. Lai tiktu atrasta atbilstošā persona, kas ir datubāzē, tad slieksni vajadzētu izvēlēties robežās no 0.004 līdz 0.005. kā redzams 1.1. attēlā, tad izvēloties šādu slieksni viens no attēliem uzreiz tiek izslēgts kā nepareizs (tas ir attēls Nr. 4), bet otrs attēls, kas tika nepareizi atrasts ir attēls Nr.6. Pozitīvi, ka izslēgts tiek tās personas attēls, kurš nav datubāzē (6 attēls), bet nesaprotu kāpēc tiek izslēgts 14. attēls, jo šī persona atrodas datubāzē. Vienīgais, šajā attēlā personai bija brilles, bet datubāzē nebija. Protams, ja datubāze būtu lielāka un tiktu veikti vēl vairāk eksperimenti, tad iespējams būtu pārskatāmāk parādīt un pierādīt sliekšņa izvēli.

- labākus rezultātus sniedza nākošais eksperiments, kurā tiek salīdzinātas attālums personu sejām (jāpiemin, ka gan datubāzē esošajiem attēliem, gan tiem, kas tiek salīdzināti, nav tikai personu sejas, bet arī daļēju krūškurvis redzams). Šeit slieksni noteikt ir daudz vienkāršāk un automātiski tiek izslēgti nepareizi noteiktie rezultāti (4 un 6 attēls). Uzskatāmi rezultāti parādīti 1.2. attēlā.

- Apvienojot abus iepriekš minētos secinājumus un grafikus, nonākam pie secinājuma, ka izvēloties sakritības attāluma slieksni 0.0047, bet sejas sakritības attāluma slieksni 0.0031, mēs izslēdzam visus trīs sev nevēlamos rezultātus, tā iegūstot augstu precizitāti, jo tad pārējie attēli tiktu pareizi salīdzināti un atpazīti, bet šīs personas sistēma neatpazītu. No kā



Att. 1.1: Sliekšņa izvēle sakritības attāluma precizitātes uzlabošanai

izriet, ka šajā gadījumā sistēma atpazītu, ka persona vai nu nav iekļauta datubāzē, vai tiek izmantota datubāzē esošās personas fotogrāfija.

1.3 Risinājums

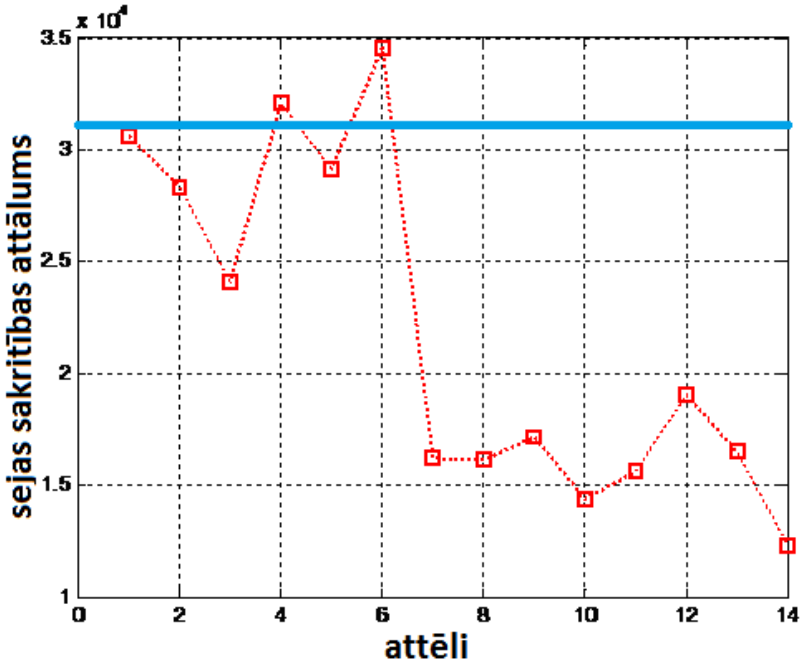
1.3.1 Sejas biometrija

Iepriekšējā posmā BioSen grupas ietvaros tiek izveidots automātisks sejas atpazīšanas algoritms, kurš balstās uz „Local Binary Patterns" transformācijas īpašībām. Algoritms sastāv no trim sekojošiem posmiem:

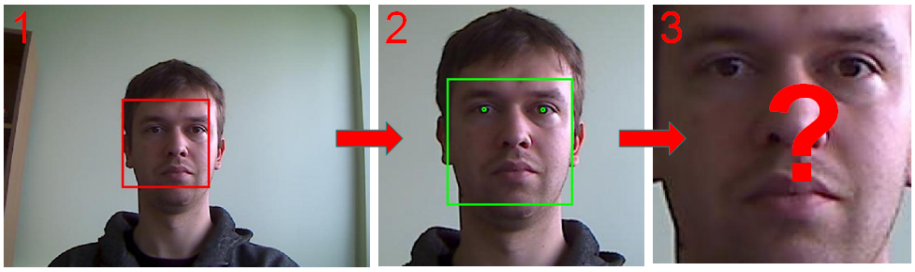
- Sejas detektēšana.
- Sejas lokalizācija.
- Sejas atpazīšana.

Šie posmi shematiski tiek paradīti 1.3. attēlā.

Visas algoritma stadijas tika aprakstītas jau iepriekš, tomēr algoritmu testēšanas rezultātā atklājas daži trūkumi. Piemēram, sejas lokalizācijas etaps strādāja salīdzinoši veiksmīgi uz attēliem, kuri tika uzņemti ar labas kvalitātes fotokameru (Sony Cyber-shot 5MPix), bet bieži deva kļūdainus rezultātus sejas attēliem, kuri tika uzņemti ar web - kameru (Prestigio PWC2 2MPix). Šo trūkumu var izskaidrot ar sejas lokalizācijas / acu detektēšanas metodikas



Att. 1.2: Sliekšņa izvēle sejas sakritības attāluma precizitātes uzlabošanai

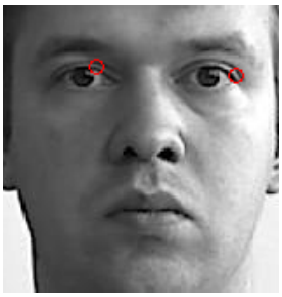


Att. 1.3: Automātiskā sejas atpazīšanas algoritma stadijas (1 – sejas detektēšana, 2-sejas lokalizācija, 3 – sejas atpazīšana)

būtību: acu centri tiek detektēti balstoties uz fakta, ka acu zīlītes centri ir melni. Tomēr, web-kameras faktiskais dinamiskais diapazons nav tik labs, ka dārgākām kamerām un krāsas attēlā bieži vien stipri atšķiras no realitātes, kas izraisa kļūdainus detektēšanas rezultātus. Metodika, ar kuru šis trūkums tika novērsts aprakstīta nākošajā apakšpunktā.

Sejas lokalizācijas algoritma papildinājums

Attēla 1.4. tiek parādīts kļūdains acu centru detektēšanas piemērs. Var redzēt, ka sejas lokalizācijas algoritma darbības rezultātā tiek atrastas acu pozīcijas,



Att. 1.4: Kļūdains acu centru detektēšanas rezultāts



Att. 1.5: LBP acu detektēšanas algoritma papildinājums

tomēr neizdevās nodetektēt acu zīlīšu centrus.

Lai novērstu aprakstītās sistēmas nepilnības tiek piedāvāts algoritms, kurš sastāv no sekojošām stadijām:

- Ieejas attēla 1. (attēls 1.5.) binarizācija. Binära bilde 2. iegūta izmantojot ieejas attēla sliekšņošanu. Slieksnis tiek aprēķināts adaptīvi un ir vienāds ar pusi no ieejas attēla pikseļu vidējas vērtības,
- Binära attēla 2. filtrācija ar Gaussa filtru. Filtrācijas rezultāts tiek parādīts 3. bildē (attēls 1.5.). Var redzēt, ka filtrētajam attēlam ir viens izteikts maksimums, kura pozīcija nosaka acs zīlītes centra koordinātes.

Aprakstītās metodikas izmantošana ļauj būtiski uzlabot sejas lokalizācijas precizitāti attēliem ar sliktu kvalitāti, ko var redzēt 1.6.attēlā.

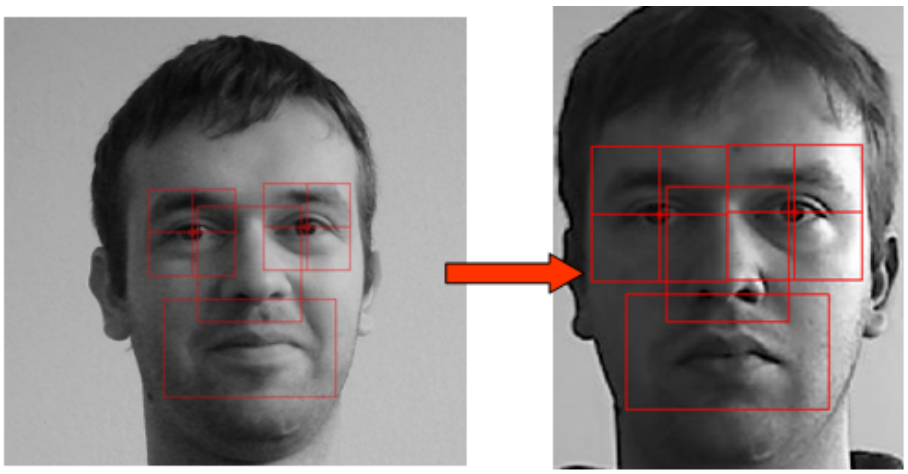
Sejas atpazīšanas algoritma uzlabojumi

Iepriekšējā reizē tika aprakstīts LBP sejas atpazīšanas algoritms, kurš tika notestēts uz EDI darbinieku datubāzes un tika iegūta sekojoša algoritma kļūda: $EER = 10\%$. Pēc divām būtiskām modifikācijām izdevās uzlabot algoritma precizitāti:

- Pirmais aspekts, kurš paaugstināja precizitāti ir acs reģionu izmēra palielināšana, kas parādīta 1.7. attēlā,
- Otrais aspekts ir reģionu histogrammu normēšana. Iepriekšējā realizācijā histogrammas tika normētas attiecībā pret maksimālo vērtību. Uzlabotajā



Att. 1.6: Korekts acu centru detektēšanas rezultāts



Att. 1.7: LBP sejas atpazīšanas algoritma uzlabojumi - palielināti reģionu izmēri ap acīm

versijā katrā reģionā histogramma tiek normēta attiecībā pret pikseļu skaitu reģionā.

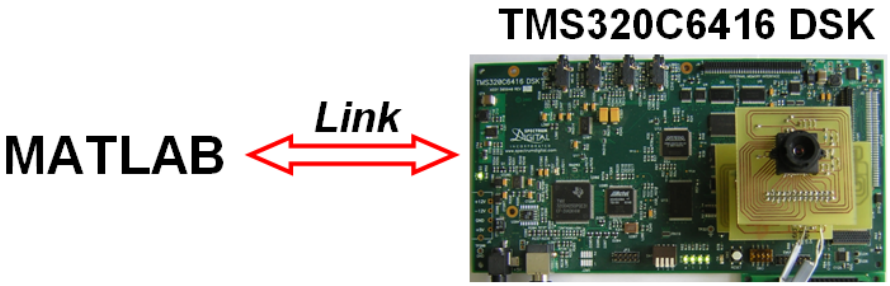
Aprakstīto paņēmienu ietekme uz sistēmas precizitāti tiks aprakstīta nākošajās sadaļās.

Iegultās sejas atpazīšanas sistēmas izveidošana

Visas LBP sejas atpazīšanas algoritma stadijas un to papildinājumi tika realizēti iegultajā sistēmā, kur firmas Texas Instrument signālprocesors TMS320C6416 ir centrālais elements. Iegultas sistēmas testēšanai tika izveidota komunikācija starp datoru un signālprocesoru izmantojot RTDX interfeisu (attēls. 1.8). Dators ar Matlab programmu izpilda sekojošās funkcijas:

- Sejas attēla uzņemšana (no web – kameras) un sūtīšana signālprocesoram,
- Atpazīšanas rezultāta saņemšana un vizualizācija.

Savukārt visi pārējie attēlu apstrādes uzdevumi tiek veikti signālprocesorā:



Att. 1.8: Iegultas sejas atpazīšanas sistēmas demonstrātora blokshēma

- sejas attēla saņemšana
- LBT transformācijas aprēķināšana
- sejas detektēšana
- sejas lokalizācija / acu detektēšana
- sejas atpazīšana
- rezultātu sūtīšana programmai Matlab

1.4 Eksperimenti un-vai testi

1.4.1 Sejas biometrija

Iepriekšējā periodā tika uzņemta seju datubāze, kuras tapšanā piedalījās 51 persona (kopumā 168 attēli), katrai personai tika uzņemtas 3 – 4 bildes (ar/bez brillēm (ja tādas persona nēsā), ar/bez smaida). Izmantojot darbinieku datu bāzi tika notestēti sekojoši aspekti:

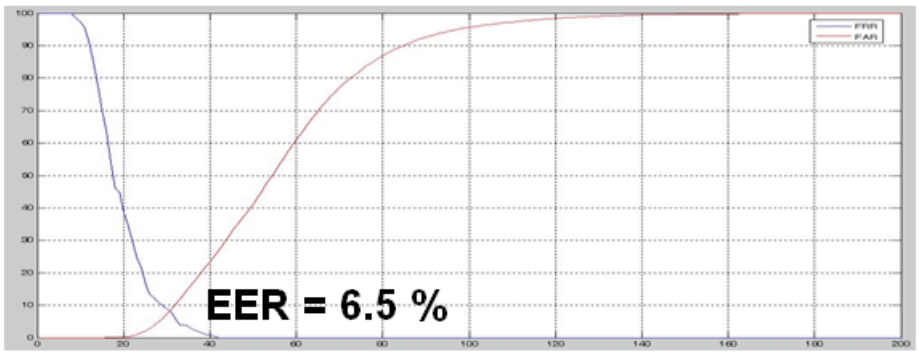
- Uzlabotā sejas atpazīšanas algoritma precizitāte (aprēķināts FAR - False acceptance rate un FRR - False rejection rate, ka arī EER – Equal error rate),
- LBP sejas atpazīšanas algoritma precizitāte, realizējot to TMS320C6416 signālprocesorā (aprēķināts FAR - False acceptance rate un FRR - False rejection rate, ka arī EER – Equal error rate).

1.5 Rezultāti

1.5.1 Sejas biometrija

Sejas atpazīšanas algoritma testēšana MATLAB vidē

Uzlabotā sejas atpazīšanas algoritma Equal Error Rate ir 6.5% (iepriekšējā atskaite $EER = 10\%$). Algoritma FAR un FRR atkarības no sliekšņošanās līmeņa tiek paradītas 1.9. attēlā.



Att. 1.9: FAR un FRR atkarības no sliekšņošanās līmeņa uzlabotajām LBP sejas atpazīšanas algoritmam

Sejas atpazīšanas algoritma testēšana iegultajā sistēmā

TMS320C6416 procesoram ir Fixed-point arhitektūra, kas uzlabo sistēmas ātrdarbību, bet pasliktina aprēķinu precizitāti salīdzinājumā ar Matlab vidi, kur tiek lietota Floating point matemātika ar Double precizitāti. Šo apstākļu dēļ sejas atpazīšanas algoritma EER iegultajā sistēma ir 8.3% (EER Matlab vidē ir 6.5%).

1.6 Kopsavilkums un secinājumi

Viens no BioSen grupas mērķiem – izveidot iegulto sejas atpazīšanas sistēmu ir daļēji sasniegts. Testējot uz DSP balstīto sejas atpazīšanas sistēmu uz darbinieku datubāzes tiek noteikti sekojošie sistēmas parametri:

- „Failure to Capture rate" sejas detektēšanas blokam: $FTC = 0\%$,
- „Failure to Capture rate" sejas lokalizācijas blokam: $FTC = 14\%$,
- Sejas atpazīšanas bloka $EER = 8.3\%$.

Arī tika paveikta sejas lokalizācijas bloka detalizētākā analīze, kura ļauj secināt par faktoriem, kas lokalizācijas rezultātu ietekmē negatīvi. Kopējais lokalizācijas kļūdu skaits bija 23 no 168 sejas attēliem, no tiem:

- 15 kļūdas detektētas cilvēkiem ar brillēm,
- 1 kļūda detektēta gadījumā, kad acis bija ciet,
- 7 kļūdas – labas kvalitātes bildēm.

Sejas atpazīšanas laiks ir 4 sekundes (attēla izmērs 460x614, attēls tiek salīdzināts ar datubāzi, kurā ir 100 bildes). Saistītais risinājums, kas tika apskatīts šajā ceturksnī ir jāapskata sīkāk, veicot vēl vairāk eksperimentus un ja rezultāts būs labs, tad ir iespējams pielietot to sejas atpazīšanas sistēmā, kas tika veidota LabWindos/CVI virtuālajā instrumentā.

1.7 Nākotnes perspektīvas

Turpmākie plāni ir LBP algoritma testēšana uz FERET datubāzes, kas ļaus sasniegtus parametrus salīdzināt ar citu zinātnisko grupu rezultātiem. Arī tiek plānots notestēt LBP algoritma uzlaboto versiju, kurā tiek lietota statistiskā informācija par „nestabiliem" sejas parametriem. Iepriekšēja reizē tika uzstādīts mērķis par iegultas sejas atpazīšanas sistēmas izveidošanu, kas uz doto brīdi ir daļēji sasniegts, bet tagadējā realizācija sejas attēls tiek iegūts izmantojot web-kameru un datoru. Tāpēc tiek plānots izveidot kameras moduli, kuru būs iespējams pieslēgt pie signālprocesora bez datora starpniecības. Viens no sistēmas vājiem punktiem ir sejas lokalizācijas bloks, tāpēc tiks pētītas iespējas to papildināt ar citiem algoritmiem. Tiks veikti arī papildus eksperimenti Matlab kodam, kas apraksta Eigenface un Karhunen – Loeve algoritmu. Tiks paplašināta datubāze un pārbaudīta algoritma precizitāte, ja datubāzē ir 50 personas. Domājams, ka tiks izmantota tā pati datubāze, kas tiek izmantota LBP algoritma eksperimentālajos pētījumos.

Literatūra

[1] Timo Ahonen, Abdenour Hadid, and Matti Pietikainen. Face recognition with local binary patterns. In *Lecture Notes in Computer Science, Volume 3021*, pages 469–481, 2004.

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

[3] Levy A. and Lindenbaum M. Sequential Karhunen–Loeve Basis Extraction and its Application to Images. In *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, pages 1371–1374, August 2000.

Nodaļa 2

CarMote grupa

Anotācija

Līdz ar dažādu transporta veidu attīstību, aizvien lielāka nozīme ir viedajām transporta sistēmām, kuras tiek veidotas, izmantojot aparatūras un programmatūras risinājumus. Šie risinājumi ietver gan transporta plūsmu un apkārtējo vidi raksturojošu datu ieguvi, gan arī to apstrādi un koplietošanu. CarMote grupas darbība ir vērsta uz multimodālu datu ieguves un apstrādes problēmu risināšanu transporta nozarē, izmantojot gan dažādu konvenciālu mobilu datortehniku, gan arī speciāli izstrādātas iegultas iekārtas. Šajā darbā ir aprakstītas aktivitātes, kas ir saistītas ar kooperatīva transportlīdzekļa izstrādi, kas spēj efektīvi plānot kustību un pārvietoties līdzīga veida transportlīdzekļu plūsmā.

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 uzstādīti vairāki uzdevumi elektronikas, programinženierijas, digitālās signālu apstrādes, bezvadu komunikācijas u.c. jomās. Par kooperatīva transportlīdzekļa izstrādes prasību pamatu tika paņemti GCDC noteikumi [7], kas deva vairākas priekšrocības:

- ieekonomēja laiku prasību uzstādīšanai;
- ļāva izmantot lokālo standartu, kuru izstrādāja un novērtēja professionālo zinātnieku/izstrādātāju grupa;
- ļāva paveikt nopietnu izstrādāta risinājuma testēšanu, salīdzinot to ar citu komandu risinājumiem no dažādiem pasaules institūcijam un valstīm;

2.2 Saistītie risinājumi

Kooperatīvo transportlīdzekļu un autonomo transportlīdzekļu izstrāde ir ļoti populārā tēma pasaules zinātnē [3]. Katru gadu parādās ar vien vairāki transportlīdzekļi un tātad efektīva transportlīdzekļu plūsmas plānošana un

drošības paaugstināšana kļūst aizvien svarīgākas lietas. Dotas tēmas attistība tiek atbalstīta arī rīkojot dažādas sacensības [1, 2].

2.3 Risinājums

Turpinot darbus pie GCDC sacensību [7] auto tehniskā aprīkojuma izstrādes, sadarbībā ar Valsts Pētījumu Programmas projekta IMIS pētniekiem, tika implementēta iekārta, kas paredzēta auto akseleratora un bremžu sistēmas vadībai, kā arī nodrošina lietotāja saskarni ar auto vadītāju. 2.1 attēlā redzamā iekārta sastāv no trim atsevišķiem, savstarpēji saistītiem moduļiem. Katrs no šiem moduļiem ir veidots uz Atmel Corporation mikrokontroliera ATmega328P [4] bāzes, un tā komunikācija ar auto tehniskajā aprīkojumā ietilpstošo datoru notiek, izmantojot USB saskarni, kas veidota uz FTDI Ltd. mikroshēmas FT232RL [6] bāzes. Iekārtas barošana tiek nodrošināta no 12V auto elektrosistēmas, izmantojot atbilstošu sprieguma pārveidotāja mikroshēmu 7805.



Att. 2.1: Auto tehniskajā aprīkojumā ietilpstošā iekārta auto akseleratora un bremžu sistēmas vadībai, kā arī lietotāja saskarnei ar auto vadītāju. Pa kreisi - kopskats, pa labi - konstrukcija.

Auto akseleratora sistēmas vadība ir implementēta, izmantojot divus mikrokontroliera ADC kanālus, kas veic oriģinālā elektroniskā akseleratora pedāļa izejas spriegumu nolasi. Lai vadītu auto oriģinālo dzinēja vadības bloku, tiek izmantoti divi mikrokontroliera PWM kanāli, kas kopā ar atbilstošām RC ķēdēm nodrošina iespēju formēt nepieciešamos vadības spriegumus. Ja auto vadītājs veic manipulācijas ar akseleratora pedāli, mikrokontrolieris pārslēdzas manuālās braukšanas režīmā un darbojas kā ieejas spriegumu translators. Savukārt, ja auto vadītājs manipulācijas ar akseleratora pedāli neveic, bet tiek saņemtas komandas no datora, mikrokontrolieris pārslēdzas automātiskās braukšanas režīmā, PWM kanālu izejās tiek formēti un uz auto oriģinālo dzinēja vadības bloku tiek padoti šīm komandām atbilstošie vadības spriegumi.

Auto bremžu sistēmas vadība ir implementēta, izmantojot četrus lielas jaudas komutācijas tranzistorus, kas ļauj vadīt trīs pneimatiskās sistēmas vārstus, kā arī kompresora komutācijas releju. Divi mikrokontroliera ADC kanāli tiek izmantoti, lai kontrolētu spiedienu atsevišķos pneimatiskās sistēmas komponentos, savukārt pa vienam ADC kanālam rezervēts oriģinālā bremžu pedāļa pozīcijas kontrolei un sensoram, kas ļauj noteikt, vai auto vadītājs veic manuālu oriģinālā bremžu pedāļa nospiešanu. Viens mikrokontroliera

digitālais kanāls tiek izmantots, lai fiksētu, vai oriģinālais bremžu pedālis atrodas nospiestā vai atlaistā stāvoklī.

Lietotāja saskarne ar auto vadītāju ir izveidota, izmantojot četras pogas un 13 gaismas diodes. Tā nodrošina sekojošu funkcionalitāti:

- četru sistēmas moduļu (akselerators, bremzes, IMU un GPS) statusa vizuālo indikāciju;
- sistēmas režīma (automātiskā/manuālā braukšana) kontroli un vizuālo indikāciju;
- sistēmas piespiedu pāreju manuālās braukšanas režīmā;
- auto tehniskajā aprīkojumā ietilpstošā UPS bloka attālinātu ieslēgšanu un izslēgšanu;
- auto tehniskajā aprīkojumā ietilpstošā datora attālinātu ieslēgšanu un izslēgšanu.

Auto tehniskajā aprīkojumā ietilpstošajiem UPS blokam un datoram tika veiktas 2.2 attēlā redzamās modifikācijas, kas nodrošina iespēju veikt to attālinātu ieslēgšanu un izslēgšanu.

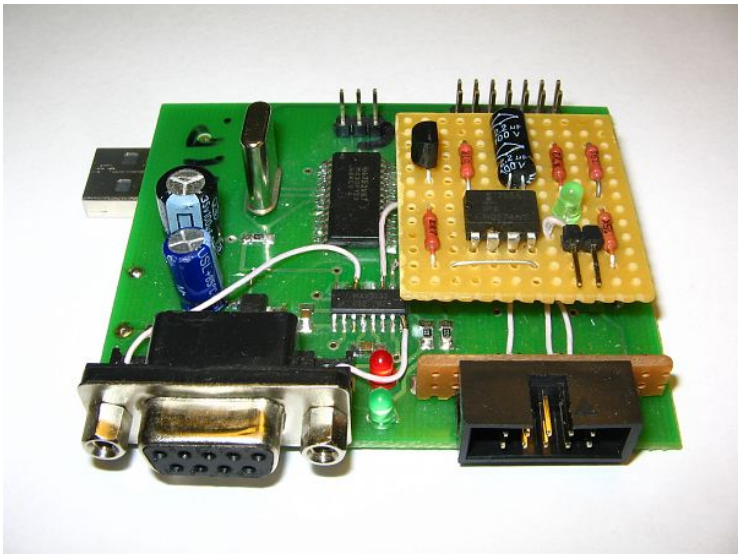


Att. 2.2: Auto tehniskajā aprīkojumā ietilpstošā UPS bloka un datora modifikācijas

Lai nodrošinātu iespēju izmantot auto tehniskajā aprīkojumā ietilpstošā datora laika sinhronizācijai GPS signālu, papildus jau esošajam GPS modulim uz Fastrax komponenta IT300 [5] bāzes tika implementēts 2.3 attēlā redzamais 1PPS signāla impulsa formētājs uz Intersil Corporation komponenta ICM7555 [8] bāzes. Signāla formētāja izeja tika pieslēgta datora RS232 saskarnes DCD ieejai.

2.3.1 Navigācijas sistēma

Navigācijas sistēma sastāv no 3 komponentēm – relatīvās navigācijas iegultas sistēmas, kas ir aprikota ar vairākiem kustību sensoriem (akselerometriem, žiroskopiem un magnetometriem), globālās navigācijas iekārtas (GPS uztvērēja) un datora.



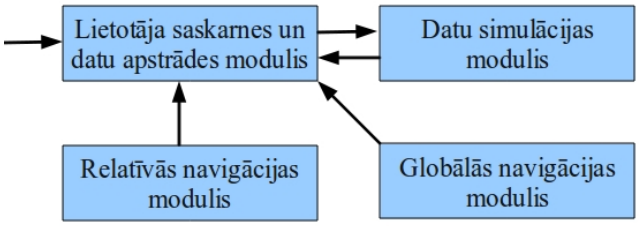
Att. 2.3: Auto tehniskajā aprīkojumā ietilpstošais 1PPS signāla impulsa formētājs

Relatīvās navigācijas iegultas sistēmas programmatūras mērķis ir nolasīt datus no pieejamiem sensoriem un sūtīt tos datoram caur UART interfeisu, tātad tas darbība iekļauj 2 posmus:

- Inicializācijas posms (pulksteņa, UART un I2C komunikācijas, ADC pārveidotāja konfigurācija);
- Galvenais darbības cikls (datu nolasīšana no pieejamiem sensoriem, izmantojot ADC pārveidotāju un I2C digitālo interfeisu, un to sūtīšana datoram caur UART interfeisu).

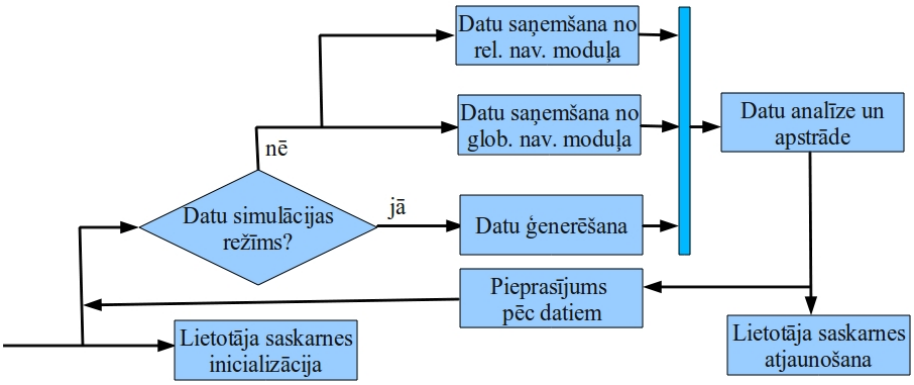
Datora programmatūras pilnveidošanai tika izvēlēta modulārā arhitektūra (sk. att. 2.4). Katrs modulis darbojas atsevišķa procesā un daži no tiem sadarbojas ar citiem, izmantojot starpprocesu komunikācijas (IPC) līdzekļus. Navigācijas sistēmā kopumā ir 4 moduļi:

- lietotāja saskarnes un datu apstrādes modulis, kas ļauj ērti apskatīties, apstrādāt un analizēt ienākošus datus / apstrādes rezultatu;
- datu simulācijas modulis, kas ģenerē ienākošus datus un tāda veida ļauj veiglāk nodarboties ar datu sapludinājumu un analizēt iegūto rezultātu;
- relatīvās navigācijas modulis, kas ir atbildīgs par datu saņemšanu no inerciālās navigācijas sistēmas (IMU) un digitālā kompasa caur UART interfeisu un pieejas nodrošināšanu pie iegūtiem datiem;
- globālās navigācijas sistēmas modulis, kas ir atbildīgs par datu saņemšanu no GPS uztvērēja caur UART interfeisu un pieejas nodrošināšanu pie iegūtiem datiem.



Att. 2.4: Datora navigācijas programmatūras modulārā arhitektūra

Visi moduļi kopā veido sistēmu, kas pildot vairākas atsevišķas aktivitātes, risinā kopīgo uzdevumu (sk. att. 2.5). Svarīgas lietas sistēmā ir procesu sazarošanas, kas ļauj pildīt vairākus uzdevumus paralēli un tiek atbalstīta operētājsistēmas līmenī, un komunikācijas kanāla veidošana, kas ļauj paralēliem procesiem sadarboties viegli un ērti.



Att. 2.5: Datora navigācijas programmatūras aktivitāšu diagramma

2.3.2 Lietotāja saskarne

Lietotāja saskarne sastāv no 2 komponentēm - iegultas sistēmas un datora. Iegultā sistēma ir savienota tieši ar bremžu un gāzes pedāļu iegultajām sistēmām, lai avārijas apstāšanās gadījumā nekavējoties pārtrauktu to darbību.

Gan komandas pieejamība no datora, gan UI moduļa statuss datoram tiek sūtīts ar 10 Hz frekvenci. Statusi tiek sūtīti predefinētās datu paketēs, kuru formāts ir sekojošs:

- lietotāja
  saskarne datoram sūta paketi formātā "$$<**EmergencyStatus**>", kur <EmergencyStatus> būs '0', ja sistēma ir darba kārtībā, un '1', ja ir ārkārtas situācija;
- dators lietotāja saskarnei sūta paketi formātā "$$<**ManualMode**><**GPSStatus**><**IMUStatus**><**CheckSum**>%%",

kur:

- <ManualMode> būs '0', ja ir automātiskais režīms, un '1', ja manuālais režīms;
- <GPSStatus> būs '2', ja GPS signāls ir atrasts un izmantojams, un '0', ja pretēji;
- <IMUStatus> būs '4', ja IMU iekārta ir darba kārtībā, un '0', ja pretēji;
- <ChekcSum> būs iepriekšējo 3 skaitļu summa diapazonā no '0' līdz '7'.

Abos gadījumos '$$' apzīmē paketes sākumu, savukārt, datora paketes gadījumā '%%' arī paketes beigas.

Lietotāja saskarnes darbības princips ir pārtraukt jebkurā brīdi automātisko režīmu, ja tāds ir ieslēgts, ja lietotājs veic vienu no zemāk uzskaitītajām darbībām:

- nospiež STOP pogu uz lietotāja saskarnes iekārtas;
- pieskaras gāzes pedālim (attiecīgi pieskaršanos reģistrē gāzes pedāļa kontrolieris un nodod šo faktu par lietotāja saskarni atbildīgajam mikrokontrolierim, kurš to translē tālāk pārējām saistītajām iekārtām);
- pieskaras bremžu pedālim (tāpat kā gāzes pedāļa gadījumā - bremžu pedāļa kontrolieris ir tas, kurš reģistrē šo pieskaršanos un nodod šo faktu tālāk par lietotāja saskarni atbildīgajam mikrokontrolierim).

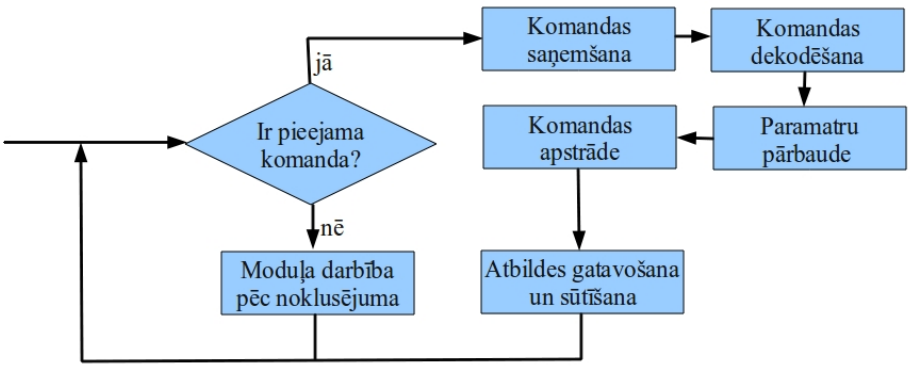
Balstoties uz noteikumiem [7], sistēmas darbību iespējams atjaunot tikai pēc RESET sekvences izpildīšanas, kas realizēta kā STOP pogas nospiešana un atlaišana.

2.3.3 Bremzes un gāzes pedāļu vadības sistēma

Bremžu un gāzes pedāļu vadības sistēma sastāv no 2 komponentēm – bremžu un gāzes pedāļu vadības iegultas sistēmas un datora. Bremžu un gāzes vadības iegulta sistēma sastāv attiecīgi no bremžu un gāzes pedāļu vadības moduļiem. Abi moduļi darbojas pēc vienādas shēmas (sk. att. 2.6).

Komandas pieejamība tiek apskatīta ar 10 Hz frekvenci. Ja komanda ir pieejama, tad tiek palaista komandas apstrāde. Komandas apstrādes cikls tiek pilnveidots kā galīgs determinēts automats, kuram ir 5 stāvokļi – komandas saņemšana (1), komandas dekodēšana (2), komandas parametru pārbaude (3), komandas apstrāde (4), atbildes gatavošana un sūtīšana (5). Savukārt parējā laikā tiek veikta pedāļa stāvokļa saglabāšana (ja pēdēja komanda jau tika apstrādāta, bet jauna komanda vēl nav pieejama) vai pedāļa stāvokļa maiņa attiecīgi saņemtai komandai (ja tika saņemta komanda un tā vēl netika līdz galam izpildīta).

Gāzes pedālis tiek vadīts, izmantojot "Lookup table" pieeju, t.i. tiek nodefinēta un izmantota atbilstība starp pedāļa pozīciju procentos un datiem, kas ir jāsūta automašīnas vadības blokam caur CAN interfeisu, lai sasniegt vēlamo pedāļa pozīciju. Manuālā režīmā vēlama pedāļa pozīcija tiek nolasīta no leņķa sensora, pēc tas tiek atrasti dati atbilstību tabulā un tie tiek sūtīti



Att. 2.6: Bremžu un gāzes pedāļu vadības iegultas sistēmas darbības shēma

automašīnas vadības blokam. Automatiskā režīmā vēlama pedāļa pozīcija, kā arī laika intervāls, kurā ir jāsasniedz to pozīciju, tiek iegūtas no vadības komandas. Gāzes pedāļa vadības komandas formāts ir "$C[000-100][01-50][01-31]%", t.i. komanda sākas ar '$' un 'C' (cruise control - tas kalpo kā otrs sākuma simbols dubultai drošībai) simboliem, tālāk seko vēlama pedāļa pozīcija (procentos, vērtību diapazons = [0; 100], 3 cipari), komandas izpildes laika intervāls (x * 100 ms, vērtību diapazons = [1; 50], 2 cipari), kontrolsumma (pēdējo 5 ciparu summa, vērtību diapazons = [1; 26], 2 cipari) un beidzās ar '%' simbolu. Sī gadījumā pedāļa pozīcija tiek sasniegta tā pat, kā manuālā režīmā, tikai process tiek sadalīts vairākos soļos, atkarībā no nodefinētas komandas izpildes laika intervāla vērtības. Katra darbības ciklā datoram tiek sūtīta pedāļa pozīcija, bet kļūdas gadījumā tiek sūtīts kļūdas ziņojums. Vispār ir iespējamas 4 tipu kļūdas - formata kļūda, pozīcijas vērības kļūda, laika vērtības kļūda, čeksummas kļūda.

Bremžu pedālis tiek pārvietots ar pneimātiskās sistēmas palīdzību. Sistēma sastāv no kompresora, kas aizpilda resiveru ar gaisu, pilnas padeves vārsta, reducētas līnijas un pārspiediena vārsta. Kā rezultāts bremžu pedālis tiek vadīts ar komandam no datora, kurš var ieslēgt/izslēgt kompressoru (atkarīgi no resivera spiediena, kas tiek mērīts ar spiediena sensora palīdzību) un atvērt/aizvērt kādu vārstu (atkarīgi no tā, kas ir jāizdara, t.i. lēni/ātri nospiest/atlaist bremžu pedāli).

Bremžu un gāzes pedāļu iegulta vadības sistēma tiek kontrolēta no datora, kurš plāno kustību. Komunikācija starp datoru un iegulto sistēmu notiek caur UART interfeisu. Dators sūta komandas un rezultātā saņem atbildi ar veiksmīgo komandas saņemšanu/izpildi, pedāļu pozīciju vai kļūdas ziņojumu.

2.4 Rezultāti

Pārskata periodā, sadarbībā ar VPP projektu IMIS, turpināta GCDC sacensību auto tehniskā aprīkojuma izstrāde, kā arī ņemta dalība GCDC sacensībās (Helmonda, Nīderlande). Balstoties uz iepriekšējām aktivitātēm ceļa seguma analīzes tematikā saistībā ar Android viedtālruņu piemērotību datu ievākšanai un analīzei [10], sagatavotas, iesniegtas un akceptētas divas publikācijas [9, 11].

Grupas darbības rezultāti ir prezentēti Viedo sensoru un kvantu skaitļošanas seminārā Elektronikas un datorzinātņu institūtā, kā arī semināros CONET 2011 (Čikāga, ASV) un MobiSensor 2011 (Barselona, Spānija). Atbilstoši GCDC sacensību tehniskajiem noteikumiem, ir sagatavota un iesniegta publikācija, kā arī oficiālais komandas video par aktivitātēm GCDC sacensību kontekstā.

2.5 Kopsavilkums un secinājumi

Piedalīšanas GCDC sacensībās akcentēja risinājuma un risinājuma izstrādes vājas un stipras puses, kas varētu stipri palīdzēt nākotnē.

2.6 Nākotnes perspektīvas

Nākotnē tiek plānotas:

- Bremzes pedāļa vadības risinājuma uzlabošana/testēšana;
- Navigācijas sistēmas programmatūras pilnveidošana/testēšana;
- Navigācijas precizitātes novērtēšana un darbības algoritma uzlabošana;
- Bremzes un gāzes pedāļu vadības programmatūras pilnveidošana/testēšana.

Literatūra

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

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

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

[4] Atmel Corporation. *ATmega48PA/88PA/168PA/328P*, October 2009.

[5] Fastrax Ltd. *IT300 GPS Receiver*, October 2010.

[6] Future Technology Devices International Ltd. *FT232R USB UART IC*, April 2011.

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

[8] Intersil Corporation. *ICM7555, ICM7556 Data Sheet*, August 2006.

[9] A. Mednis, G. Strazdins, R. Zviedris, G. Kanonirs, and L. Selavo. Real Time Pothole Detection using Android Smartphones with Accelerometers (to appear). In *The Second International Workshop on Mobility in Wireless Sensor Networks (MobiSensor 2011), Proceedings of IEEE DCOSS 2011*, 2011.

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

[11] G. Strazdins, A. Mednis, R. Zviedris, G. Kanonirs, and L. Selavo. Virtual Ground Truth in Vehicular Sensing Experiments: How to Mark it Accurately (to appear). In *The Fifth International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2011), Proceedings of SENSORCOMM 2011*, 2011.

Nodaļa 3

EdiMote grupa

Anotācija

EdiMote - universāls rīks bezvadu sensoru mezglu prototipēšanai [4]. Galvenais mērķis ir izveidot platformu, ar kuras palīdzību būtu iespējams ātri prototipēt jaunus bezvadu sensoru mezglus, ar iespēju novērtēt katra moduļa jaudas patēriņu kā arī novērtēt mikrokontroliera programmas efektivitāti. Šajā laika posmā bija trīs galvenie virzieni

- izveidoto programnodrošinājumu un moduļu testēšana
- programnodrošinājums EdiMotes vadībai no datora
- moduļu izvadu standartizācija

Atskaitē ir pieminēts trīs mēnešos paveiktais EdiMotes apakšgrupas ietvaros, mērķi, uzdevumi, problēmas, to iespējamie risinājumi. Ir uzlabots EdiMotes ciparu komutācijas bloks. Veikti vairāki testi ar komutācijas blokiem - testējot mikrokontroliera (MSP430F1611) programmistiska signālu konfigurēšanu ar dažādiem moduļiem - BTM222 [1], LED, CC2420 [2].

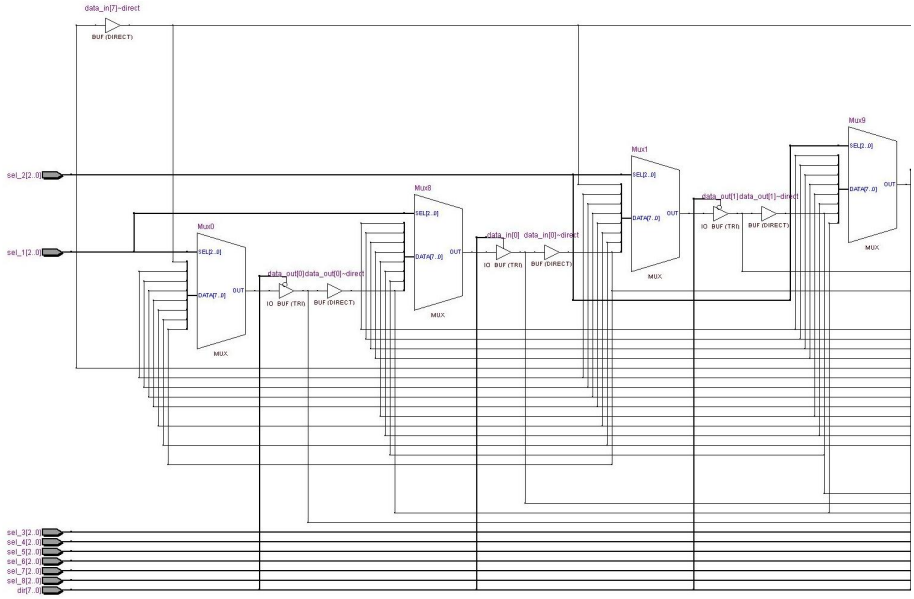
3.1 Ievads

Primārais mērķis ir veikt testus ar BTM222, CC2420 MSP430F1611 moduļiem kā starpnieku imantojot EdiMotes izstrādes rīku. Testu rezultātā tiks pārbaudīta EdiMotes programmistiska ciparu signālu komutēšana, mikrokontroliera programnodrošinājums. Testu gaitā iespējams būs atklātas nepilnības, kas būs jānovērš. Papildus testiem tika veikta datora programnodršinājuma attīstīšana - lietotājam draudzīgas vides veidošana, kas ļautu konfigurēt EdiMoti kā arī tika veikta izpēte moduļu izvadu standartizācijā.

3.2 Risinājums

3.2.1 Ciparu loģikas shēma - CPLD

Attīstot projektu CPLD paralēli tika veikta VHDL literatūras izpēte - **RTL Hardware Design Using VHDL** [3]. Tas ļāva novērtēt kā izstrādes



Att. 3.1: RTL izklājums izmantojot VHDL operatoru **case**

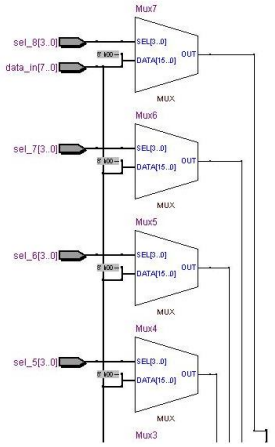
programma implementē uzrakstīto VHDL kodu loģikas līmenī (**Register Transfer Level**) kā arī veidus kā jāmaina VHDL kodu, lai funkcionalitāte paliek viena un tā pati, bet mainītos loģisko elementu skaits un to izkārtojums. Pirmie uzlabojumi tika veikti ar ciparu signālu komutācijas blokiem, iepriekš izveidoto komutācijas bloku **RTL** izklājums ir redzams nākošajā attēlā.

Redzams, ka multiplekseri ir izkārtoti virknē, tas nozīmē, ka katrs multiplekseris ievieš aizturi, kas kopsummā dod zemāku komutējamo signālu maksimālo caurlaižamo frekvenci. Optimāls variants būtu, ka multiplekseri ir izvietoti paralēli vienam pret otru.

Šādu izkārtojumu panāk izmantojot VHDL operatoru **with**, attiecīgais kods ir redzams zemāk:

```
with sel_1 select
        data_out(0)  <= data_in(0)      when "0000",
                        data_in(1)      when "0001",
                        data_in(2)      when "0010",
                        data_in(3)      when "0011",
                        data_in(4)      when "0100",
                        data_in(5)      when "0101",
                        data_in(6)      when "0110",
                        data_in(7)      when "0111",
                        '0'             when others;
```

Šādu bloku ir jākopē tik daudz, cik ir paredzēti multiplekseri, šajā gadījumā būtu nepieciešami astoņi bloki. Šāda pieeja tika testēta izmantojot BTM222 un MSP430F1611 moduli, attīstot šo pieeju tika izveidots vēl viens komutācijas bloks (8x8), tas ļāva pārkonfigurēt divus 8x8 ciparu signālus. Otrs komutācijas bloks komutēja gaismas diodes (LED).
Lai nodrošinātu iespēju komutēt sarežģītākus moduļus kā radio CC2420



Att. 3.2: RTL izklājums izmantojot VHDL operatoru **with**

(komutējamie signāli 10) komutācijas bloks tika papildināts līdz 16 konfigurējamiem ciparu signāliem.

3.2.2 programnodrošinājums EdiMotes vadībai no datora

Ierīces vadībai no datora tiek izmantota virknes (UART) saskarne. To nodrošina EdiMotes prototipā izmantotā FTDI FT4232HL USB-Serial pārveidotāja integrālā mikroshēma, kas nodrošina četru virknes datu plūsmas kanālu komutāciju ar datora USB saskarni, veidojot datorā virtuālos COM portus. Virknes saskarnes datu pārraidei izvēlēti šādi parametri: pārraides ātrums - 460800 biti/sekundē; 8 datu biti; viens „stop" bits; „pāra" paritātes bits. Ar šādiem parametriem maksimālais datu pārraides ātrums ir 40.9 KB/sec.
Ar virknes portu ērti darboties no tādām programmām, kā LabView, Matlab, Python u.c. EdiMotes vadībai izvēlēta Python programmēšanas valoda tās vienkāršības un OS neatkarības dēļ. Izveidota „konsoles" aplikācija, kas darbojas gan Windows, gan Linux vidēs. LabView un Matlab netika izvēlēti, jo lietotājam, kuram nav šo programmatūru, būs jāinstalē attiecīgo rīku „Runtime", kas kopsummā sarežģī EdiMotes rīka uzstādīšanu.

„Konsoles" aplikācija nodrošina datu paku sūtīšanu un saņemšanu. No datora sūtāmie dati tiek formēti kā trīs baitu pakete, kura sastāv no:

- „Komandas" baita;
- „Adreses" baita;
- „Datu" baita.

Sūtītie un saņemtie dati tiek interpretēti kā heksadecimāli skaitļi, ne kā simboli. No EDI Motes saņemto datu apjoms atkarīgs no konkrētās komandas. Šobrīd izstrādātas šādas funkcijas:

- write_data_to_address(self, address, data) – ieraksta datu baitu norādītajā adresē;

- read_single_address_data(self, address) – nolasa datu baitu no pieprasītās adreses;
- read_block_data(self, start_address, nr_of_bytes) – nolasa noteiktu skaitu datu baitu sākot no pieprasītās adreses;

Izveidotās programmas darbības princips ir sekojošs:

- tiek definētas izsaucamo komandu konstantes, kas definētas CPLD;
- izveidota funkcija scan(), kas noskanē datoram pieslēgtos un pieejamos virknes saskarnes portus un izvada pieprasījumu izvēlēties nepieciešamo portu;
- izveidota klase Commands un klases konstruktors ___init___, kas inicializē virknes saskarni ar uzstādītajiem parametriem;
- izveidotas funkcijas darbam ar virknes interfeisu, kas ļauj nosūtīt, nolasīt noteiktu skaitu baitu, atvērt vai aizvērt virknes portu, pārbaudīt pašreizējo aizņemtības statusu;
- izveidotas izsaucamās funkcijas konkrētu parametru uzstādīšanai/nolasīšanai EDI Motē;
- tiek izsaukta programmas galvenā funkcija main(), kas veic sākuma inicializāciju, izmantojot iepriekš definētās funkcijas, un interaktīvā veidā ļauj lietotājam komunicēt ar EDI Moti.

Datora aplikācijas lietošanai ir nepieciešams uzstādīt programmēšanas izstrādes vidi Pyhton. Aplikāciju iespējams izsaukt no Python konsoles, Windows komandu procesora loga. Lietotāja saskarne jeb konsoles aplikācija ļauj izsaukt nepieciešamās funkcijas ievadot to nosaukumu vai ievadot komandai atbilstošu skaitli, kas, ērtības labad, redzams datora ekrānā izvadītajā dokumentācijā, palaižot aplikāciju. Pēc komandas izvēles, lietotājam tiek pieprasīts ievadīt nepieciešamos parametrus. Parametru ievads notiek decimālā vai heksadecimālā formātā (piem., FF). Pēc datu ievades tiek sniegta atbilde vai uzstādītās vērtības apstiprinājums no EdiMotes. No konsoles iespējams izsaukt arī bezparametru funkcijas.

Izstrādāta kļūdu droša komandu izsaukšana, kas ļauj turpināt lietotāja darbu arī pēc nepareizas komandas vai pieprasīto parametru ievades. Pieejamās lietotāja komandas iespējams izvadīt uz datora ekrāna izsaucot komandu printDocumentation. Konsoles aplikācijas uzbūve un izpilde ir sekojoša:

- tiek inicializēta virknes saskarne un izveidots savienojums ar EdiMoti;
- tiek nolasīti visi EdiMotes reģistri (esošā konfigurācija) un ierakstīti failā, kā arī attēloti uz ekrāna;
- tiek izvadītas pieejamās komandas un papildus informācija lietotāja ērtībai;
- izmantojot kļūdu iztveršanas algoritmu, tiek gaidīts komandas ievads. Pareizas komandas ievades gadījumā tiek pieprasīti attiecīgās funkcijas papildus parametri. Kļūdas gadījumā lietotājam pieprasīts atkārtot komandas ievadi;

- izsaucot konkrētu komandu un ievadot parametrus, tiek izpildīta funkcija, kas tieši darbojas ar virknes saskarni vai datora atmiņu;
- iziet no konsoles aplikācijas un atvienot EdiMoti iespējams ar komandu „exit".

Izveidotas divas datu klases - UserExec un Commands. UserExec klasē apkopotas no konsoles izsaucamās lietotāja komandas un to apstrāde, nepieciešamo parametru ievades un informatīvā atbalsta funkcijas. Šajā klasē atrodas arī datu ieraksta un nolasīšanas no faila nepieciešamās funkcijas. Klasē Commands apkopotas virknes interfeisu nodrošinošo komandu funkcijas, komutācijas funkcija un pieslēdzamo moduļu šablonfunkcijas.

Moduļu konfigurācija notiek šādos soļos:

- tiek konfigurēti signālu virzieni (dir reģistru konfigurācija);
- signāli tiek komutēti (sel reģistru konfigurācija).

Lietotājs var brīvi komutēt katra moduļa signālus atsevišķi, norādot katra signāla virzienu un komutācijas adresi, vai arī izmantot izveidotās šablonfunkcijas attiecīgajiem moduļiem.

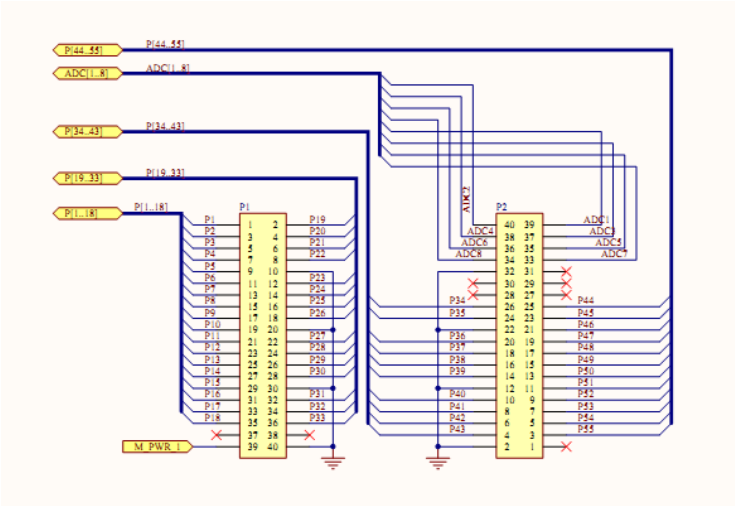
Pieslēdzamajiem moduļiem tiek veidotas gatavas šablonfunkcijas, kas palīdz lietotājam automātiski nokonfigurēt pieslēgtās ierīces caur EdiMoti. Zinot ierīces izvadu konfigurāciju, tiek veidota komutācija ar mikrokontrolieri, kā arī norādīts virziens.
Šobrīd šablonfunkcijas izstrādātas šādiem testējamiem moduļiem - BTM222, CC2420, MSP430F1611 un diviem gaismas diožu moduļiem.

3.2.3 moduļu izvadu standartizācija

Paralēli EDI-Motes platformas (tesbeda) izstrādei notiek arī papilmoduļu izstrāde. ... EDI-motei paredzētos papildinājuma moduļus var iedalīt divās lielās kategorijās:

- mikrokontrolieru moduļi
- sensoru, atmiņas un komunikāciju (radio) moduļi

Mikrokontrolieru moduļiem EDI-motē ir atvēlētēs viena savienojuma vieta ar diviem 40 izvadu spraudņiem.
Istrādājot pirmo mikrokontroliera moduli izvēlētā mikrokontroliera (MSP430F1611) izvadi tika savienoti ar moduļa sprautni tā, lai pēc iespējas atvieglotu iespiedplates izvadu trasēšanu. Veidojot nākamo moduli, vispirms tika pārdomāts kādas mikrokontrolieru izvadu specifiskās īpašibas. Mikrokontroliera izvadus var iedalīt, pēc signālu veidiem ciparu un analogajo signālu izvados. Ciparu signāliem un analogajiem signāliem ir dažāda trokšņoturība, tāpēc shēmtehnikā cenšas atdalīt analogos signālus no ciparu signāliem. Tāpēc arī mikrokontrolieliem analogie izvadi izvietoti intergrālās shēmas kādā no stūriem. Arī EDI-motes mikrokontroliera spaudnim analogie signāli ir atdalīti un novietoti spraudņa vienā malā. Mikrokontroliera



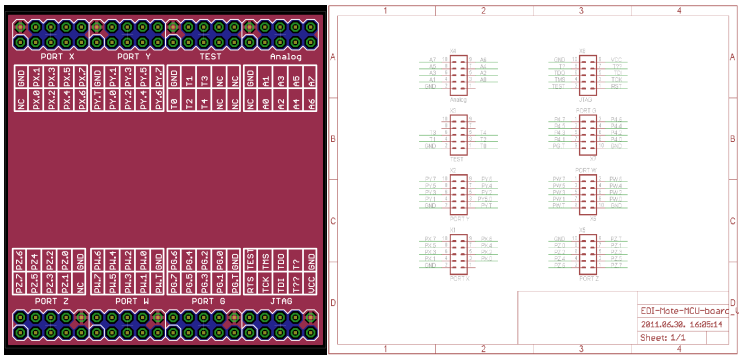
Att. 3.3: Komutācijas bloks

ciparu signālus ir iespējams grupēt pēc funkcionalitātes. Vēsturiski ir iegājies, ka mikrokontrolieru izvadus grupē astoņiem izvadiem (portiem), tāpēc arī veicot izvadu standartizāciju, veicām izvadu grupēšanu pa astoņiem ciparu signāliem, kuriem klāt vēl pievienoti viens zemojuma un viens barošanas izvads. Mikrokontroliera spraudnī šādi ir sagrupētas 5 izvadu grupas (porti). Papildus ciparu datu izvadiem mikrokontrolierim ir arī specifiski programmēšanas izvadi. Dažādiem mikrokontrolieru ražotājiem ir savas programmēšanas saksartnes, bet ir arī standartizētas programmēšanas saksartnes kā, piemēram, JTAG. Tā kā pirmajās EDI-motes revīzijās mēs izmantojām Texas Instruments MSP430 saimes mikrokontrolierus, kuriem ir JTAG programmēšanas saskartne, tad arī to mēs ieviesām pirmajā standartizēšanas piegājienā. Programēšanas savienotājam atvēlēti kopumā astoņi datu izvadi, kurus nākotnē, projektējot citus mikrokontrolieru moduļus, var izmantot arī citām programmēšanas saskarnēm. Lai atvieglotu citiem jaunu mikrokontrolieru moduļu izveidi ir izveidots mikrokontroliera iespiedplates projekta paraugs EagleCad EDA vidē.

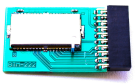
3.3 Eksperimenti un testi

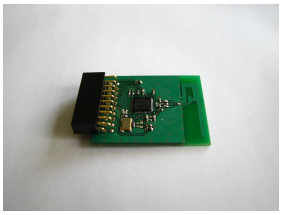
Lai pārbaudītu uzrakstītos ciparu komutācijas blokus tika veikti vairāki testi, gaita katram no šiem eksperimentiem bija sekojoša:

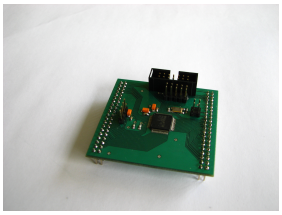
- nodefinēt, kādus signālus komutēs;
- nosūtīt EdiMotei komandas par komutējamiem signāliem;
- ar signālu ģeneratoru un ciparu analizatoru pārbaudīt komutējamo signālu darbību;
- signālu ģeneratoru un ciparu analizatoru aizstāt ar attiecīgajiem moduļiem;



Att. 3.4: Komutācijas bloks







Att. 3.5: Izmantotie moduļi

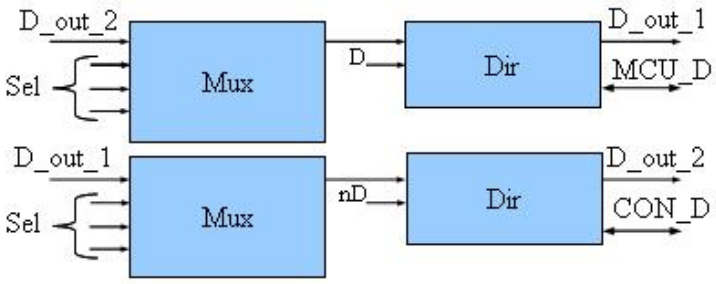
- uzrakstīt mikrokontrolierim programmu, kas nodrošinātu izvēlētā testa pārbaudi.

Pirmais tests bija ar 8x8 ciparu signālu komutācijas bloku, kā pārbaudes līdzeklis tika izvēlēts **MSP430F1611** mikrokontrolieris un **BTM222** modulis (atbalsta **Bluetooth**). Komutējamo signālu daudzums bija trīs signāli – divi no **UART** saskarnes (Rx,Tx) un trešais **reset** signāls.
MCU tika realizēta programma, kas atbalsta **UART** saskarni – 19200 kbaud, bez paritātes bita, 1 stop bits. MCU programma saņemtos datus no **bluetooth** moduļa nosūta atpakaļ. No otras puses programmas testēšanai tika izmantots **bluetooth** modulis (ievietojams datora USB ligzdā). No datora tika sutīti dati un tie paši dati tika saņemti no EdiMotes.

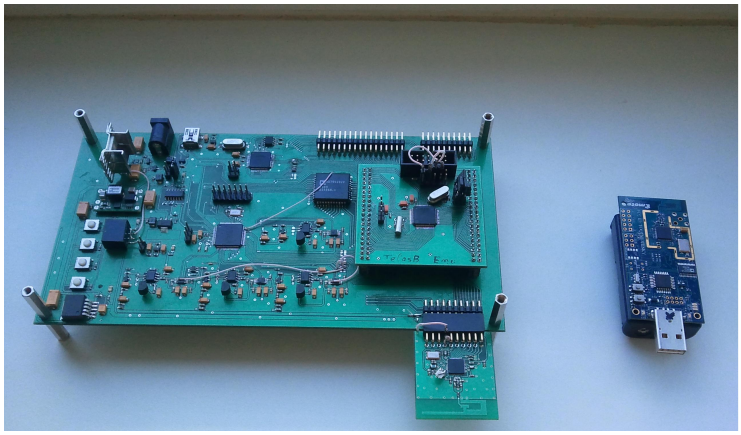
Otrais tests bija divu komutējamo ciparu signālu bloku pārbaude. Viens atbild par **BTM222** un MCU otrs par MCU un gaismas diodēm (LED), experimenta gaita ir identiska iepriekējam. Tika modificēta MCU programma, kas ļāva izspīdināt uz gaismas diodēm pēdējo nosūtīto vērtību (identiska ar vienu baitu)

Trešais tests bija ar radio CC2420 un mikrokontroliera moduli. Šim nolūkam tika papildināts komutācijas bloks ar 16x16 komutējamiem signāliem. Lai sakomutētu šos moduļus ir nepieciešami 10 ciparu signāli.
Veicot testus ar signālu ģeneratoru un ciparu loģisko analizatoru tika atrastas situācijas, kad komutējamie signāli savā starpā konfliktēja.

Signālu konfilkta situācijas izriet no blokshēmas, ja signāls D (direction – virziens) ir viens, tad mikrokontroliera dati tiek padoti uz signālu kopu, attiecīgi



Att. 3.6: Komutācijas bloks



Att. 3.7: EDiMotes komunikācija ar TmoteSky

ar Sel vērtībām var izvēlēties pie kura konektora izvada tiks pieslēgts kāds no mikrokontroliera signāliem. Savukārt, ja signāls D ir nulle, tad mikrokontroliera un konektora signāli tiek apmainīti vietām. Risinājums ir ieviest katram multipleksera un virziena blokam savu vērtību (sel un dir). Šāds risinājums pieprasa divas reizes lielāku atmiņu, kur glabājas vērtības. Modificējot projektu ar šādām specifikācijām tika panākts, ka radio moduli CC2420 ir iespējams programmistiski sakonfigurēt ciparu signālus ar MSP430F1611 mikrokontrolieri. Mikrokontrolieris, kas atrodas uz Edimotes tika uzprogrammēts kā datu sūtītājs (aptuveni katru sekundi sūtīja par vienu palielinātu skaitli) kā saņēmējs tika izvēlēta TmoteSky mote, uz kuras ir uzlādēta programma, kas saņem un izspīdina uz gaismas diodēm pa radio saņemtos datus.

3.4 Rezultāti

Trīs mēnešos galvenaie rezultāti ir:

- uzlabots EdiMotes komutācijas bloks;
- moduļi un to testi;

- moduļu izvadu standartizācija;
- programnodrošinājums EdiMotes vadībai no datora.

3.5 Nākotnes perspektīvas

Nākotnes darbus kā arī līdzšinējos darbus var iedalīt četrās grupās:

- literatūras izpēte;
- ciparu loģiskās shēmas attīstīšana:
  - komutācijas bloka attīstīšana;
  - ciparu signālu atkļūdošana;
  - moduļu jaudas mērīšana;
- moduļu izveidošana kā arī to pieradināšana EdiMotes izstrādes rīkam. Šajā etapā ietilpst arī mikrokontrolieru programmēšana;
- programnodrošinājums EdiMotes vadībai no datora:
  - Konfigurācijas faila veidošana. Iesākts darbs pie datu ieraksta un nolasīšanas no faila funkciju veidošanas. Tas ļautu konfigurēt EdiMoti lietojot iepriekš definētu konfigurācijas failu, kurā definētas visu vai vairāku reģistru vērtības;
  - EdiMotes konfigurācijas nolasīšana un izvadīšana konsolē lietotājam saprotamā izskatā – reģistru vērtību informatīvais atbalsts.

Literatūra

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

[2] CC2420 IC. `http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/cc2420.html`.

[3] P. P. Chu. *RTL Hardware Design Using VHDL*. IEEE press, 2006.

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

Nodaļa 4

MansOS grupa

Anotācija

MansOS grupas mērķis ir izstrādāt operētājsistēmu bezvadu sensoru tīkliem (BST), kā arī strādāt pie šīs operētājsistēmas praktiskajiem pielietojumiem. Lai gan jau eksistē vairākas BST specifiskas operētājsistēmas, tām ir tādi trūkumi kā krauja apmācības līkne vai slikta portējamība. MansOS izvairās no šīm problēmām, sekojot savas arhitektūras vadlīnijām – strādāt mērķauditorijai ar UNIX un C programmēšanas pieredzi, būt lietotājdraudzīgiem, un piedāvāt vieglu portējamību uz jaunām aparatūras platformām. Viens no lietošanas ērtības palielināšanas veidiem ir ērtāka jaunāku operētājsistēmas un lietojumprogrammu versiju uzstādīšana uz sensoru tīkla ierīcēm, tai skaitā pa bezvadu pieslēgumu. Tādas uzstādīšanas atbalsts ir ticis realizēts caur MansOS piedāvāto pārprogrammēšanas mehānismu. Cits lietotājiem svarīgs aspekts ir ērts un intuitīvs paralēlās programmu izpildes modelis. Vairāki varianti tādam mehānismam ir daļēji realizēti vai izplānoti, pie to integrācijas MansOS kodā šobrīd tiek strādāts.

4.1 Ievads

Galvenais mērķis MansOS grupā 2011. gada otrajā ceturksnī bija pārprogrammēšanas mehānisma izprojektēšana un realizācija. Izveidotais pārprogrammēšanas mehānisms atvieglos jaunu MansOS versiju vai jaunu lietojumprogrammu uzstādīšanu uz sensoru tīkla ierīcēm; pirmkārt, ļaujot programmēt sensoru ierīces masveidā (ne tikai pa vienai), otrkārt, ļaujot tās programmēt arī pa bezvadu pieslēgumu, treškārt, ļaujot uz konkrētas sensoru ierīces vienlaicīgi glabāties vairākām izpildāmā koda versijām (pat ja no tām vienlaicīgi ir aktīva tikai viena).

Starp citiem mērķiem jāatzīmē darbs pie jaunu, vienkāršāku un stabilāku pavedienu (*threads*) projektēšanas un realizācijas. Šobrīd MansOS lietotie pavedieni (kuriem par pamatu izmantots Mantis [4] kods) ir ar lielu RAM pārtēriņu, to binārais kods aizņem daudz vietas, izmantotie algoritmi ir nepiemēroti sarežģīti to veicamajiem uzdevumiem, kā arī tie bieži izraisa citu operētājsistēmas daļu nestabilitāti.

Pie MansOS izstrādes šajā ceturksnī notikusi aktīva sadarbība ar Valsts

Pētījumu Programmas projekta IMIS pētniekiem, kas piedalījušies procesu plānotāja izpētē un *Serial Peripheral Interface* (SPI) kopnes atbalsta uzlabotas versijas izstrādē.

4.2 Saistītie risinājumi

4.2.1 Pārprogrammēšana un operētājsistēmas ielāde

Pazīstams un plaši lietots bezvadu pārprogrammēšanas mehānisms ir TinyOS piedāvātais Deluge protokols [2]. Tas ļauj programmu bināro kodu izplatīt bezvadu tīklā, atbalsta vairāku koda versiju uzturēšanu vienā mezglā, iekļauj datu pārbaudi ar kontrolsummām. Pašu pārprogrammēšanu realizē operētājsistēmas ielādes programma (*bootloader*). Deluge tāpat atbalsta "zelta versijas" koncepciju – programmas versiju kas tiek automātiski ieprogrammēta gadījumā, ja iepriekšējai neizdodas palaisties programmatūras kļūdu dēļ.

Kā Deluge protokola trūkumu var minēt to, ka netiek atbalstīta modulāra binārā koda pārprogrammēšana. Tāpat arī šādas pārpogrammēšnas lietotāja interfeiss ne vienmēr ir intuitīvs un jaunam lietotājam viegli apgūstams.

4.2.2 Pavedieni

Arī BST operētājsistēmu lietojumos bieži rodas vajadzība pēc paralēlas izpildes. Var izšķirt trīs galvenos paralēlas izpildes modeļus:

- uz notikumu apstrādi bāzēta izpilde;
- kooperatīvs vairākpavedienu izpildes modelis;
- pilns vairākpavedienu izpildes modelis, iespējams, izslēdzošs (*preemptive*).

Var teikt, ka pirmo modeli (pilnībā asinhrona programmēšana) realizē TinyOS [6]. Tas ir no sensoru tīklu aparatūrai vistuvākais un no šāda viedokļa visloģiskākais. Diemžēl tam piemīt arī virkne trūkumu – tas nav intuitīvs lielai daļai programmētāju, tajā lietotājs var viegli apstādināt visu pārējo programmas daļu darbību, liekot programmas izpildei pārāk ilgi uzkavēties viena notikuma apstrādē u.c.

Contiki operētājsistēma [5] iekļautā *Protothreads* bibliotēka realizē otro no šiem modeļiem. Tā ir lietotājam intuitīvāka par TinyOS piedāvāto, taču arī tai ir vairāki mīnusi – lietotājam atkal ir jākontrolē, ka viņa rakstītais kods ļaus izpildīties arī citām programmas daļām, specifiskās vietās savā kodā ievietojot izsaukumus uz `yield` tipa konstruktiem. Runājot par Contiki realizāciju, jāatzīmē, ka tur netiek pieļauti arī lokālie mainīgie *protothread* funkcijās.

Trešajam modelim (šobrīd MansOS izmantotajam) operētājsistēmai tiek dota maksimāla kontrole pār pavedienu izpildi un plānošanu, taču tas ir arī resursu ziņā visprasīgākais un ar vislielāko koda sarežģītību.

4.3 Risinājums

4.3.1 Pārprogrammēšana un operētājsistēmas ielāde

Pārprogrammēšanas mehānisms sastāv no četrām daļām:

1. binārā programmas koda ielasīšana no diska un nosūtīšana tīklā;

2. koda transports tīklā;

3. koda saņemšana un saglabāšana uz sensoru ierīcēm;

4. saņemtā koda ieprogrammēšana un palaišana.

Ar 1. punktu nodarbojas MansOS čaula (*shell*), kurai pievienotas komandas *load* (ielādē ihex formāta koda failu), *program* (nosūta kodu tīklā, kādai specifiskai iepriekš izvēlētai sensoru ierīcei vai arī visām tīklā esošajām), *reboot* (pārstartē izvēlētas sensoru ierīces, iespējams, tās pārprogrammējot). MansOS čaula sadala mašīnkodu pa blokiem, pievieno tam kontrolsummas, un nosūta tīkla bāzes stacijai, kura to tālāk var izplatīt tīklā, kā arī saglabāt lokāli.

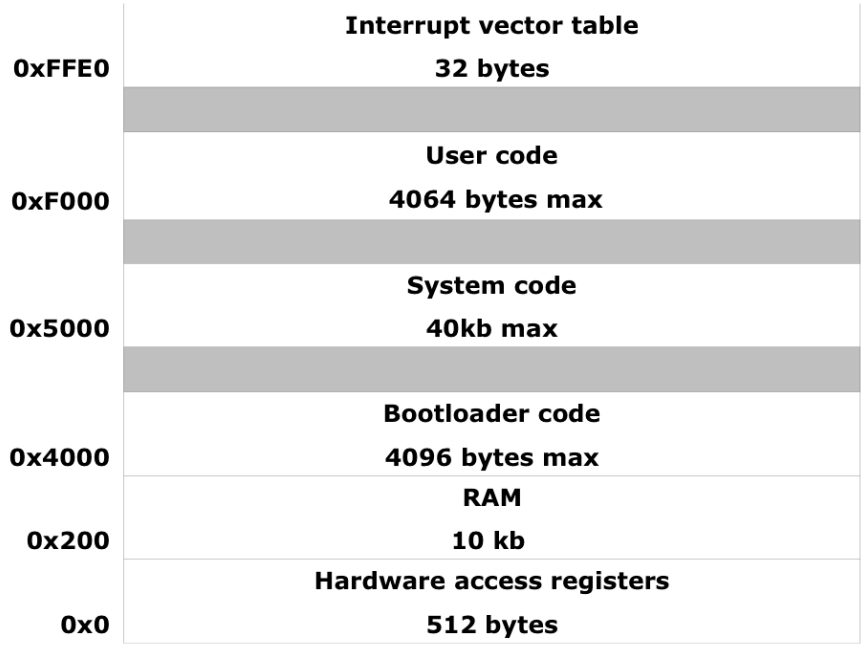
2. punkta izpildei tika atkārtoti izmantots MansOS sastāvā jau esošais SSMP (*Simple Sensor Managemnet Protocol*), kura atbalstītie pakešu datu formāti tika papildināti ar patvaļīgām bināro datu paketēm.

Ar 3. punktā iekļautajām funkcijām nodarbojas pārprogrammēšanas bāzes stacija – modulis, kuru var iekļaut jebkuras MansOS programmas kodā, norādot konfigurācijas failā `USE_REPROGRAMMING=y`. Kodu saņemot, tiek pārbaudīta tā kontrolsumma, un veiksmīga rezultāta gadījumā saņemtais koda bloks ierakstīts ārējā zibatmiņā.

Pašu pārprogrammēšanu (4. punkts) veic operētājsistēmas ielādes programma (*bootloader*). Tā kā nav iespējams pārprogrammēt tās koda daļas, kuras konkrētajā brīdī tiek izpildītas, tad ielādes programma atrodas speciālā atmiņas apgabalā, kas pārprogramēšanai pakļauts netiek. Attēlā 4.1 redzams MansOS izmantotais Tmote Sky atmiņas sadalījums. Redzams, ka uz šīs arhitektūras ielādes programma atrodas pašā zibatmiņas sākumā, un var aizņemt līdz 4096 baitiem.

Operētājsistēmas startēšanās sekvence ir atkarīga no zibatmiņas "info" sektoros saglabātajiem konfigurācijas parametriem. Tajos ietilpst tāda informācija kā tas, vai veikt pārprogramēšanu, neveiksmīgo pārprogrammēšanas reižu skaits (izmantots, lai atkārtotu neveiksmju gadījumā automātiski ielādētu "zelta versiju"), iekšējās un ārējas zibatmiņas adreses, kurās izvietot un no kurām ņemt programmas kodu. Ja vajadzība pēc pārprogramēšanas ir tikusi norādīta parametros, un barošanās spriegums ir pietiekošs zibatmiņas rakstīšanai (lielāks par $2.7V$), kods tiek pārrakstīts no attiecīgajām ārējās uz iekšējās zibatmiņas adresēm. Jebkurā gadījumā, konfigurācijā norādītā iekšējās zibatmiņas adrese ir vieta, kur atrodas operētājsistēmas kods, kuru ierīce sāk izpildīt pēc ielādes programmas darba beigām.

Pārprogrammēšanas mehānisms atbalsta zināmu modularitāti. Specifiski, iespējams atsevišķi pārprogrammēt vai nu tikai "lietotāja", vai "sistēmas" kodu. Pirmais var būt lietderīgi gadījumos, kad gribas izmanīt programmas loģiku, otrais – kad nepieciešams labot kļūdas pašā operētājsistēmā vai atjaunot to uz jaunāku, papildinātu versiju. Tā kā MansOS programmēšanas modelis paredz īsu un vienkāršu lietotāja kodu, pēc noklusēšanas tam iekšējā zibatmiņā ir atvēlēti tikai četri kilobaiti (attēls 4.1). Pārējie četrdesmit (vēl četri ir rezervēti ielādes programmai) MSP430 iekšējas zibatmiņas var tikt izmantoti sistēmas un bibliotēku kodam. MansOS čaulā šis atbalsts modulārai pārprogrammēšanai var tikt izmantots, komandai *program* norādot argumentus *"user"* vai *"system"*.



Att. 4.1: Tmote Sky atmiņas izkārtojums (*memory map*)

4.3.2 Pavedieni

Šobrīd norit darbs pie diviem jauniem pavedienu modeļiem, ar kuriem paredzēts aizvietot MansOS esošo. Pirmais no tiem tiks sīkāk aprakstīts tālāk, otrais (pie kura strādā Viesturs Siliņš no VPP) šobrīd ir plānošanas stadijā.

Šajā ceturksnī MansOS grupā tika izprojektēts un realizēts jauns pavedienu mehānisms. Mehānisma būtība ir ļoti vienkārša: startējoties sistēmai, tiek rezervēta atmiņa (fiksēts apgabals stekam) vienam lietotāja pavedienam. Tas turpmāk var izpildīties paralēli sistēmas kodam, kurš izpildās pats savā kontekstā. Starp kontekstiem notiek periodiska pārslēgšanās. Pagaidām ir paredzēts tikai vien lietotāja pavedienus, taču, rezervējot vairāk atmiņas, šādu pašu metodi varētu lietot arī vairāku lietotāja pavedienu atbalstam.

Kods var izpildīties kādā no trim kontekstiem:

1. lietotāja konteksts;
2. sistēmas konteksts;
3. pārtraukumu konteksts.

Lietotāja kontekstā izpildās `userMain()` funkcija, kas realizē lietotāja galveno ciklu. (Ir jāpiebilst, ka lietotājām šajā funkcijā ciklu realizēt nav obligāta prasība, viņš var arī iekļaut tajā tikai inicializācijas kodu, un pēc tā izpildīšanās pilnībā atdot kontroli sistēmai.) Lietotāja pavedienam ir savs steks, statisks atmiņā apgabals, kura izmēri tiek noteikti kompilācijas laikā

(128 baiti pēc noklusējuma). Kontroles nodošana no lietotāja uz sistēmu var būt brīvprātīga (izsaucot `sleep()` vai `yield()` funkcijas), taču tā notiek arī piespiedu kārtā: periodiski skaitītāja pārtraukumā. Līdz ar to lietotājs nespēj ne nejauši, ne ļaunprātīgi uzrakstīt kodu, kas darbotos šajā kontekstā un bloķētu visu sistēmas darbību.

Sistēmas kontekstā izpildās sistēmas galvenais cikls, kurš iekļauj sevī pārtraukumu izpildes aizturētu apstrādi un citas, vairāk vai mazāk periodiskas sistēmas darbības. Šajā kontekstā izpildās tīkla protokolu (MAC, *routing*, *link estimation* u.c.) kods, kā arī dažādu atgriezenisko izsaukumu (*callback*) kods, tai skaitā lietotāja atgriezenisko izsaukumu kods.

Var teikt, ka no sistēmas viedokļa šī pavedienu realizācija ir kooperatīva, jo cikla beigās ir `yield()` izsaukums, kurš atdod kontroli lietotāja pavedienam. Sistēmas kontekstā izmantotais steks ir kompilatora pēc noklusēšanas rezervētais, tam papildus atmiņa nav vajadzīga.

Pārtraukumu kontekstā izpildās tikai pārtraukumu apstrādes funkcijas. Šim kodam ir jābūt maksimāli īsam, kā arī vēlams tajā izvairīties no rekursīvas funkciju izsaukšanas, ierobežotā steka izmēra dēļ. Jāpiebilst, ka šim kontekstam nav sava atsevišķa steka, tā vietā tiek izmantots pārtraukumu izsaukšanas brīdī aktīvā procesa steks, kas var būt jau lielā mērā aizpildīts.

Resursu kontroles (*locking*) mehānisma izstrāde un koda integrēšana MansOS gan ir darbi, kuru veikšana vēl ir priekšā.

4.3.3 SPI kopnes protokola atbalsts

SPI ir viens no populārākajiem protokoliem mikro-kontroliera un perifērijas iekārtu komunikācijai, tai skaitā, sensoriem, radio raiduztvērējiem un zibatmiņas mikroshēmām.

Līdz šim MansOS operētājsistēmā tika realizēti vairāki dziņi, kas izmantoja SPI komunikāciju, tai skaitā, CC2420 [1] radio raiduztvērēja un M25P80 [3] zibatmiņas dziņi. Tomēr katrs dzinis implementēja SPI protokolu (funkcijas `spiInit(), spiSendByte()`) savām konkrētajām vajadzībām.

Uzlabotajā implementācijā, SPI protokols izveidots kā gatava saskarne, kas izmantojama dziņu izstrādē: tiek piedāvātas gatavas funkcijas `spiInit(busId), spiOn(busId), spiOff(busId), spiSendByte(busId, byte), spiSendWord(busId, word), spiSend(busId, buffer, bufLen)`, kas nepieciešamas komunikācijai ar perifērijas iekārtām. Šo funkciju implementācija atrodas platformas mikro-kontrolieru (MSP430, ATMega) implementācijas daļā, HPL līmenī.

Vairums mikro-kontrolieru piedāvā aparātisku SPI kopnes implementāciju: tās izmantošanai jānokonfigurē attiecīgie reģistri un perifērijas iekārtas jāsavieno ar noteiktām mikrokontroliera kājām. Papildus iespējams izmantot arī programmatūras līmeņa implementāciju. Tā var būt noderīga gadījumos, kad perifērijas iekārtu kādu iemeslu dēļ nav iespējams pievienot pie kājām, ko pieprasa aparātiskā SPI implementācijā, vai arī nepieciešams izmantot vienlaikus vairākas SPI iekārtas.

MansOS uzlabotā versija piedāvā gan aparātisko, gan programmatūras līmeņa SPI kopnes atbalstu. Pie tam, tiek piedāvāts vienots interfeiss: komandas `spiInit(busId), spiSendByte(busID, byte)` (u.c.) darbojas vienādi abos variantos, atšķirtas tikai norādītais `busId`. Aparātiskajai SPI implementācijai tiek izmantoti kopnes identifikatori `busId` no 0 uz

augšu, programmatūras SPI implementācijai tiek izmantota speciāla konstante `SPI_BUS_SW`.

Šāda pieeja piedāvā vienkāršāku sensoru, zibatmiņu un citu perifērijas iekārtu dziņu izstrādi, nodalot atsevišķi:

- perifērijas iekārtu dziņu izstrādi – dzinis izmanto `spiXXX` komandas, neatkarīgi no platformas, kurā iekārta atrodas
- platformas iekārtu konfigurāciju – jānorāda tikai identifikators SPI kopnei, pie kuras iekārta atrodas un kontroliera kāju numuri, pie kurām iekārta pievienota

4.3.4 Citi papildinājumi

Kā nozīmīgāko jaunievedumu MansOS čaulā, atskaitot pārprogrammēšanas komandas, var minēt *sense* komandu, kas nolasa sensoru rādījumus. Tāpat arī lietotāju ērtībai un demonstrācijām pievienota *led* komanda, ērtai gaismas diožu kontrolēšanai.

Runājot par MansOS būvēšanas sistēmu, tai pirmoreiz ir pieejama alternatīva *GCC toolchain* vietā – grafiskā izstrādes vide *IAR Embedded Workbench*. Tā atvieglos operētājsistēmas atkļūdošanu, salīdzinot ar problemātiskajiem *open source* rīkiem, kā arī atvieglos MansOS un Texas Instruments eZ430-Chronos koda integrāciju. Pie šī projekta darbojies arī Jānis Judvaitis.

Starp vēl paveiktajiem darbiem var pieminēt BST *TestBed* iekārtu un infrastruktūras izvietojuma izplānošana pa EDI B-korpusa telpām.

4.4 Kopsavilkums un nākotnes perspektīvas

MansOS grupā šajā ceturksnī tika:

- veikta pārprogrammēšanas mehānisma izprojektēšana un realizācija;
- izveidota MansOS operētājsistēmas ielādēšanas programma (*bootloader*);
- veikta jauna, vienkāršota pavedienu mehānisma izprojektēšana un realizācija (darbs izstrādes stadijā);
- pievienots universāls SPI kopnes protokola atbalsts;
- pievienots atbalsts jaunai grafiskai izstrādes videi (*IAR Embedded Workbech*);
- ar jaunam komandām papildināta MansOS čaula (*shell*);
- veikts darbs pie lietotāju atbalsta un programmatūras koda uzturēšanas;
- veikta BST *TestBed* iekārtu un infrastruktūras izvietojuma izplānošana pa telpām;
- LynxNet apakšprojekta [7] ietvaros Reinholds Zviedris un Artis Mednis uzstājas Latvijas Radio 1 populārzinātniskajā raidījumā "Zināmais nezināmajā";

- LynxNet apakšprojekta [7] ietvaros sadarbībā ar Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava" speciālistiem veikta esošo radio lokācijas iekārtu izpēte;
- sadarbībā ar EdiMote grupu pabeigta CC430 moduļa izstrāde;
- prezentēti darbības rezultāti Viedo sensoru un kvantu skaitļošanas seminārā Elektronikas un datorzinātņu instutūtā.

Kā nākotnē veicamos darbu var atzīmēt jaunā pavedienu mehānisma integrēšanu MansOS kodā, resursu kontroles (*locking*) mehānisma ieviešanu tam, tīkla steka noportēšanu uz jauno pavedienu mehānismu. Paredzams, ka jaunais pavedienu mehānisms nebūs vienīgais no MansOS piedāvātajiem programmēšanas modeļiem (tiek plānota arī kooperatīvā paralēlās programmēšanas modeļa iekļaušana), līdz ar to jāpiedāvā arī mehānisms, kas lietotājiem ērtā veidā ļautu kādu no tiem izvēlēties. Tāpat plānota MansOS koda pielāgošana darbam uz CC430 mikrokontroliera, kā arī LynxNet [7] 2. prototipa iekārtas izstrāde.

Literatūra

[1] CC2420 Datasheet. `http://www.ti.com/lit/gpn/cc2420`.

[2] Deluge: TinyOS Network programming. `http://www.cs.berkeley.edu/~jwhui/deluge/documentation.html`.

[3] M25P80 Datasheet. `http://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Numonyx,Intel/M25P80.pdf`.

[4] S. Bhatti, J. Carlson, H. Dai, J. Deng, J. Rose, A. Sheth, B. Shucker, C. Gruenwald, A. Torgerson, and R. Han. MANTIS OS: An Embedded Multithreaded Operating System for Wireless Micro Sensor Platforms. *Mobile Networks and Applications*, 10(4):563–579, 2005.

[5] A. Dunkels, B. Grönvall, and T. Voigt. Contiki - a lightweight and flexible operating system for tiny networked sensors. *Local Computer Networks, Annual IEEE Conference on*, 0:455–462, 2004.

[6] P. Levis, S. Madden, J. Polastre, R. Szewczyk, K. Whitehouse, A. Woo, D. Gay, J. Hill, M. Welsh, E. Brewer, and D. Culler. Tinyos: An operating system for sensor networks. In *in Ambient Intelligence*. Springer Verlag, 2004.

[7] R. Zviedris, A. Elsts, G. Strazdins, A. Mednis, and L. Selavo. Lynxnet: Wild animal monitoring using sensor networks. In P. Marron, T. Voigt, P. Corke, and L. Mottola, editors, *Real-World Wireless Sensor Networks*, volume 6511 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 170–173. Springer Berlin / Heidelberg, 2010. 10.1007/978-3-642-17520-6_18.

Nodaļa 5

SAntArray grupa

Anotācija

SAntArray grupas mērķis ir izveidot vienkāršu antenu ar elektroniski vadāmu virziendarbību. Šajā atskaitē aprakstīts jauns ESPAR antenas variants.

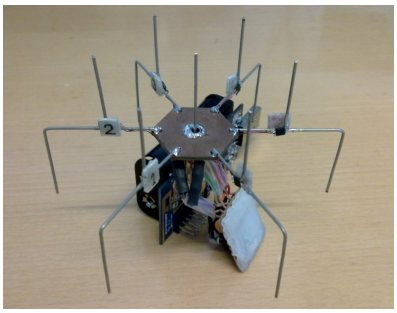
5.1 Ievads

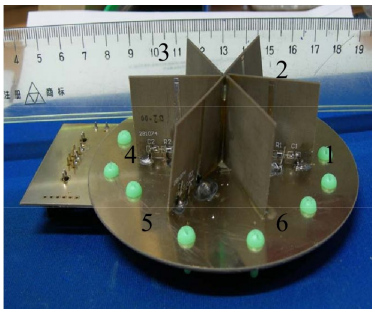
Lai nodrošinātu bezvadu sensora darbību tam nepieciešams enerģijas avots. Bieži bezvadu sensoru pielietojumos nepieciešams ilgs datu ievākšanas laiks – sekojoši arī ilga bezvadu sensora darbība. Tādējādi var teikt, ka enerģijas taupīšana un racionāla izlietošana ir svarīgs uzdevums sensoru mezgla ilgas darbības nodrošināšanai. SAntArray darba grupā apskatām iespēju ieaupīt enerģiju samazinot raidīšanas jaudu izmantojot Elektroniski vadāma parazītisko (pasīvo) elementu masīva (ESPAR) tipa virziena darbības antenu. Šobrīd eksistē vairāki šāda tipa antenu varianti: sākot no 7 elementu ESPAR antenas [5] līdz pat SPIDA antenai [3]. Pirmajai ir neierobežots virziendarbības variantu skaits, kas savukārt prasa sarežģītu vadību. Otrajai ir ierobežots virziendarbības variantu skaits bet vienkārša vadība. No mehāniskās konstrukcijas viedokļa šī ir nedaudz nepraktiska, jo viegli deformējama. Savukārt pirmā ir parāk liela un masīva lai to plaši lietotu sensoru tīklos. Antenas izmērus var samazināt, tās elementus ievietojot dielektriskā materiālā ar lielu ϵ un maziem zudumiem, [2]. Tāpēc tika nolemts izveidot antenu apvienojot esošo prototipu labākās īpašības:

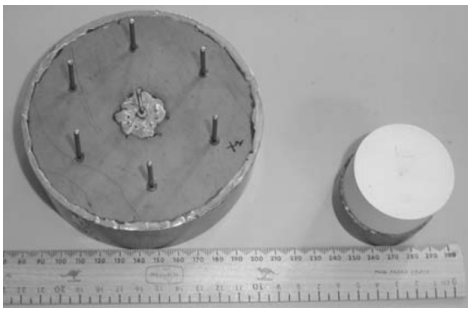
- ESAPR antenas konstrukcija: monolīta pamatne
- SPIDA vadība - pasīvos elementus vada izmantojot elektroniski vadāmu slēdzi
- Antenas elementi ievietoti dielektriskajā materiālā

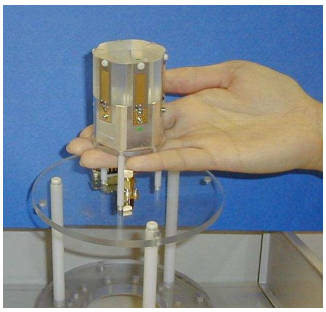
5.2 Saistītie risinājumi

IEEEXplore digitālā bibliotēka satur 112 publikacijas, kas satur atslēgas vārdu ESPAR un lielākoties ir sasitīti ar šā tipa antenu pielietojumiem add-hoc tīkos

a) 

b) 

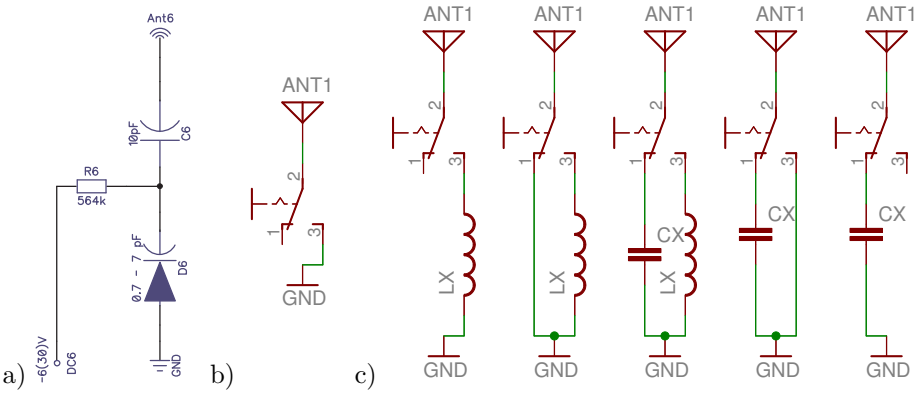
c) 

d) 

Att. 5.1: Dažādi elektroniski vadāma parazītisko (pasīvo) elementu antenas risinājumi: a) [3], b) [6], c) [2] un d) [7].

vai raidītāja virziena noteikšanas sistēmās. Daži lietoto antenu varianti doti 5.1 zīmējumā. Klasiskās `ESPAR` antenās pasīvie elementi noslogoti ar varikapu palīdzību, izmantojot slēgumu, kas parādīts 5.2.a zīmējumā. Šai antenai ir neierobežots virziendarbības variantu skaits, taču antenas darbībai jānodrošina 6 neatkarīgi maināmi, stabīli vadības spriegumi. Sensoru mezglā, to, mūsuprāt, visvienkāršāk realizēt izmantojot I^2C vadāmus potenciometrus. Tas savukart padara sensoru mezgla vadību nedaudz smagnēju. Savukārt `SPIDA` antenā pasīvie elementi vienkārši tiek īzslēgi izmantojot elektroniski vadāmu slēdzi, atbilstoši slēgumam 5.2.b zīmējumā.

Parasti `ESPAR` antenām pasīvie elementi parasti ir $\lambda/4$ attālumā no tās centrā izvietotā aktīvā elementa. Pati antena atrodas uz pamatnes ar rādiusu apmēram $\lambda/2$, kas darba frekvencei 2.44 GHz atbilst ≈ 6.2 cm. Bez tam, lai nodrošinātu labāku antenas virziendarbību vertikālajā plaknē, antenas pamatne balstās uz cilindriskas aploces. Klasiskajai `ESPAR` antenai cilindriskā pamatne ir izvirpota no dzelzs, ka tas redzams 5.1.c zīmējumā, un tāpēc tā ir smaga. Savukārt `SPIDA` antenas 5.1.a pamatu veido stiepļu konstrukcija. Tā ir lētāka izgatavošanā, vieglāka, taču parāk viegli deformējama. Bez tam, mūsuprāt, tāds risinājums nenodrošina pietiekoši efektīvu "pretsvaru" monopola antenām. Risinājums, kas redzams 5.1.b zīmējumā, nodrošina antenas mehānisko izturību. Antenas izmērus var samazināt, tās elementus ievietojot dielektriskā materiālā ar lielu ϵ un maziem zudumiem kā tas redzams 5.1.c zīmējumā pa labi un 5.1.d zīmējumā. Antenas izmēri samazinās apmēram par $\sqrt{\epsilon}$. Izmantojot FIK keramiku ar $\epsilon = 4.5$ [2], iegūstam $\lambda/2 = 2.9$ cm. Savukārt organiskā stikla gadījumā [7], ņemot $\epsilon = 3.4$, $\lambda/2 = 3.3$ cm.



Att. 5.2: Pasīvo antenas elementu slodzes varianti: a) `ESPAR` [4], b) `SPIDA` [3] un c) dažādas reaktīvās slodzes kombinācijas.

5.3 Risinājums

Mūsu antenā tika nolemts apvienot esošo prototipu labākās īpašības: antenas elementi ievietoti organiskā stikla cilindrā un novietoti uz monolītas pamatnes. Pasīvos elementus vada izmantojot elektroniski vadāmu slēdzi. Nepadarot antenas vadību būtiski komplicētaku, pasīvajiem elementiem iespējams lietot dažadas reaktīvās slodzes, kā tas dots 5.2.c. zīmējumā.

Lai gūtu ieskatu, kā mainās antenas īpašības atkarībā no reaktīvās slodzes, tika veikti skaitliskie aprēķini ar `NEC2` programmatūru [1] vienkāršotai sistēmai: divu elementu `ESPAR` antenai (viens aktīvais un viens pasīvais elements) uz bezgalīgas ideāli vadošas pusplaknes. Šādas antenas izmērus raksturo trīs lielumi

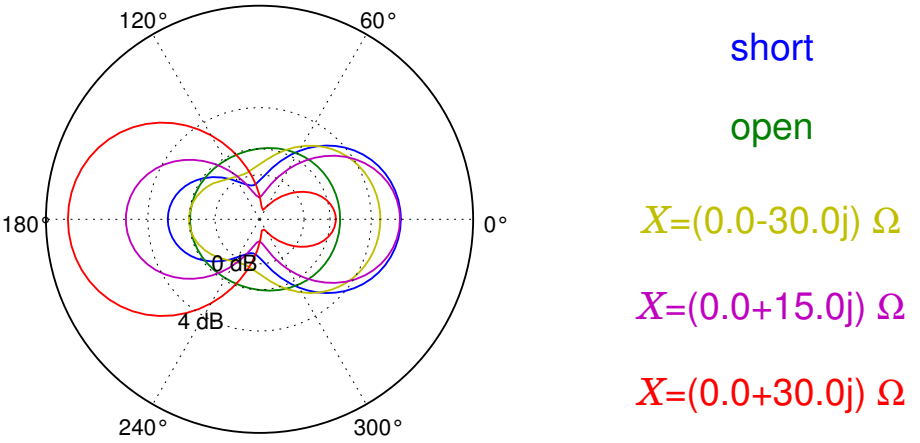
h_a: aktīvā elementa garums

h_p: pasīvā elementa garums

r_p: attālums starp aktīvo un pasīvo elementiem

Vispirms, 5.3 zīmējumā attēlota vienkāršotās antenas starojuma virziena diagramma atkarībā no reaktīvās pretestības X, kas pieslēgta antenas pasīvā elementa izejā. Antenas izmēri izvēlēti izmantojot sekojošus apsvērumus: $r_p = 0.25\,\lambda$, kā tas parasti ir `ESPAR` antenām; $h_a = 0.225\,\lambda$ ir rezonanses garums monopola antenai uz bezgalīgas ideāli vadošas pusplaknes. Tas ir nedaudz mazāks par $\lambda/4$, jo tiek ņemts vērā antenu veidojošās stieples diametrs, kas šoreiz ir $0.008\,\lambda$. Savukārt h_p ir īsāks par h_a lai tas īsslētā režīmā darbotos kā stara novirzītājs, kā to var redzēt zīmējumā, nevis kā atstarotājs. Interesanti, ka arī izolēts pasīvais elements nedaudz ietekmē starojuma diagrammu. Redzam, ka pasīvais elements ar kapacitīvu slodzi ($\Im m(X) < 0$) arī darbojas kā novirzītājs. Lai elements kļūtu par atstarotāju, tam ir jāpievieno pietiekoši liela induktīva slodze ($\Im m(X) > 0$). Tas arī ir iemesls, kāpēc klasiskajai `ESPAR` antenai [5] pasīvo elementu pie varikapa pieslēdz ar savienotājlīniju, kuras garumu izvēlas tā, lai tās viļņu pretestība būtu induktīva.

Antenas starojuma diagrammu var būtiski ietekmēt arī tās ģeometriskie izmēri. 5.4 zīmējumā salīdzinātas starojuma diagrammas divām vienkāršotām

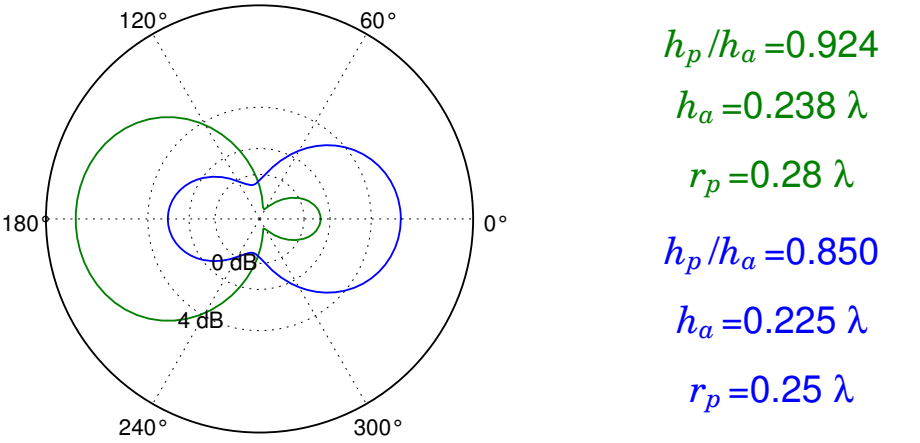


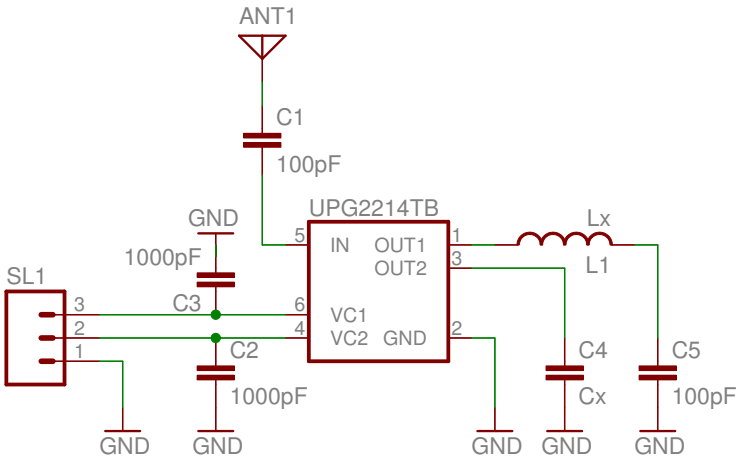
Att. 5.3: `ESPAR2` virziendarbības diagrammu atkarība no vadības reaktīvās pretestības. Antenas izmēri ir $r_p = 0.25\,\lambda$, $h_a = 0.225\,\lambda$, un $h_p = 0.85 h_a$.

antenām ar īsslēgtiu pasīvo elementu. Pirmās izmēri ir tādi paši, kādi lietoti 5.3 zīmējumā, bet otrai izvēlēti atbilstoši `SPIDA` antenas izmēriem [3]. Kā redzams, neskatoties uz to, ka pasīvais elements ir īsāks par aktīvo, tas ir kļuvis par atstarojojošu.

Tātad, pareizi izvēloties gan antenas izmērus gan arī pasīvā elementa slodzi, var panākt vēlamos apstākļus antenas virziendarbības sintēzei. Pie kam, var izvēlēties gan konservatīvu situāciju, kurā vienā slēdža stavoklī pasīvais elements netiek slogots un tādēļ šis elements antenas virziendarbību ietekmē minimāli, gan arī agresīvu startēgiju, kur vienā slēdža stāvoklī elements ir atstarojošs, bet otrā novirzošs. Lai samazinātu antenas izmērus, ir nepieciešams izvairīties no induktīvās savienotājlīnijas lietošanas.

Att. 5.4: `ESPAR2` virziendarbības diagrammu atkarība antenas ģeometriskajiem izmēriem. Pasīvais elements ir īsslēgts.





Att. 5.5: `ESPAR` antenas pasīvā elementa komutācijas shēma.

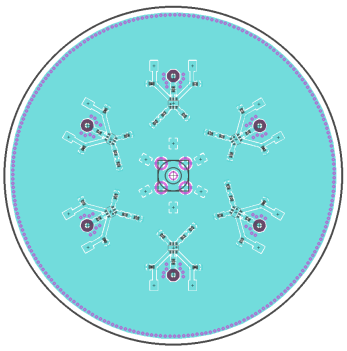
Antenas izveidē kā slēdža elements tika izvēlēts `UPG2214TB` [8] un izstrādāta slēguma shēma, kas dota 5.5 zīmējumā. Tā kā komutatoram uz ieejām un izejām ir līdzstrāvas komponente, ir jālieto atsaistīšanas kondenzatori C_1 un C_5. Ar C_x un L_x maina slodzes reaktīvo pretestību. Lai īsslēgtu antenu, C_x kapacitatei ir jābūt vienādai ar līdzstrāvas komponenti atsasitošo kondensatoru kapacitāti. Antenas galīgā izpildījumā, kad pasīvie elementi vienmēr atrodas dielektriskajā materiālā, C_1 var nelietot, tādējādi vienkāršojot iespiedplati.

5.4 Rezultāti

Uz šo brīdi ir izgatavots antenas prototips bez iespējas veikt pasīvo elementu komutāciju, kā arī komutācijas iespiedplate, kas abi parādīti 5.6 zīmējumā. Antenas prototipa organiskā stikla cilindra diametrs ir 6 cm, bet biezums 4 cm. Par antenas pamatni ir izmantota pārtikas konservu kārba, kas izgatavota no dzelzs. Tā nosegta ar divpusējā tekstolīta plāksni. Ar šo prototipu iespējams nomērīt vienkāršotās divelementu antenas starojuma diagrammu īsslēgtam pasīvajam elementam atkarībā no h_a un h_p pie 8 fiksētām r_p vērtībām. Pagaidām sistematiski merījumi vēl nav uzsākti.

Savukārt iespiedplate antenas pamatnei ar iebūvētu pasīvo elementu komutāciju izveidota tā, lai $r_p \approx \lambda/4\sqrt{\epsilon}$ darba frekvencē. Tā kalpos gan mērījumu veikšanai dažādām reaktīvajām slodzēm gan arī kā testlpate, lai noskaidrotu dažus ar slēdža `UPG2214TB` darbības īpatnībām saistītus jautājumus. Piemēram, slēdzim ir divi vadības signāli, kuri nosaka slēdža stāvokli. Dokumentācijā [8] nav atrodama informācija par to, kas notiek, ja abiem vadības signaliem ir pievadīts zems spriegums. Ja šajā gadījumā slēdzis paliek "nepieslēgtā starpstāvoklī", tad mēs principā esam ieguvuši trispozīciju slēdzi un vienā antenā varam apvienot gan konservatīvo gan arī agresīvo starojumu diagrammas veidošanas stratēģiju.





Att. 5.6: Izgatavotais prototips un antenas pamatnes ar pasīvo elementu komutāciju iespiedplate.

5.5 Kopsavilkums un secinājumi

- Izstrādāta koncepcija jauna tipa `ESPAR` antenai, kurai analogu literatūrā pagaidam nav izdevies atrast,
- Izveidots vienkāršotas antenas prototips,
- Izveidota iespiedplate antenas pamatnei ar pasīvo elementu komutāciju.

5.6 Nākotnes perspektīvas

Kā nākotnes perspektīvas gribētu noradīt iespēju turpināt samazināt antenas izmērus izvēloties citu dielektrisko materiālu ar lielāku ϵ vērtību.

Literatūra

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

[2] 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.

[3] M. Nilsson. Directional antennas for wireless sensor networks. In *Proceedings of 9th Scandinavian Workshop on Wireless Adhoc Networks (Adhoc'09)*, page 4, Uppsala, Sweden, 2009.

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

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

[6] J. Sun, W. Chen, and Z. Feng. A novel dielectric-supported switched parasitic antenna array. In *Antennas and Propagation Society International Symposium 2006, IEEE*, pages 2325 –2328, july 2006.

[7] M. Taromaru and T. Ohira. Electronically steerable parasitic array radiator antenna- principle, control theory and its applications. In *Proc. Int. Union of Radio Science General Assembly*, New Dehli, India, 2005.

[8] NEC's 1/2w low voltage L, S-band SPDT switch UPG2214TB.

Nodaļa 6

SenSigA grupas atskaite

Anotācija

Lai efektīvi diskretizētu, pārraidītu un atjaunotu plaša dinamiskā diapazona EEG signālus, tika izstrādāts EEG signālu pastiprinātājs, Asinhronais Sigma-Delta Modulators (ASDM), ASDM diskretizācijas un signāla atjaunošanas datorprogramma, bezvadu datu pāraides simulācija, kā arī veikti vairāki eksperimentālie pētījumi un sistēmas uzlabojumi.

6.1 Ievads

Pasaulē
arvien aktuālāka kļūst precīzu smadzeņu signālu jeb elektroencefalogrammas (EEG) signālu ieguves un apstrādes tematika. Izstrādājot domu jūtīgu saskarni (*Brain Computer Interface*), ir iespējams iegūt smadzeņu elektrisko aktivitāšu attēlojumu noteiktā smadzeņu apgabalā, ko ir iespējams izmantot, lai detektētu dažādas smadzeņu slimības un disfunkcijas. Šāda ierīce var tikt izmantota arī ikdienas dzīvē, lai ar tās palīdzību varētu kontrolēt citas vadības ierīces, piemēram, ieslēgt apgaismojumu, spēlēt datorspēles vai pat vadīt automašīnu. Šādu signālu galvenās īpašības ir to relatīvi mazā amplitūda ($\sim 10 - 100\mu V$), kuru ir nepieciešams pastiprināt, un plašs dinamiskais diapazons, kas pieprasa augstas izšķirtspējas analogo ciparu pārveidotāju. Lai nodrošinātu maksimāli precīzu smadzeņu aktivitāšu analīzi, ir nepieciešami vairāki sensori jeb kanāli, un, lai neradītu cilvēka kustību ierobežojumus, šādai ierīcei ir jābūt ar bezvadu datu pārraidi.

Lai risinātu esošās problēmas un izveidotu domu jūtīgu saskarni, ir izstrādāts EEG signālu pastiprinātājs, Asinhronais Sigma-Delta modulators signāla kodēšanai, vairāki algoritmi datu iegūšanai un signāla atjaunošanai, simulācijas bezvadu datu pārraidei izmantojot *Chirp* modulāciju, kā arī izveidoti eksperimentālie maketi un veikti pētījumi.

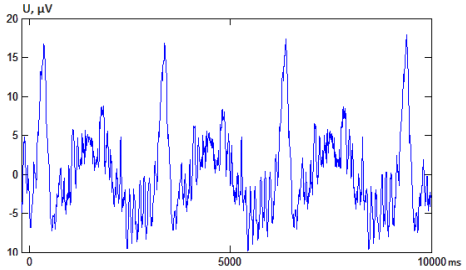
6.2 Saistītie risinājumi

Pastāv vairākas pieejas, kā veidot daudzkanālu sistēmas, izmantojot gan uz amplitūdas kodēšanu balstītu, gan uz laika kodēšanu balstītu analogo ciparu pārveidošanu. Šādas daudzkanālu sistēmas var tikt pielietotas elektroencefalogrammas signālu iegūšanā, ko arī demonstrē [5] avotā pieejamā publikācija. Sistēmā tiek lietots Asinhronais Sigma-Delta modulators, kas amplitūdas informāciju pārvērš laika informācijā. Datu pārraidei tiek izmantota *Chirp* signālu un OFDM kombinācija.

Laika kodēšanas metode tiek pielietota arī [2] avotā minētajā daudzkanālu modelī, kas paredzēts neironu potenciāla izmaiņu detektēšanai. Informācija tiek kodēta, izmantojot integrēšanas un izsitienu metodi (*integrate-and-fire*). Šāda metode tiek izmantota arī [3] avotā minētajā sistēmā.

6.3 Risinājums

Elektroencefalogramma ir smadzeņu elektriskās aktivitātes (bioelektriskā potenciāla) ierakstīšana no skalpa, kas ir kā reakcijas uz maņu kairinājumu, piemēram, redzes, dzirdes, sajūtu u.c., ko rada neironi, kas ir nervu sistēmas pamatvienība, kas sastāv no šūnas ķermeņa un izaugumiem un vada nervu impulsus. Potenciāla izmaiņas vienā šūnas daļā attiecībā pret citu rada "atvērtus" potenciāla laukus, kurā var plūst strāva, un šo starpību ir iespējams nomērīt. EEG signāli tiek ierakstīti, izmantojot elektrodus, kas izvietoti uz skalpa, kas kalpo kā devējs, kas uztver biopotenciāla izmaiņas un pārvērš tās elektriskajā strāvā.[4] Parasti EEG signāla amplitūda ir no 10 - 100μV un frekvence dažādiem viļņiem ir no 1Hz līdz dažiem simtiem Hz. *Matlab* vidē simulēta EEG signāla forma ir redzama 6.1. attēlā, kas tālāk tiek izmantots Asinhronā Sigma Delta modulatora simulācijās.



Att. 6.1: EEG signāls

Lai nodrošinātu maksimāli precīzu šāda plaša dinamiskā diapazona signāla kodēšanu, ir nepieciešams ACP ar lielu izšķirtspēju.

Lai būtu iespēja pieslēgt reālu plaša dinamiskā diapazona EEG signālu pie ASDM maketa, ir nepieciešams izveidot EEG signālu pastiprinātāju, jo signāla amplitūda ir realatīvi maza $\sim 10 - 100\mu V$ un to nepieciešams pastiprināt 1000 vai vairāk reizes. Šādiem biopotenciāla pastiprinātājiem pastāv vairāki būtiski kritēriji, kuri obligāti ir jāievēro, veidojot šādu pastiprinātāju.

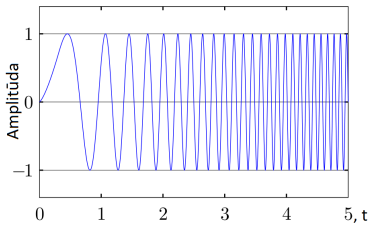
Pirmkārt, biopotenciāla pastiprinātājiem ir jābūt pēc iespējas augstākai ieejas pretestībai (virs 10MΩ).Otrkārt, pastiprinātāja ieejas ķēdei ir jānodrošina aizsardzība organismam, kuram tas tiek pielietots. Treškārt, pie mazām signāla amplitūdām svarīgi ir ierobežot pastiprināmā signāla frekvenču joslas platumu un pastiprināt tikai tās frekvenču spektra daļas, kuras atbilst mērāmajam biopotenciālam. Kā būtisks kritērijs var tikt uzskatīts arī pastiprinātāja ātras kalibrēšanas iespēja.

Ar elektrodiem iegūtais EEG signāls parasti svārstās ap nulles līmeni. Šādos gadījumos vislabāk lietot diferenciālos pastiprinātājus, jo šādiem bipolāriem elektrodiem parasti ir sinfāzais spriegums, kurš ir daudz lielāks par signāla amplitūdu attiecībā pret zemi, tāpēc nepieciešams lietot biopotenciāla diferenciālos pastiprinātājus ar augstu sinfāzo traucējumu nospiešanas koeficientu, lai mazinātu sinfāzo traucējumu interferenci.

Lielākajā daļā EEG sistēmu pacients netiek iezemēts, tā vietā tiek izmantots labās kājas elektrods (*Driven-Right-Leg*), lai savienotu sistēmu ar ķermeni. [4]

Attiecīgi, ievērojot šos kritērijus, ir iespējams izveidot biopotenciāla pastiprinātāju, kura izejas signālu padodot ASDM ieejā, EEG signāla amplitūdas informācija tiek pārvērtsta laika kodā.

Inovatīva pieeja ASDM binārā izejas signāla efektīvai bezvadu datu pārraidei ir "Čiepstošā" (angliski *Chirp*) modulācija, kur tiek lietoti *Chirp* signāli. *Chirp* signāls (6.2. attēlā) ir īpašs ar to, ka šādam signālam frekvence laikā vai nu pieaug, vai arī samazinās (*Up-Chirp*, *Down-Chirp*). Visbiežāk tiek izmantoti



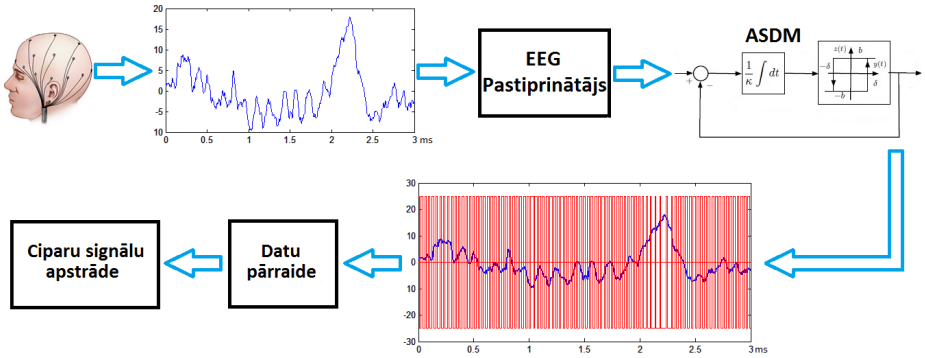
Att. 6.2: *Up-Chirp* signāls

Chirp signāli, kuriem frekvence laikā mainās lineāri. *Chirp* modulācija ir platjoslas modulācijas veids, kurai ir plats frekvenču spektrs, kas signālu pārraidē dod daudz priekšrocību, kā piemēram, iespēju cīnīties ar interferenci jeb divu vai vairāku signālu pārklāšanos, kā arī ļauj vairākus signālus pārraidīt vienā un tajā pašā joslā vienlaicīgi, izvairoties no interferences iespējamības.[7]

Chirp modulācijas priekšrocība ir augsta trokšņu noturība un stabilitāte, kā arī zemi enerģijas patēriņi. Šāda pieeja ir relatīvi mazu izmaksu, mazu izmēru ļoti efektīva daudzpiekļuves sistēma, kas nodrošina zemu interferenci starp lietotājiem. Šāds modulācijas veids var tikt izmantots daudzkanālu ACP sistēmās vienlaicīgai datu pārraidei. [6]

6.4 Eksperimentālie rezultāti

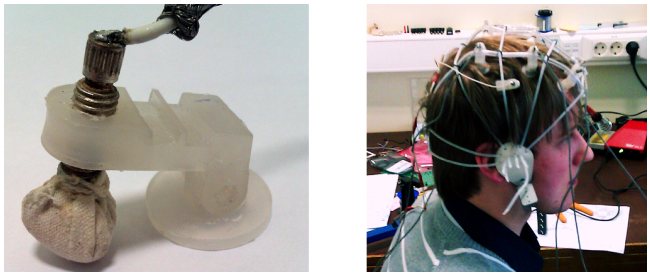
Balstoties uz teoriju, tika izveidota eksperimentālā sistēma, kuras blokshēma vienam kanālam ir parādīta 6.3. attēlā. Tā sastāv no EEG signāla iegūšanas,



Att. 6.3: Eksperimentālā sistēma

izmantojot elektrodus, EEG signālu pastiprinātāja, kur pastiprinātais signāls nonāk ASDM, kur tas tiek kodēts un tālāk pārraidīts uz datoru, kur notiek ciparu signālu apstrāde.

Lai iegūtu EEG signālu, bieži tiek izmantoti bipolārie elektrodi (eksperimentā tiek izmantoti sudraba hlorīda tiltveida elektrodi, kas tiek samitrināti ar fizioloģisko šķīdumu un novietoti uz skalpa (6.4. attēls)). Kad



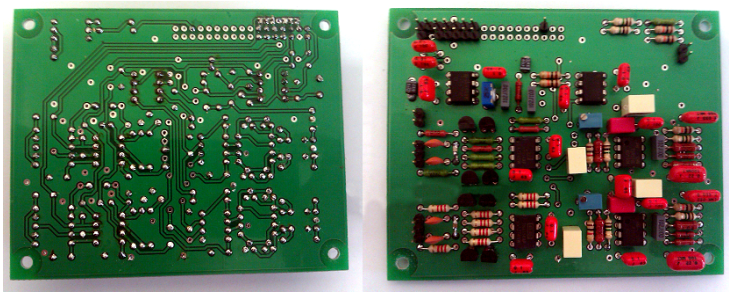
Att. 6.4: Ag/Cl tiltveida elektrods un EEG cepure

EEG signāls ir iegūts, to ir nepieciešams pastiprināt. Balstoties uz teorijas analīzi un izvirzītajiem kritērijiem, tika atrasts jau gatavs atvērtais risinājums, kas pieejams avotā [1]. Atlasot vajadzīgās komponentes un salodējot plati, tika izveidots biopotenciāla pastiprinātāja makets (6.5. attēls).

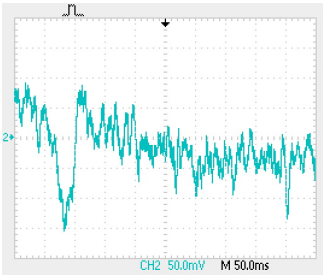
Ja abos uz skalpa novietotajos elektrodos potenciāls ir vienāds, tad pastiprinātāja izejā ir nulles spriegums, bet ja starp šiem elektrodiem rodas potenciāla izmaiņa, kas rodas no smadzeņu aktivitātēm, EEG pastiprinātājs ar diferenciālo ieeju pastiprina šo atšķirību, un pastiprinātāja izejā ir redzams EEG signāls (6.6. attēls).

Iegūto EEG signālu ir nepieciešams pārveidot ciparu formā. Kā jau tika minēts, tas tiek darīts, izmantojot uz laika kodēšanu balstītu Asinhrono Sigma-Delta modulatoru (6.7 attēls).

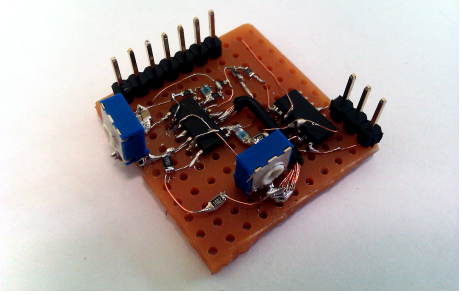
Veicot vairākus eksperimentus, tika secināts, ka ASDM var tikt izmantots EEG signāla kodēšanai, un iegūtos laika momentus ir nepieciešams pārraidīt uz datoru, kur varētu veikt signāla atjaunošanu.



Att. 6.5: EEG signālu pastiprinātājs



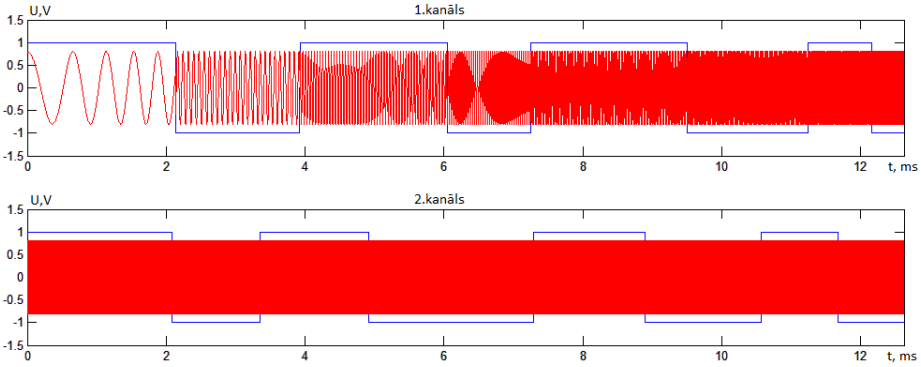
Att. 6.6: EEG signāls pastiprinātāja izejā



Att. 6.7: Asinhronais Sigma-Delta modulators

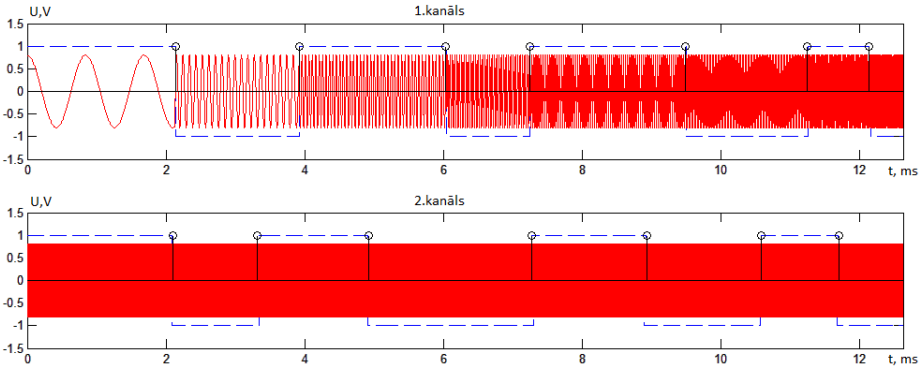
Viena pieeja efektīvai datu pārraidei ir izmantot iepriekš aprakstīto *Chirp* modulāciju. Tāpēc tika izveidota *Matlab* programmas simulācija. 6.8. attēlā redzamie uzformētie *Chirp* signāli (sarkanā krāsā) tiek piemēroti ASDM trigera izejas signālam (zilā krāsā), mainot frekvenci pie katras trigera pārslēguma vietas. Katram ASDM signālam tiek piemēroti 8 *Chirpi*, kuru skaitu var mainīt. Pēc astotā *Chirp* signāla, nākamajam laika sprīdim tiks piemērotas pirmā *Chirp* frekvences utt. Uzskatāmībai 6.8 attēlā ir parādīta tikai divu kanālu sistēma, bet izveidotā programma ļauj mainīt kanālu skaitu plašā diapazonā.

Balstoties uz teoriju, ir izveidots signāla atjaunošanas algoritms atkarībā no uztvertajiem *Chirp* signāliem. 6.9. attēls demonstrē uztvertos *Chirp* signālus (sarkanā krāsā), trigera izejas signālu (zilā krāsā) un pēc algoritma atjaunotos



Att. 6.8: 2 kanālu *Chirp* modulācija

laika momentus, kuros pārslēdzas trigeris (ar melniem stabiņiem un aplīšiem to galā). Zinot šos laika momentus, kuros pārslēdzās trigeris, ir iespējams atjaunot sākotnējo ASDM ieejas signālu. Laika momentu noteikšanas precizitāti būtiski

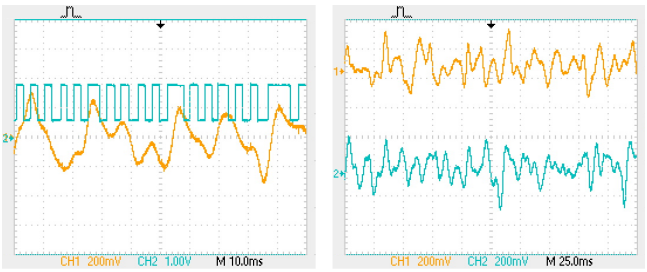


Att. 6.9: 2 kanālu *Chirp* modulācijas signāla atjaunošana

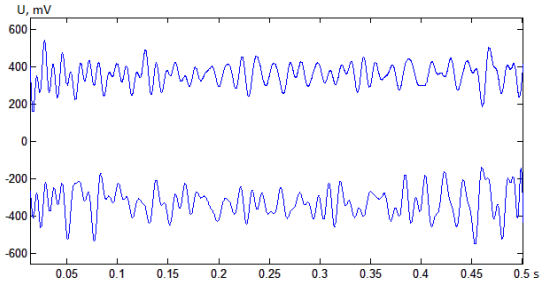
ietekmē *Chirp* signālu izvēlētās frekvences, jo lielāks frekvenču solis, jo precīzāk tiek atrastas pārslēguma vietas.

Lai būtu iespēja iegūt vairākus EEG datus, lietojot ASDM, tika izveidota daudzkanālu sistēma. Izveidotās daudzkanālu sistēmas kanālu skaitu iespējams palielināt, izstrādājot papildus iepriekšminētās komponentes. 6.10. attēlā a) redzams ASDM ieejas EEG signāls (dzeltenā krāsā) un atbilstošā trigera izeja (zilā krāsā), bet b) attēlā redzama EEG pastiprinātāja izeja, kurā redzami 2 kanālu pastiprinātie EEG signāli.

Attiecīgi pārraidot ASDM laika momentus uz datoru un pielietojot izveidoto signāla atjaunošanas algoritmu, ir iespējams atjaunot abu kodēto kanālu signālus (6.11. attēls).



Att. 6.10: a)EEG signāls (dzeltenā) un atbilstošais trigera izejas signāls (zilā), b)EEG pastiprinātāja 2 kanālu izejas signāli



Att. 6.11: 2 kanālu atjaunotie EEG signāli

6.5 Kopsavilkums un secinājumi

Izveidotā daudzkanālu eksperimentālā sistēma sastāv no elektrodiem, EEG pastiprinātāja, Asinhronajiem Sigma-Delta modulatoriem, mikrokontrolieriem, raiduztvērējiem un datora, kurā notiek signālu ciparapstrāde.

Par eksperimentālās sistēmas ieejas signālu ir izvēlēts plaša dinamiskā diapazona signāls - EEG signāls, kura amplitūda svārstās no $10 - 100\mu V$, bet frekvence no $0,5 - 100Hz$. Izveidotās EEG signāla *Matlab* simulācijas dod iespēju iepazīties ar signāla raksturu, kā arī ļauj to lietot ASDM darbības pārbaudei. Izmantojot Ag/Cl tiltveida elektrodus, ir iegūti arī reāli EEG signāli no cilvēka skalpa, kas ļauj secināt, ka EEG signāla vērtības var strauji mainīties ļoti plašā diapazonā, tāpēc, lai kodētu šādu signālu, ir nepieciešams augstas izšķirtspējas ACP.

Par cik iegūto EEG signālu amplitūda ir salīdzinoši maza, tiek lietots EEG signālu pastiprinātājs, lai palielinātu signāla amplitūdu. Izveidotais EEG signālu pastiprinātāja makets, signālu spēj pastiprināt vairāk kā 1000 reizes. Eksperimentālie rezultāti ļauj secināt, ka izveidotais pastiprinātājs atbilst izvirzītajiem biopotenciāla pastiprinātāja kritērijiem un ka ar to ir iespējams iegūt 2 kanālu pastiprinātus EEG signālus reālā laikā.

Lai kodētu pastiprināto EEG signālu ciparu formā, tiek izmantots uz laika kodēšanu balstīts Asinhronais Sigma-Delta modulators. Veiktās simulācijas *Simulink*, *Matlab* un *PSpice* vidēs ļauj secināt, ka ASDM ir piemērots EEG

signālu kodēšanai ar augstu precizitāti. No simulācijām izriet, ka ļoti svarīgi ir pareizi izvēlēties ASDM parametrus, kā arī zināt precīzus ASDM izejas signāla pārslēgšanās laika momentus, lai varētu atjaunot signālu ar augstu precizitāti. To pierāda arī izveidotais ASDM makets un veiktie pētījumi. Simulācijās iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka ir iespējams atjaunot ASDM ieejas signālu ar starpības kļūdu mazāku par 0,00001%.

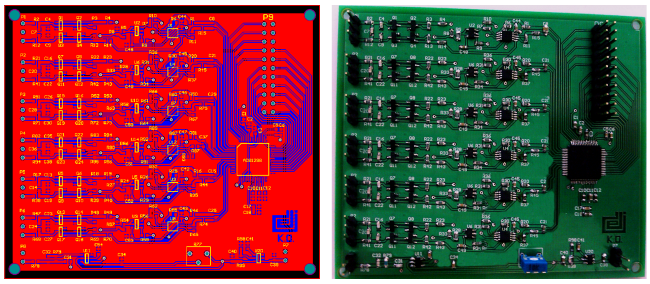
ASDM izejas signāla laika momentus ir iespējams pārraidīt dažādos veidos, viens veids kā to darīt ir izmantot *Chirp* modulāciju. Simulācijas rezultāti ļauj secināt, ka šāda datu pārraide ir iespējama un ka to var pielietot daudzkanālu sistēmām. No simulācijām izriet, ka precīza laika momentu noteikšana atjaunošanas daļā ir atkarīga no izvēlēto *Chirpu* signālu frekvences, jo lielāks frekvenču solis, jo precīzāka datu pārraide un signāla atjaunošana.

Veidojot ASDM maketu, ir nepieciešams izmantot ātrdarbīgus un maztrokšņojošus operāciju pastiprinātājus, lai nodrošinātu augstāku sistēmas precizitāti.

Izmantojot izveidoto daudzkanālu eksperimentālo sistēmu, ir iespējams iegūt EEG signālus, pastiprināt tos, kodēt, pārraidīt un datorā atjaunot ar augstu precizitāti, līdz ar to sistēma ir piemērota EEG signālu attālinātai ieguvei, kā arī domu jūtīgās saskarnēs.

6.6 Nākotnes perspektīvas

Tālāk tiek izvirzīti turpmākie darbi - izveidot jaunu, augstas izšķirtspējas EEG signāla iegūšanas sistēmu, kas balstīta uz amplitūdas kodēšanu. Pirmās iestrādes ir redzamas 6.12. attēlā, kur attēlota izprojektētā un jau salodētā 6 kanālu, 24 bitu sistēma, kas ietver arī EEG signālu pastiprinātāju.



Att. 6.12: 6 kanālu, 24bitu EEG signālu iegūšanas sistēma

Pie nākotnes perspektīvām pieder arī jaunas 32 un vairāk kanālu EEG sistēmu izveide, kas balstīta uz ASDM un būtu maksimāli kompakta izmēru ziņā (virsmas montāža vai čips). Izveidot algoritmus EEG signālu apstrādei, dažādu signālu atpazīšanai un reģistrēšanai, kā arī izveidot aplikācijas, kas spētu veikt darbības, izmantojot iegūtos elektroencefalogrammas signālus, piemēram, kontrolēt citas vadības ierīces. Kā arī, izveidot ASDM izejas signāla efektīvu bezvadu datu pāraides maketu.

Literatūra

[1] `http://openeeg.sourceforge.net/doc/index.html`.

[2] A.A.Lazar. *Multichannel time encoding with integrate-and-fire neurons.* Department of Electrical Engineering, Columbia University, USA, 2005.

[3] A.S.Alvarado, L.Choudur, and J.C.Principe. *Time Encoding Using The Integrate And Fire Sampler: A Discriminative Representation For Neural Action Potentials.* Department of Electrical and Computer Engineering, University of Florida, Gainesville, 2011.

[4] J.G.Webster. *Medical Instrumentation, Application and Design, fourth edition.* 2010. 683.lpp.

[5] S.Senay, L.F.Chaparro, M.Sun, R.Sclabassi, and A.Akan. *Asynchronous Signal Processing for Brain-Computer Interfaces.* Department of Electrical and Computer Engineering, 2008.

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

[7] Y.Ju and B.Barkat. *A New Efficient Chirp Modulation Technique for Multi-User Access Communications Systems.* Nanyang Technological University, School of Electrical & Electronic Engineering, 2010.