

Prijavitelj: Fakulteta za pomorstvo in promet, UL

Partnersko podjetje: Instrumentation Technologies, elektronska
instrumentacija in produkti za procesiranje signalov, d.d.

Rezultati projekta

Vpliv motenj na zagotavljanje kakovosti sistemov elektronskega cestninjenja

Poročilo skupine študentov FE in FPP o delu na projektu Po kreativni poti do znanja:

(FE) Andraž Debevc, Natalija Nadbath, Črt Letnar, Aljaž Blatnik Peter Miklavčič in
(FPP) Alex Topić, Aljaž Jakin, Sandi Kmetič, Aljaž Hrovat

Pedagoški mentorji:

prof. dr. Matjaž Vidmar (UL FE), dr. Matej Bažec (UL FPP), dr. Franc Dimc (UL FPP)

Delovni mentor: dr. Sebastjan Zorzut, Instrumentation Technologies, d.o.o.

Datum izdelave poročila: 14. april 2017

Kazalo vsebine

I.	Povzetek celotnega projekta.....	2
	Povzetek opravljenega dela	
II.	Delo projektne skupine FE	3
	Izgradnja obstoječega amaterskega spektralnega analizatorja	
	Razvoj novih komponent/blokov spektralnega analizatorja	
III.	Delo projektne skupine FPP	10
	Programiranje detektorja	
	Sestavljanje krmilnega dela detektorja	
IV.	Obisk podjetja Instrumentation Technologies.....	16



Slika 0: Prvo srečanje projektne skupine, 4. november 2016, Laboratorij za servanje in optiko 2, UL FE

Povzetek celotnega projekta

Prometna infrastruktura se podobno kot druga področja avtomatizira, digitalizira in tudi korenito posodablja. Vedno bolj prihajajo v ospredje pametne naprave, ki za medsebojno komunikacijo uporabljajo elektromagnetno valovanje v radijskem spektru. Obveščanje, navigacija, varnost in udobje voznika so področja, katerih si ne znamo predstavljati brez sodobne tehnologije. Mednje nedvomno sodi tudi elektronsko cestninjenje, h katerega uvedbi se je zavezala tudi Republika Slovenija. Z množično uporabo pa se povečujejo tudi zlorabe, ki lahko povzročijo motnje v delovanju sistema cestninjenja, kar v praksi pomeni satelitskih navigacijskih sistemov, to pa v najslabšem primeru lahko tudi ogroža varnost udeležencev v prometu.

Učinkovito zaznavanje motilnikov bi imelo poleg pozitivnih učinkov za gospodarstvo in razvoj, zaradi manjšega oškodovanja proračuna, tudi pozitivne učinke na prometno varnost. V času praktičnega vpeljevanja satelitskega cestninjenja za tovorni promet v Republiki Sloveniji, odločanja o vpeljavi podobnega sistema za osebna vozila in vedno naraščajočim zanašanjem ljudi na elektronske navigacijske naprave, je to še kako pomembno.

Za analizo signalov v prometu in tudi drugod je v glavnem na voljo le omejen nabor bolj ali manj prilagodljivih in natančnih sprejemnikov za posamezne vrste signalov, ki jim manjka univerzalnost ter draga komercialna merilna oprema, spektralni analizator, ki je univerzalen merilni instrument, uporaben na najrazličnejših področjih znanosti in tehnike (npr. v kemiji, astronomiji, fiziki ...), potreben pa je tudi za raziskovalne in pedagoške namene. Na žalost je tak instrument zaradi ponudbe na trgu cenovno težko dostopen študentom, raziskovalcem, pedagogom, učencem, radioamaterjem, fizikalnim in astronomskim društvom, manjšim podjetjem v industriji, ipd. Gre namreč za izjemno občutljivo merilno opremo, ki pa jo je vseeno možno za večino teh potreb razviti v okviru Univerze in izdelati z relativno široko dostopnimi materiali in orodjem.

Razvoj cenovno dostopne naprave, s katero bomo odkrivali šibkosti sprejemnikov GNSS, zahteva industriji znano rabo elektronskih komponent - na meji njihovih zmogljivosti. Take komponente je potrebno najti, preizkusiti, primerjati in izbrane povezati v napravo. Pri razvoju pa je potrebno paziti tudi na to, da je izdelava naprave čim lažja, cenejša in jo je možno ponovljivo izdelati. Eden izmed problemov, ki jih projekt obravnava, je tako razvoj naprave, na trgu vredne nekaj deset tisoč evrov, za nekaj sto evrov.

Povzetek opravljenega dela

Celotno delo projekta je bilo razdeljeno na sestavljanje in preizkušanje dveh, med seboj dopolnjujočih se naprav. Na Fakulteti za elektrotehniko (UL FE) so razvijali in sestavili spektralni analizator, na Fakulteti za pomorstvo in promet (UL FPP) pa so izboljšali detektor s programirljivim radijem.

Delo na FE so si razdelili na dva dela. Prvi del je vključeval izgradnjo in popravilo obstoječega (že razvitega) spektralnega analizatorja, ki ga je razvil prof. Matjaž Vidmar, z namenom učenja in spoznavanja vseh sestavnih delov takšne naprave, drugi del pa je vzporedno peljal razvoj novih, posodobljenih digitalnih delov, ki bi nadomestili stare in zastarele gradnike, ki so težko ali pa celo ne dobavljivi.

Na FPP se je del študentov odločil za študij programiranja v sistemu Linux, drugi del pa za izgradnjo delov detektorja, s katerimi so krmilili programirljivi radio in procesor v Raspberry-Pi. Strojni del opreme temelji na detektorju iz projekta v okviru PKP II. Preizkus zaznavanja motilnikov GNSS je bil izveden v laboratoriju in ob cestah.

Delo projektne skupine FE

Izgradnja obstoječega amaterskega spektralnega analizatorja

Spektralni analizator Matjaža Vidmarja, je bil za izgradnjo mišljen kot amaterski komplet tiskarin in ohišji za izgradnjo celotne naprave. Tiskanine so bile izdelane v tovarni, ravno tako tudi vsa medeninasta in aluminijasta ohišja. Žal se originalni negativi tiskarin hranijo le v podjetju, ki je tiskanine prvotno izdelalo, pa še ti so v vprašljivem stanju. Kit kompletov je s časoma zmanjkalo, v času pisanja tega poročila pa je na voljo le še en komplet praznih tiskarin. Delo je bilo zato zasnovano na oživljanju nedelujočega spektralnega analizatorja, ki sta ga predhodno sestavljali dve drugi osebi.

Žal se je tekom dela pokazalo, da je odpravljanje vseh napak precej bolj zamudno, kot pa začeti s praznimi tiskarinami, saj smo tako pogosto iskali šivanko v kupu sena, ter porabili veliko več časa, da smo napako odkrili, kot bi jo, če bi sami sestavljali vezje.

Sprva smo reševali probleme napajanja, kjer se je izkazalo, da vzrok tiči v nedelujočem stikalnem napajalniku. Napako smo popravili z zamenjavo tuljave ter dveh aktivnih komponent. Ena izmed težav, je bila tudi polomljen vhodni slabilec, kjer smo z ustrezno zamenjavo ter nameščanjem dodatnih distančnikov napako v celoti odpravili.

Napačna obstoječa vezava interne logike spektralnega analizatorja, je vodila v nedelovanje celotne naprave. S skrbnim preverjanjem vsake izmed povezav, smo z veliko truda napako tudi odpravili, ter tako oživili spektralni analizator.

Ojačevalna stopnja po drugem mešalniku je zahtevala menjavo aktivne naprave, z ugotavljanjem trenutnega stanja, ter podrobno analizo moči signalov, smo s postopno analizo določili problematičen aktivni element in ga zamenjali z novim tranzistorjem.

Sledilo je precizno uglasčevanje vseh sit naprave, posebna pozornost je bila namenjena uglasčevanju LC sit, ter kristalnega filtra, kjer je bilo ustreznost delovanja preverjena na analizatorju vezji.

Končno so bili vsi sestavni deli povezani v celoto, ter pritrjeni v enotno ohišje, naprava pa je bila dobro testirana.

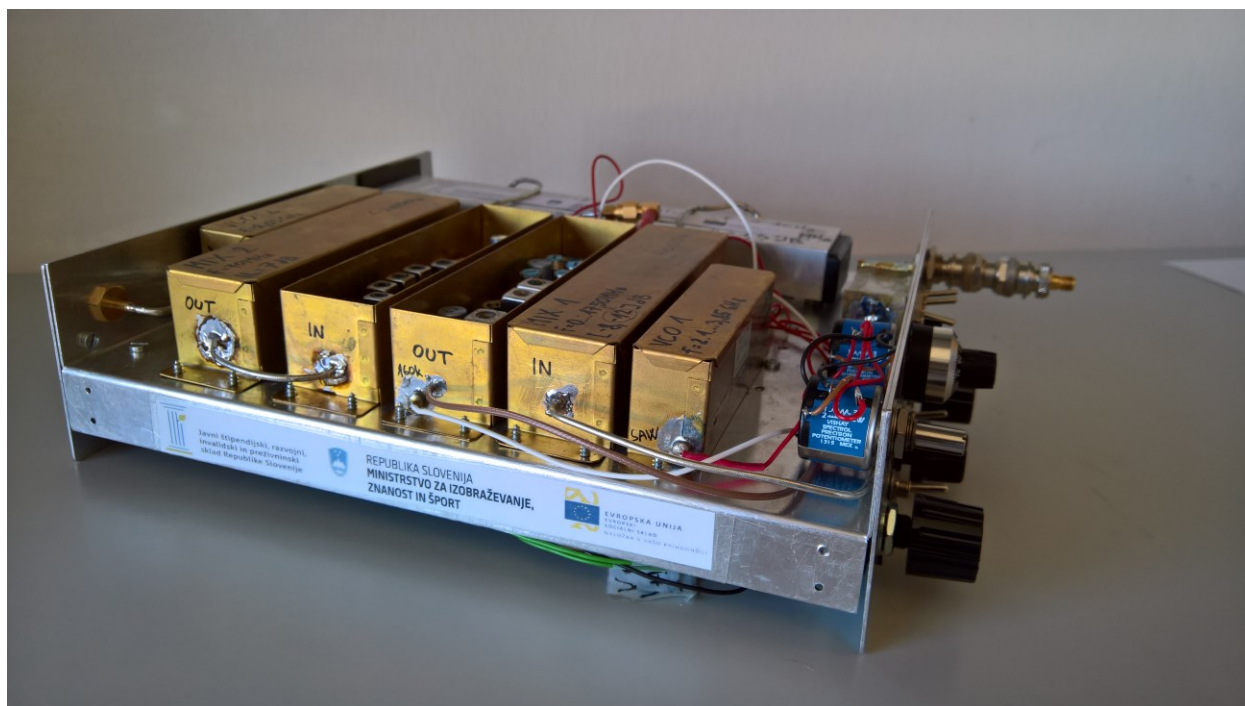


Slika 1: Ožigljavanje obstoječega spektralnega analizatorja

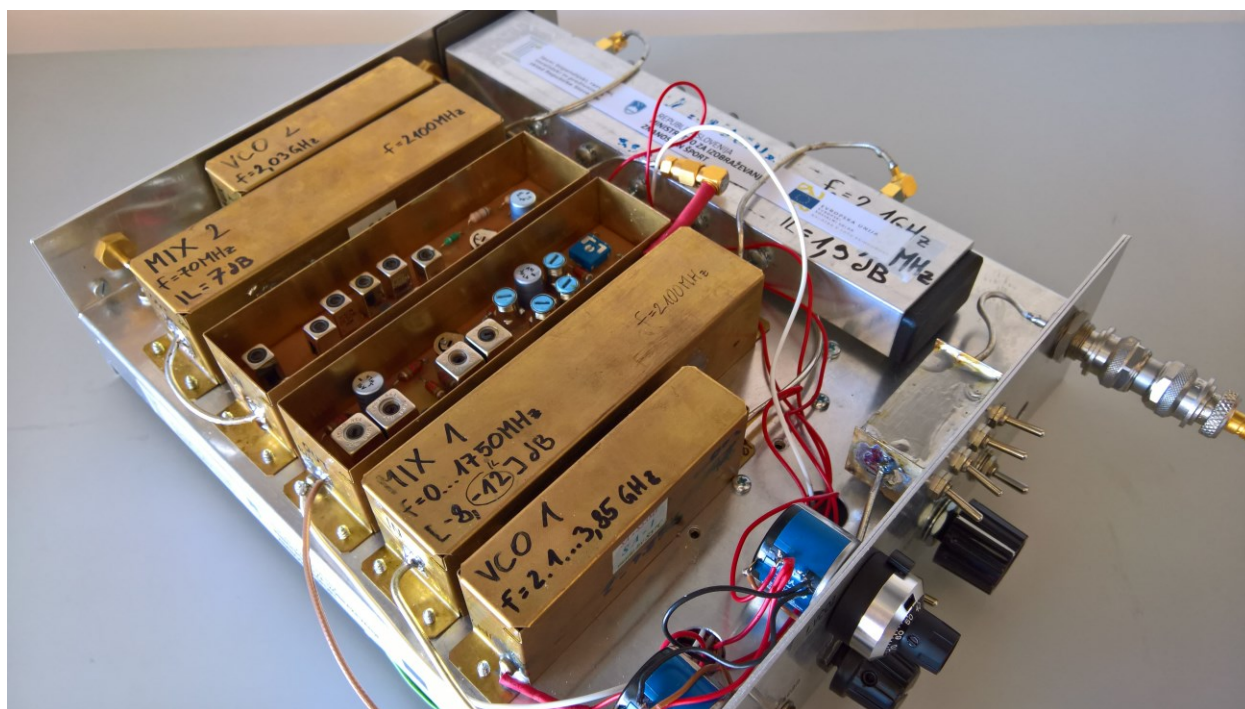
S koncem projekta smo uspešno odpravili vse napake in oživili spektralni analizator, naprava pa je prikazana na spodnjih slikah.



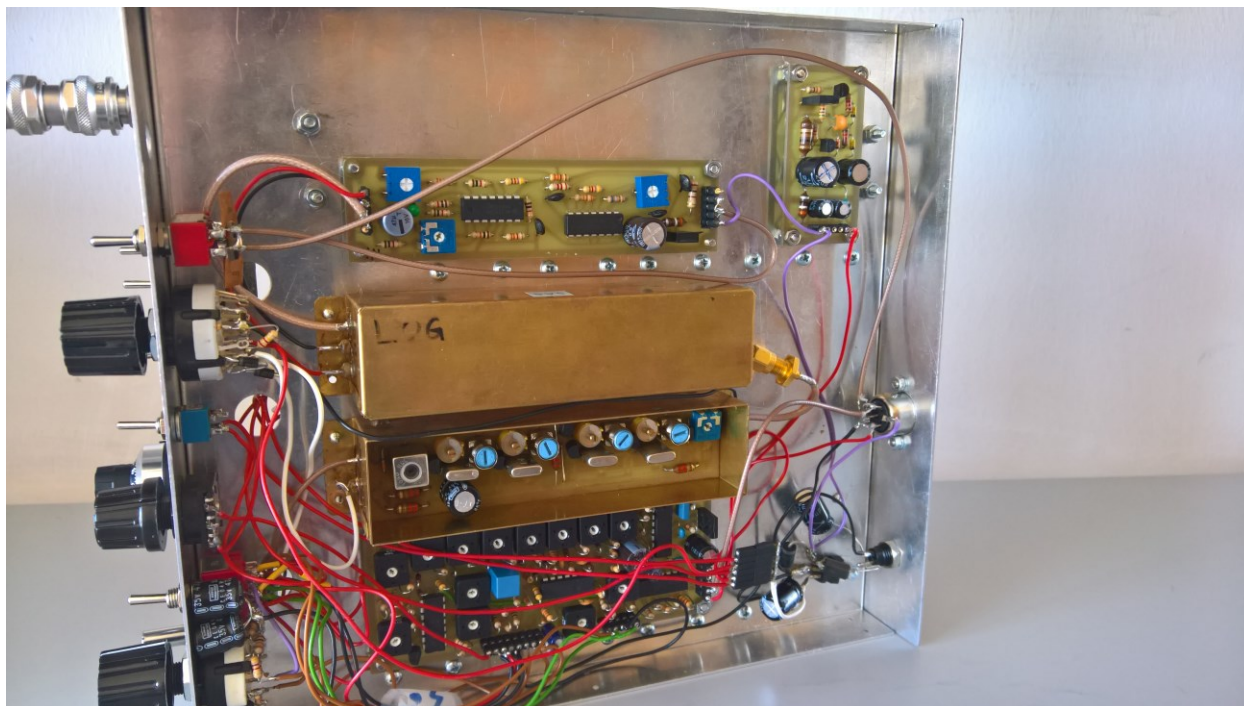
Slika 2: Spektralni analizator



Slika 3: Spektralni analizator



Slika 4: Spektralni analizator



Slika 5: Spodnja stran spektralnega analizatorja

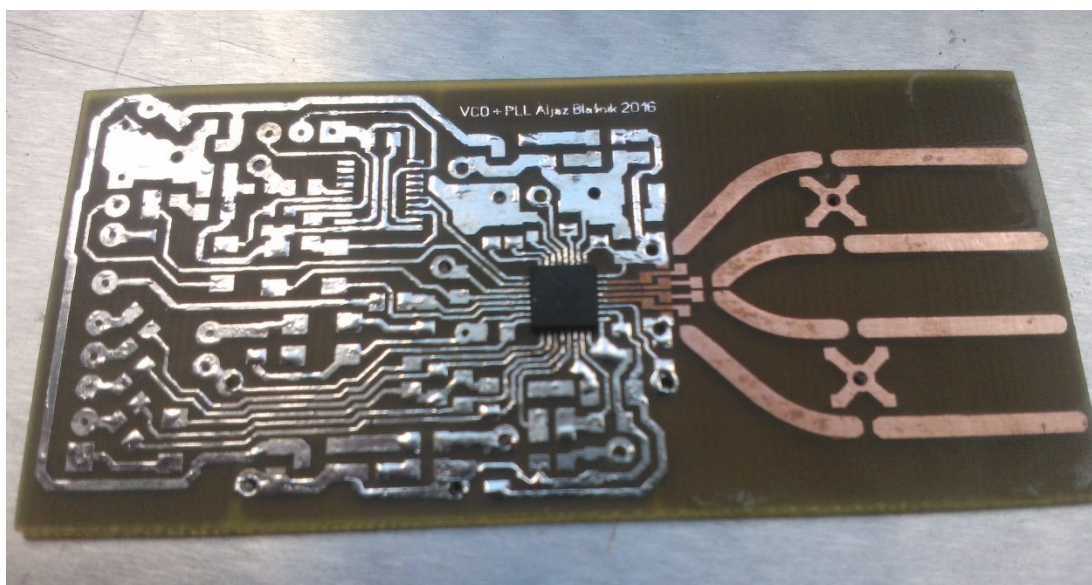
Razvoj novih komponent/blokov spektralnega analizatorja

Pri razvoju novih komponent, je bilo delo posvečeno iskanju in implementaciji prvega lokalnega oscilatorja ter vhodnega slabilca.

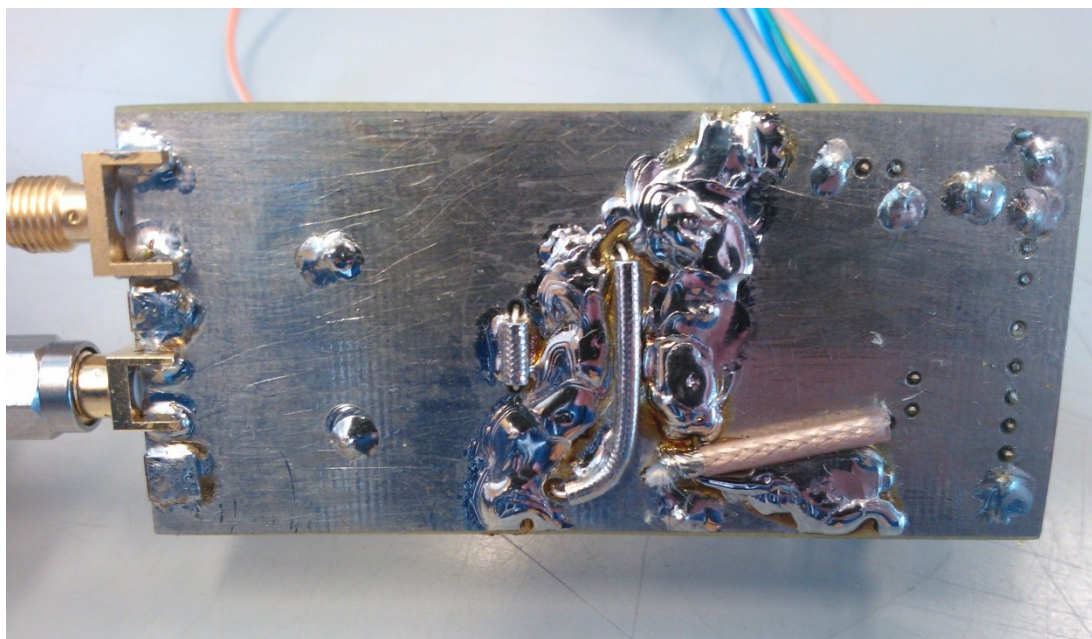
V trenutni izvedbi spektralnega analizatorja je lokalni oscilator izveden s pomočjo varikap diod. Slaba lastnost takšnega oscilatorja je, da lahko pokriva le ozko frekvenčno območje, tam do 2 GHz. Pri razvoju nove naprave bi si želeli, da je območje vhodnih frekvenc v spektralni analizator dovolj široko vsaj za pokrivanje pasu brezžičnega interneta, ter tehnologije Bluetooth. To je vodilo za iskanje oscilatorja, ki dosega dovolj visoko kvaliteto Q, ter pokriva dovolj veliko frekvenčno območje.

Ena izmed rešitev je uporaba oscilatorja v keramičnem ohišju ter substratu na Galijevem Arzenidu podjetja Analog Devices, a je cena takšnih čipov za pol profesionalno gradnjo v domači delavnici enostavno previsoka, saj to precej podraži končno ceno naprave. Ravno tako je pritrjevanje keramičnih ohišji precizno in zamudno delo, nastopijo pa lahko tudi težave, ki vodijo v uničenje dragega čipa.

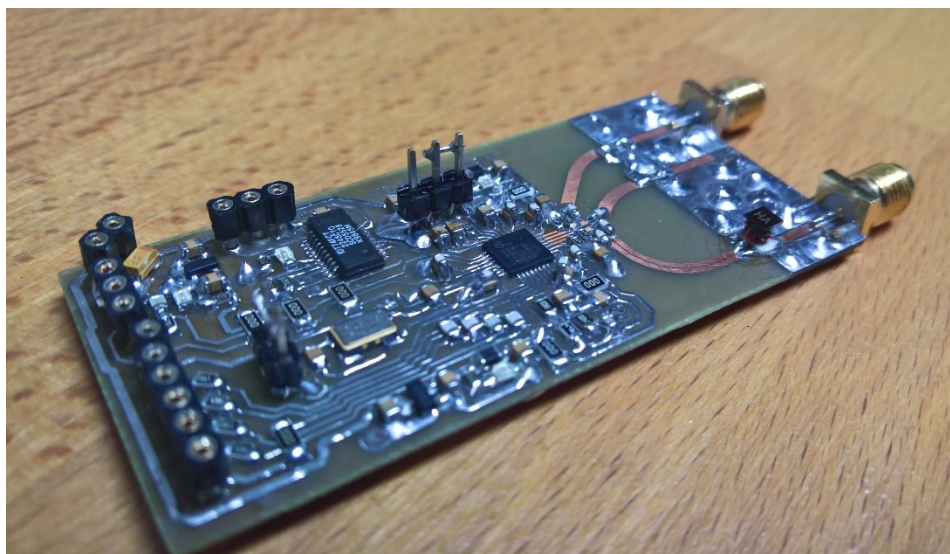
Alternativa takšni izvedbi so čipi proizvajalcev, ki v svoji notranjosti že vsebujejo oscilatorje, ter celo krmilno logiko za njih. Ker so izvedeni na siliciju je njihova cena precej nižja, ravno tako pa ne potrebujejo dragih keramičnih ohišji. Preverjanje delovanja ter ustreznosti je temeljilo na čipu MAX2871 podjetja Maxim Integrated, ki je ob prijavi projekta ravno prišel na tržišče. Izmerjen je bil fazni šum, ter preverjeno delovanje v celotnem frekvenčnem spektru. Izvedena je bila tudi testna tiskanina, na kateri so bile opravljene vse meritve.



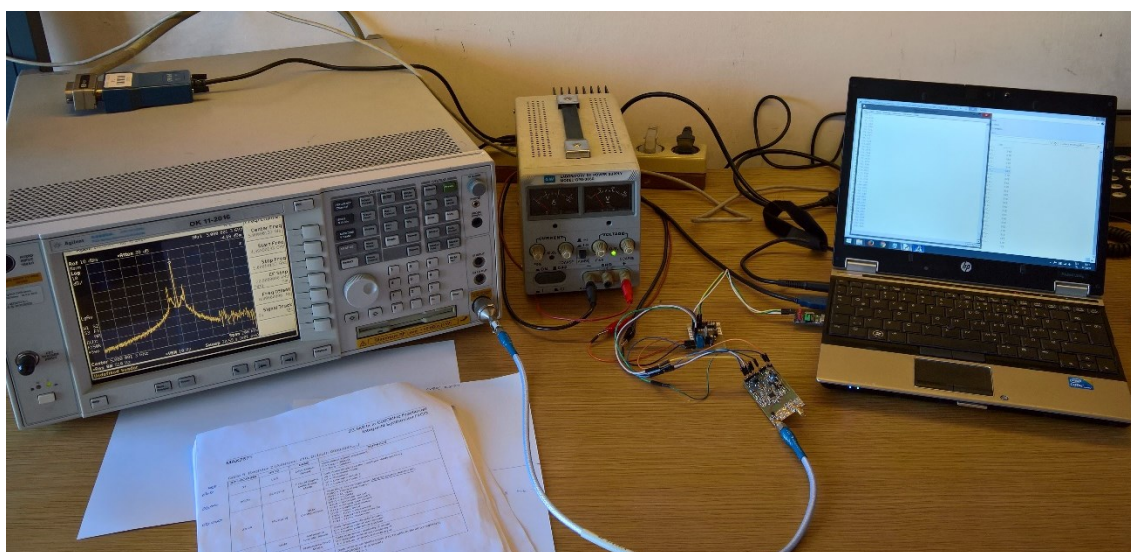
Slika 6: Pritrjevanje QFN čipa na tiskanino



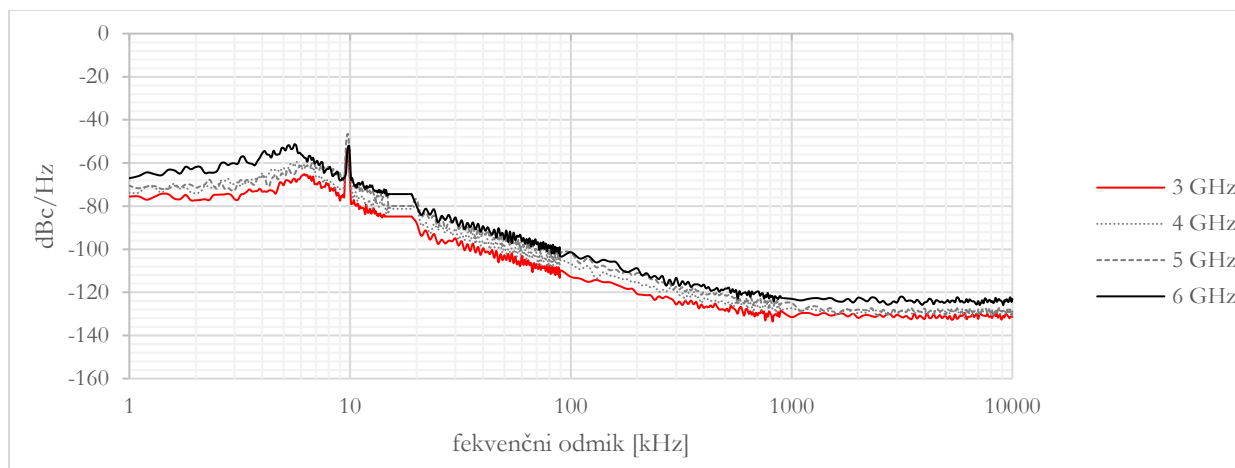
Slika 7: Spodnja stran tiskanine



Slika 8: Celotna tiskanina s PLL-VCO čipom



Slika 9: Postavitev merilnega mesta za izvedbo meritev



Slika 10: Fazni šum na območju delovanja

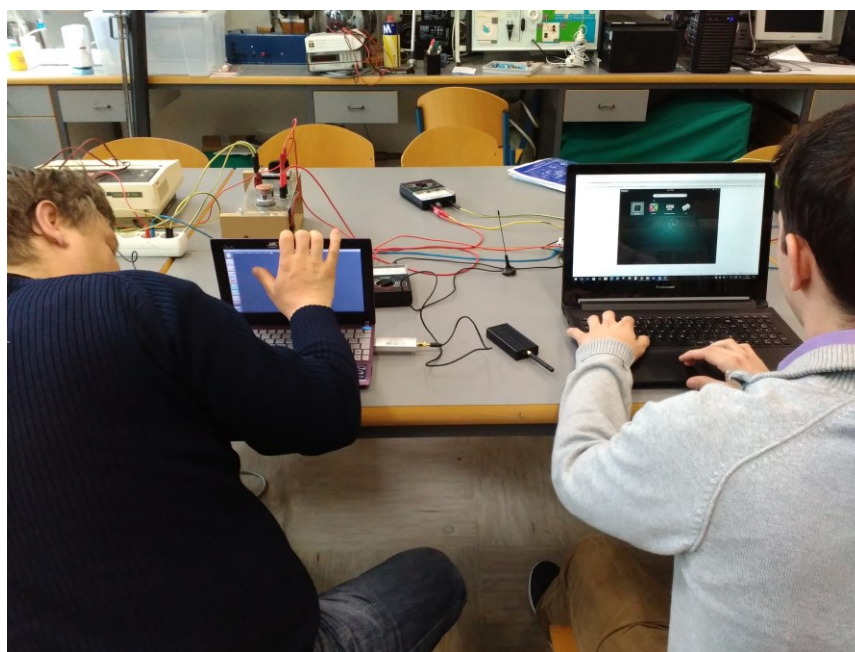
Izgradnja in meritve faznega šuma oscilatorja v fazno sklenjeni zanki so pokazale, da je uporaba čipa kot frekvenčnega izvora sicer smiselna, a ker moramo v spektralnem analizatorju narediti frekvenčni prelet, težko izvedljiva. Ob vsakem vpisu v registre čipa, se namreč na izhodu pojavijo frekvence notranjega takta ure, ki kvarijo uporabni spekter, takšno delovanje pa ni zaželeno.

Ugotovitev dela in raziskave je, da je za doseganje tako širokega frekvenčnega območja, kot je to predvideno v spektralnem analizatorju, trenutno še potrebujemo drag čip v keramičnem ohišju, saj nam le ta tehnologija omogoča uporaben frekvenčni prelet.

Delo projektne skupine FPP

Signal GPS je CDMA kodiran, kar pomeni da ima razširjen spekter, signal je širok 40MHz. Na razširjenem spektru signala, ki pa je po amplitudi le malo močnejši od šuma, je zato razmeroma lahko zaznati motilnike, za katere predvidevamo da oddajajo na ožjem pasu signal dosti večje moči, in jih tako lahko zaznamo, če zanesljivo prekoračijo nastavljeni prag. Detekcija takega dogodka je sicer nekoliko zahtevnejša, saj je RTL-SDR sposoben naenkrat zajeti pas širok največ 2 MHz. Poleg tega pa se zasedenost teh pasov lahko hitro spremeni in je iz samega močnostnega spektra včasih težko ugotoviti, ali je povečanje povzročil nenaden pojav EMS motnje ali pa sprememba pogojev sprejema regularnega signala.

Študentske dejavnosti na projektu odstopajo od študijskih načrtov FPP, zato smo začeli z vsako dejavnostjo pri osnovah. Pri projektu smo si zamislili razvoj poceni a hitre zajemalne merilne naprave za elektromagnetna sevanja (EMS), predvsem smo se osredotočili na signale satelitske radionavigacije ter predstavili idejo na srečanju 4. novembra na UL FE. Idejo smo dodelovali na srečanjih skupine v Laboratoriju za elektrotehniko in avtomatiko, na katerih sta nas pedagoška mentorja seznanjala z osnovami sodobnih komunikacijskih tehnologij in programiranja v Debian različici operacijskega sistema Linux.



Slika 11: Preizkušanje kode programirljivega radia, Laboratorij za elektrotehniko in avtomatiko, UL, FPP

Programiranje detektorja

Seznanitev z upravljanjem podatkovnih baz v OS Linux Debian potrebujemo za zajem, urejanje, analizo in obdelavo dobljenih podatkov. Zajem oz. zaznavanje izvajamo z lastno kodo, s katero krmilimo programirljivi radio (RTL-SDR), ki beleži 'surove rezultate' v obliki parov (i,q). Programirali smo tudi prenos podatkov iz Raspberry Pi-ja v računalnik. Znanje bi radi izkoristili za prenos podatkov v strežniške podatkovne baze. Osnovne funkcije OS Linux Debian se zelo razlikujejo od funkcij OS Windows, kar je terjalo veliko časa za priučitev.

Masko vezja smo natisnili na kakovosten papir in ga prenesli na bakreno ploščico s pomočjo likalnika, plast tiska se je prenesla s papirja na bakreno ploščico. Vezje smo jedkali s pomočjo bakrovega (II) sulfata. Z risanjem enostavnih vezij z osnovnimi elementi smo ujeli rutino. Izbiranju podnožij elementov je sledila izbira elementov: uporov, kondenzatorjev, diod, stikal, izbrali ustrezno podnožje elementov in jih optimalno razporedili po plošči. Sledilo je jedkanje vezja in spajkanje. Pred spajkanjem smo spoznavali različne vrste spajkanja ter prednosti izbire vrste konice.

V veliko pomoč je bila literatura, ki so nam jo posredovali študentje z Fakulteta za elektrotehniko. Vezje je bilo dokončano, sledilo je še sestavljanje komponent detektorja. Po priporočilih delovnega mentorja smo naštudirali še nekaj različnih hladilnih tehnik, ki so prišle v poštev ker se detektor ob višji zunanji temperaturi lahko začel pregrevati in po izkušnjah predhodnega projekta lahko pokvari rezultate. Nato smo detektor sestavili in preizkusili njegovo delovanje najprej v laboratoriju na FPP, izvedli primerjalno meritev s spektralnim analizatorjem skupine FE v njihovem laboratoriju in opravili preizkuse prisotnosti motilnikov ob cesti.

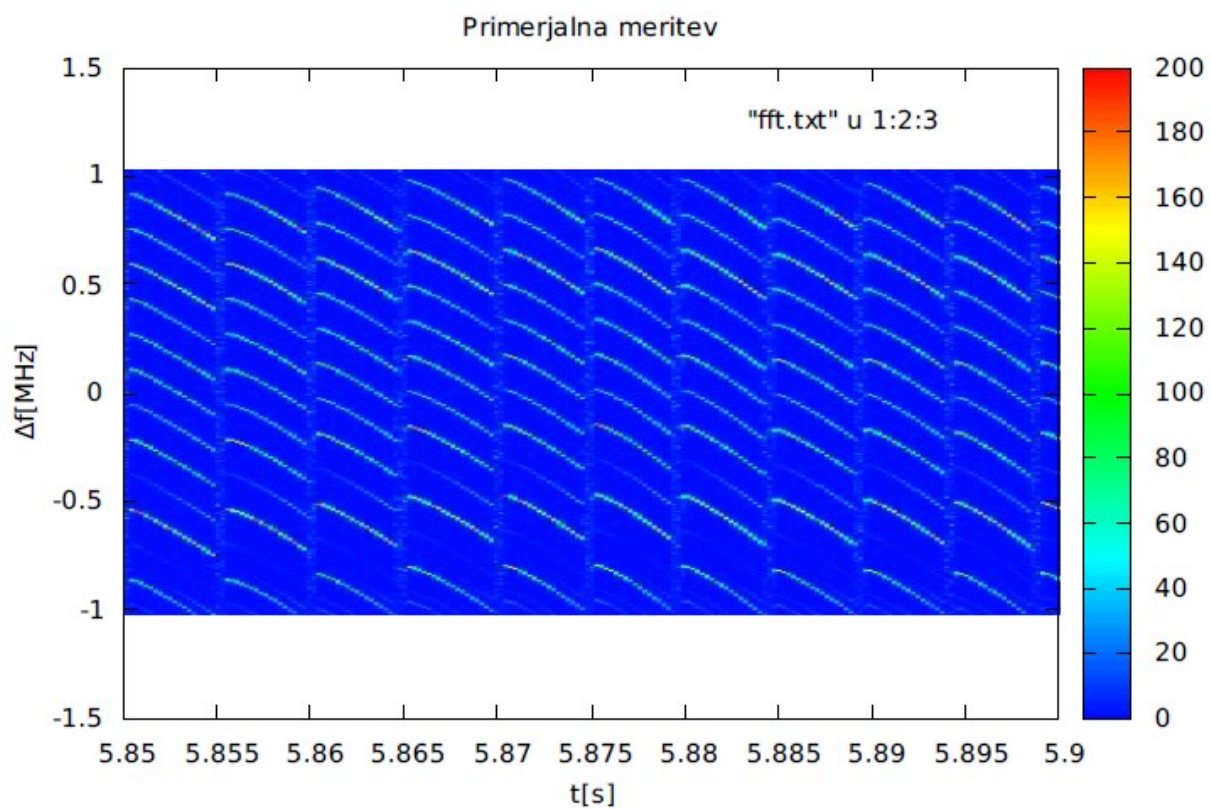
Detektor je bil v primerjalni meritvi sestavljen iz izboljšane različice RTL-SDR sprejemnika z zunanjo monopolno anteno, ki je preko USB vhoda priklopljen na računalnik, na katerem teče programska koda spisana na Fakulteti za pomorstvo in promet. Program je izvajal 30 sekundne meritve radijskega signala na frekvenci L1 ($1575.42 \text{ MHz} \pm 1 \text{ MHz}$). Ob zagonu programa smo podali ime datoteke, v katero naj se meritev shranjuje, določili prag (Threshold) nad katerim naj računalnik shranjuje sprejet signal (I,Q pare) in pa interno ojačitev signala sprejemnika (Gain). Za primerjavo smo ob naš detektor poleg njihovega spektralnega analizatorja postavili podoben sklop, sestavljen na Fakulteti za elektrotehniko in sicer RTL-SDR sprejemnik z zunanjo dipolno anteno lastne izdelave (FE), preko USB vhoda prenosnega računalnika, na katerem teče originalen software za prikaz moči prejetega signala. S tem bomo preverili ali je odziv detektorja z lastno programsko kodo na spremembo oddajne moči motilnika boljši kot je z originalnim programom, za katerega vemo, da ima implementirano avtomatsko nastavitvev ojačitve (AGC – auto gain control).



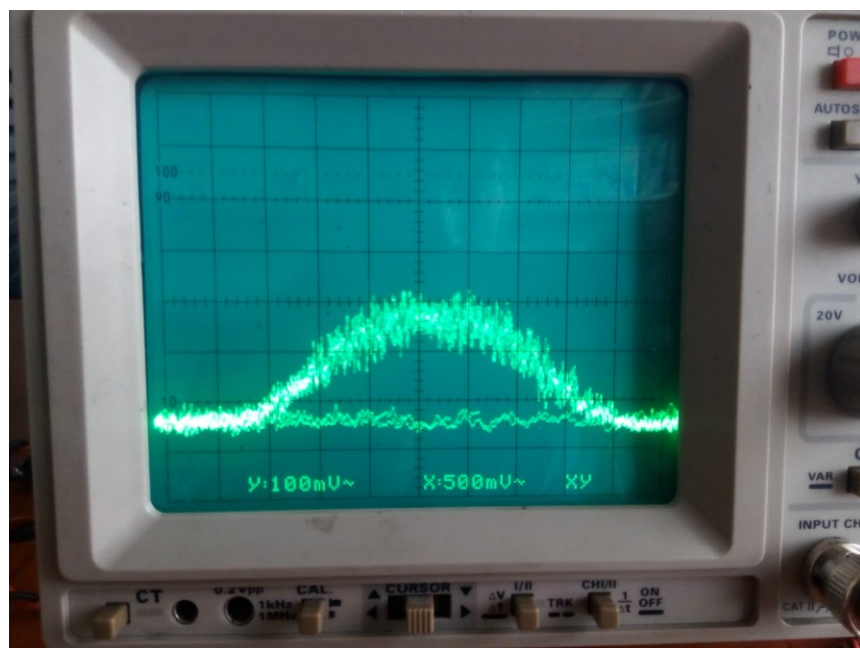
Slika 14: Priprava na primerjalno meritev v Laboratoriju za sevanje in optiko, UL FE. Levo motilnik, opremljen s slabici.



Slika 15: Izvajanje primerjalne meritve v Laboratoriju za sevanje in optiko, UL FE, 16. marec 2017



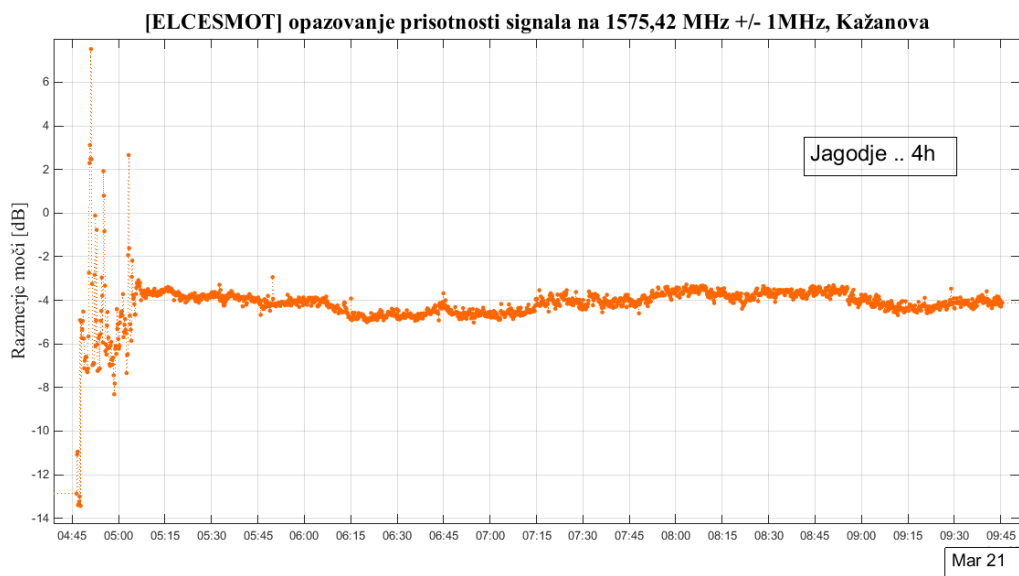
Slika 16: Slapni prikaz rezultatov zaznavanja motenj 16. marca na UL FE z novim detektorjem.



Slika 17: Slika z osciloskopa, na katero je bil med primerjalno meritvijo zaznavanja motenj 16. marca na UL FE bil priključen spektralni analizator UL FE.



Slika 18: Lokacija detektorja v naravi, krožišče Jagodje nad Izolo, Kažanova.



Slika 19: Rezultat terenskega merjenja razmerja moči z detektorjem ob krožišču Jagodje nad Izolo.



Slika 20: Detektor v vodo-neprepustnem ohišju in pogled v notranjost detektorja

Diskusija in sklepi

Med terenskimi zajemi s staro zasnovo detektorja smo opazili, da je ojačitev vhodnega signala nestabilna (do nekaj dB) tudi po začetnem vnihanju in je odvisna od večjih dejavnikov. Z novo zasnovo detektorja smo slabost začetnega nihanja odpravili.

V želenem nadaljevanju izvajanja projekta bi detektorje postavili ob ceste in ob bolj doslednem upoštevanju osnovnih navodil in na osnovi laboratorijskih in terenskih modelov motenj poskusno uvedli tudi sprotno alarmiranje v času zaznavanja motilnim signalom podobnih pojavov preko stalne komunikacijske povezave.

Obisk podjetja Instrumentation Technologies

Podjetje smo obiskali 2. marca 2017. Delovni mentor nam je predstavil zgodovino podjetja in dejavnosti, na katerih trenutno sloni njihova visoka tehnologija. Mentorjevi sodelavci so nas uvedli v nekatere podrobnosti izdelave vezij, programiranja vezij in preizkušanja končnih izdelkov.



Slika 21: Možnost ročnega spajkanja vezja pod mikroskopom in predstavitev profesionalnega snovanja tiskanih vezij



Slika 22: Obisk podjetja smo izkoristili za pogovor o doseženih rezultatih in zbiranje nasvetov