

# Skriti signali v zraku

Računalništvo in informatika

## Raziskovalna naloga

David Panić

5. letnik

Peter Krebelj mag. posl. ved

Mentor

2019/2020

Srednja šola tehniških strok Šiška

# Kazalo

<b>1 Povzetek</b>	<b>3</b>
<b>2 Summary</b>	<b>3</b>
<b>3 Uvod</b>	<b>4</b>
3.1 Namen teme in cilj . . . . .	4
3.2 Hipoteze . . . . .	4
3.3 Skriti signali . . . . .	4
3.4 Elektromagnetno valovanje . . . . .	4
<b>4 RTL-SDR</b>	<b>5</b>
4.1 Programsko določen radio . . . . .	5
4.2 Vmesnik NooElec NESDR SMarTee . . . . .	5
<b>5 Programska oprema</b>	<b>7</b>
<b>6 Antene</b>	<b>9</b>
6.1 Dipolna antena . . . . .	9
<b>7 Konektorji</b>	<b>9</b>
<b>8 Poslušanje radia</b>	<b>11</b>
<b>9 DVB-T</b>	<b>11</b>
<b>10 Spremljanje letal</b>	<b>13</b>
10.1 Poslušanje ATC komunikacij . . . . .	13
10.2 Sprejemanje lokacijskih podatkov ADS-B . . . . .	13
10.3 Izdelava ADS-B antene . . . . .	14
<b>11 NooElec Ham It Up</b>	<b>15</b>
<b>12 Zaključek</b>	<b>16</b>
<b>13 Viri in literatura</b>	<b>17</b>
<b>14 Zahvala mentorju</b>	<b>18</b>
<b>15 Izjava o avtorstvu</b>	<b>18</b>

# Slike

1	Elektromagnetno valovanje . . . . .	5
2	NooElec NESDR SMArTee . . . . .	6
3	NooElec SMA v Belling-Lee adapter . . . . .	6
4	HDSDR . . . . .	7
5	CubicSDR . . . . .	7
6	GNU Radio companion . . . . .	8
7	GQRX . . . . .	8
8	SDR Touch . . . . .	8
9	Aerial TV . . . . .	8
10	Dipolna antena . . . . .	9
11	SMA konektor . . . . .	10
12	F konektor . . . . .	10
13	Belling-Lee/PAL/IEC 169-2 konektor . . . . .	10
14	BNC konektor . . . . .	11
15	GQRX - poslušanje radia 1 . . . . .	11
16	Gledanje Slovenije 1 HD z DVB-T v programu vlc . . . . .	12
17	Dump1090 terminalski vmesnik . . . . .	13
18	Dump1090 spletni vmesnik . . . . .	13
19	Moja ADS-B antena . . . . .	14
20	NooElec Ham It Up v1.3 . . . . .	15

# **1 Povzetek**

V raziskovalni nalogi sem dokazal, da lahko z malo denarja vsakdo sprejema širok spekter signalov za katere večina ljudi sploh ne ve da obstajajo. Z uporabo RTL-SDR vmesnika sem si omogočil vpogled v novi svet. Poslušal sem radio (tudi kitajskega), gledal televizijo in spremljal letala. Idelal sem tudi lastno anteno, ki mi je omogočila spremljanje letal na večjih razdaljah.

Ključne besede: Skriti signali, RTL-SDR, NooElec, ADS-B, DVB-T

# **2 Summary**

In this research I have proven that with a little bit of money anyone can receive a wide spectre of signals, that most people do not know exist. With the help of an RTL-SDR dongle I enabled myself to see a whole new world. I listened to the radio (even a chinese one), I watched TV and tracked airplanes. I have even made my own antenna, that enabled me to track airplanes at longer distances.

Keywords: Hidden signals, RTL-SDR, NooElec

## 3 Uvod

### 3.1 Namen teme in cilj

Za izdelavo te naloge sem se odločil po nakupu NooElec NESDR SMDR RTL-SDR vmesnika. Od nekdaj me že zanima radioamaterstvo, vendar se mi je zdelo da je zaradi cene opreme le to neizvedljivo za navadnega smrtnika, kot sem jaz. Naloga mi je ponudila priložnost, da se končno naučim nekaj o radioamaterstvu in poskusim nekaj novega, moj cilj pa je bil da razičem čim več o skritih signalih v zraku. Skozi nalogo želim dokazati, da lahko zajemamo poleg TV in radio signalov tudi druge signale okolice. Želim dokazati tudi, da je mogoče poleg slovenskega radia poslušati tudi katerega izmed tujih, bolj oddaljenih. Z idelavo lastne antene lahko razširimo uporabo in s tem pridobimo dodatne podatke.

### 3.2 Hipoteze

Moja prva hipoteza je bila, da so okoli nas zanimivi signali, za katere sploh ne vemo da obstajajo, povedo pa nam lahko veliko o svetu okoli nas.

Druga hipoteza je bila, da lahko na enostaven način poslušam radio in gledam televizijo.

Tretja hipoteza je bila, da je možno poslušati komunikacije med letali in stolpi na letališčih.

Četrta hipoteza je bila, da letala nad nami oddajajo signale, ki vsebujejo njihovo lokacijo.

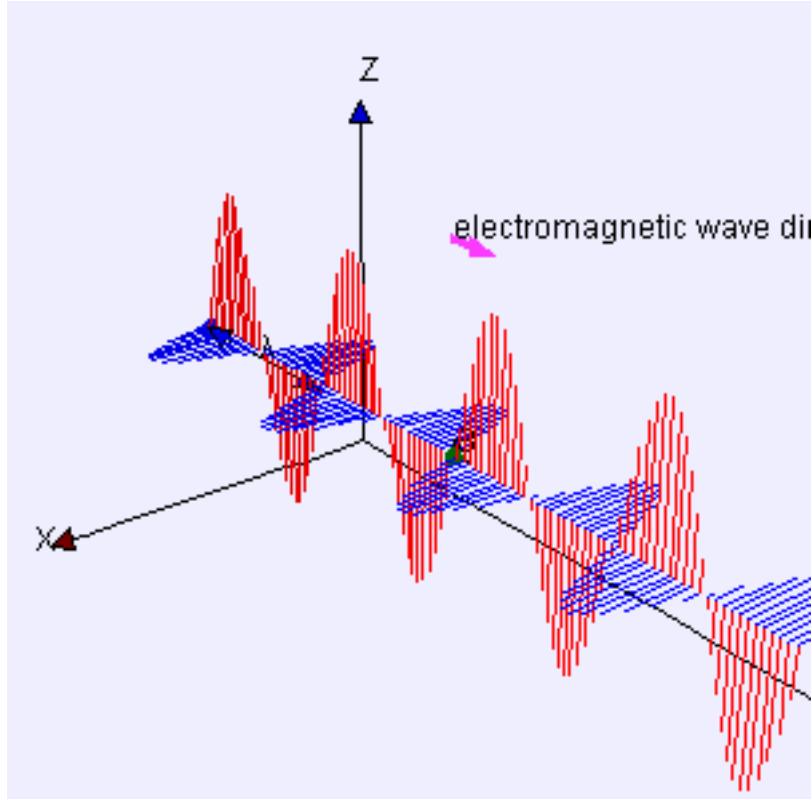
### 3.3 Skriti signali

Skriti signali so signali, katerih ne moremo občutiti, videti ali pa zaznati brez pomoči pripomočkov za zaznavanje. Takih signalov, čeprav so elektromagnetno valovanje ne vidimo, ker so izven območja zaznavanja človeških organov.

### 3.4 Elektromagnetno valovanje

Elektromagnetno valovanje je pojem, ki se nanaša na valove v elektromagnetnem polju, ki se širijo skozi prostor in čas. Klasično elektromagnetno sevanje je sinhrono nihanje električnega in magnetnega polja, ki se skozi vakuum širi s hitrostjo svetlobe.

(„Elektromagnetno valovanje“ 2019)



Slika 1: Elektromagnetno valovanje

## 4 RTL-SDR

Poimenovanje RTL-SDR izvira iz imena mikrokontrolerja in uglaševalnega čipa Realtek **RTL2832U** in angleške besedne zveze “**Software Defined Radio**” oziroma programsko določen radio po slovensko.

### 4.1 Programsko določen radio

Programsko določen radio je sistem radijske komunikacije, kjer so komponente, ki so tradicionalno narejene s strojno opremo (npr. mešalniki, filtri, ojačevalci, modulatorji in demodulatorji, detektorji in podobno) implementirane s programsko opremo na osebnem računalniku ali s samostojnimi vgrajenimi sistemi.

(„Software-defined radio“ [2020](#))

Prednost tega je, da lahko komponente zelo enostavno preuredimo za druge potrebe zaznavanja signalov. To nam omogoča tudi širše območje zaznavanja, saj lahko sredinsko frekvenco zaznavanja prestavljamo po frekvenčnem spektru.

### 4.2 Vmesnik NooElec NESDR SMArTee

Podjetje NooElec, eno izmed vodilnih podjetij s strojno opremo za radioamaterje je izdalo RTL-SDR vmesnik imenovan “**NESDR SMArTee**”. Za domače uporabnike je primerna izbira, saj (brez poštnine) stane le okoli 25€ na njihovi spletni strani. Kot sami pravijo “We designed this SDR from the ground up in order to develop the best low-cost SDR in existence”. Poleg cene je ta vmesnik primeren tudi zato, ker ima zelo dobro zaščito proti zunanjim motnjam, ki je vsaj 10 krat boljša od konkurenčnih. Tako nam omogoča sprejem zelo tihih signalov.

Frekvenčno območje delovanja vmesnika je od približno 25MHz do približno 1750MHz, kar omogoča sprejemanje zelo raznovstrnih signalov, ravno to kar sem potreboval za to raziskovalno nalogu.

Priključek za anteno je tipa SMA (ženski), zato sem za priklop pogostejše uporabljenih anten potreboval adapter iz SMA (moški) v Belling-Lee/PAL/IEC 169-2 (ženski). Več o konektorjih sem razložil v [nadaljevanju naloge](#).

Za napajanje naprav, povezanih med anteno in vmesnikom ima vmesnik na voljo 4.5V 250mA bias-T. Omogoča nam predvsem napajanje specializiranih filtrov za sprejem določenih signalov (npr. iz geosinhronih satelitov), ki bi drugače imeli preveč šuma, da bi bili uporabni.

(„NooElec NESDR SMarTee v2“ [2020](#))

(„NooElec Male SMA to Female Belling-Lee Adapter“ [2020](#))



Slika 2: NooElec NESDR SMarTee

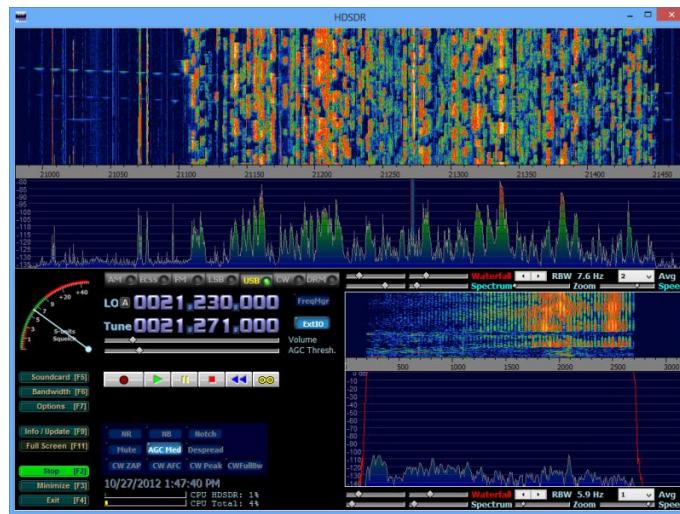


Slika 3: NooElec SMA v Belling-Lee adapter

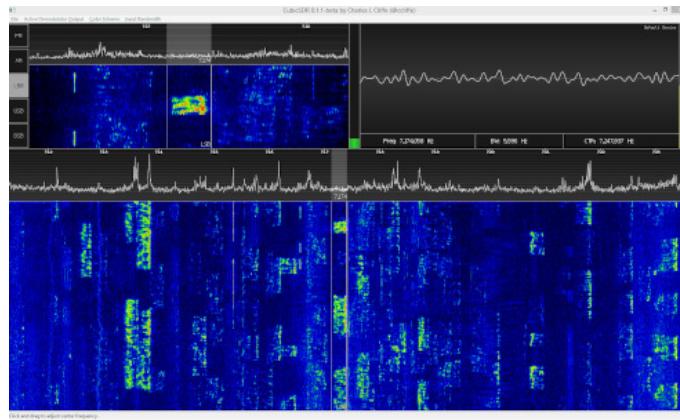
## 5 Programska oprema

Najpogosteje uporabljeni programi z RTL-SDR vmesniki so:

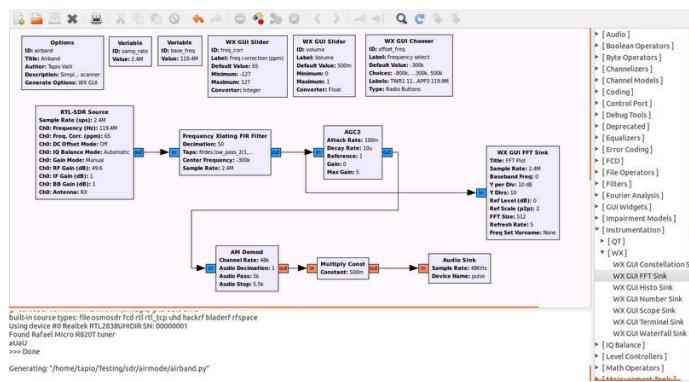
- HDSDR: Windows, standarden SDR („HDSDR“ **2020**)
- CubicSDR: Windows, MacOS, Linux, standarden SDR („Cubic SDR“ **2020**)
- GNU Radio: Windows, MacOS, Linux, blokovni način grajenja SDR, grafični vmesnik se imenuje GNU Radio companion („GNU Radio“ **2020**)
- GQRX: odprtokoden standarden SDR, ki v ozadju uporablja GNU Radio in QT grafike („GQRX“ **2020**)
- SDR Touch: Standardni SDR za operacijski sistem Android („SDR Touch“ **2020**)
- Aerial TV: Android aplikacija za gledanje televizije s pomočjo RTL-SDR vmesnika („Aerial TV“ **2020**)



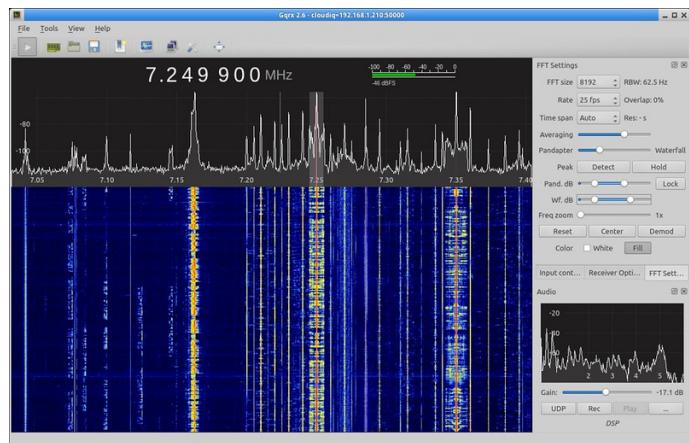
Slika 4: HDSDR



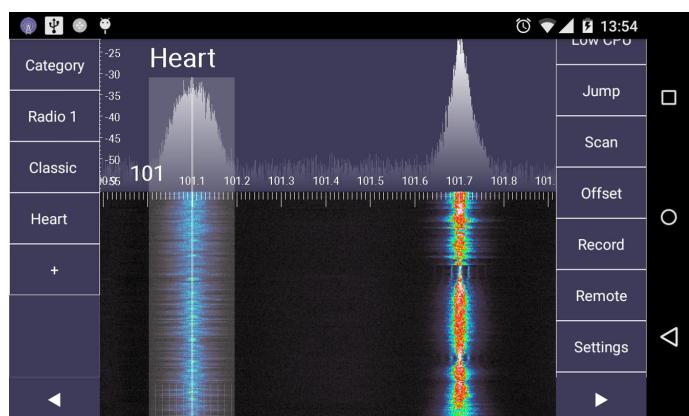
Slika 5: CubicSDR



Slika 6: GNU Radio companion



Slika 7: GQRX



Slika 8: SDR Touch



Slika 9: Aerial TV

## 6 Antene

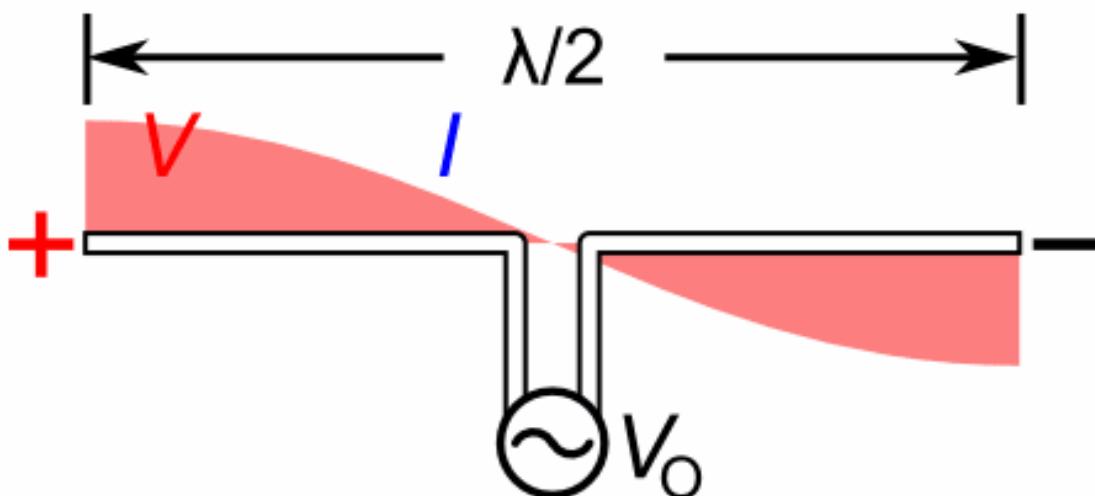
Antena je v osnovi le električen vodnik. Vsak električen vodnik je antena, vendar jih večina ni primerna za sprejem signalov. Antene delujejo kot nek pretvornik med elektromagnetnimi valovi v zraku in električnim tokom v žicah.

(„Antenna“ 2020)

### 6.1 Dipolna antena

Najbolj osnovna vrsta antene se imenuje dipolna antena oziroma dipol. Sestavljena je samo iz dveh vodnikov, ki sta usmerjena v obratni smeri. Dolžina vodnikov določa katere frekvence bo antena dobro sprejemala.

Za izračun dolžine vodnikov lahko uporabimo enega izmed mnogih kalkulatorjev na spletu. Eden izmed boljših je West mountain radio antenna calculator, najdemo ga lahko na sledeči povezavi: [http://www.westmountainradio.com/antenna\\_calculator.php](http://www.westmountainradio.com/antenna_calculator.php)



Slika 10: Dipolna antena

## 7 Konektorji

Konektorji nam omogočajo povezovanje več ločenih kablov skupaj za podaljšanje. Omogočajo nam tudi izklop določenega kabla, tako nam ga ni treba rezati. Za prenos radijskih signalov se najpogosteje uporablja sledeči konektorji:

(„List of RF connector types“ 2020)



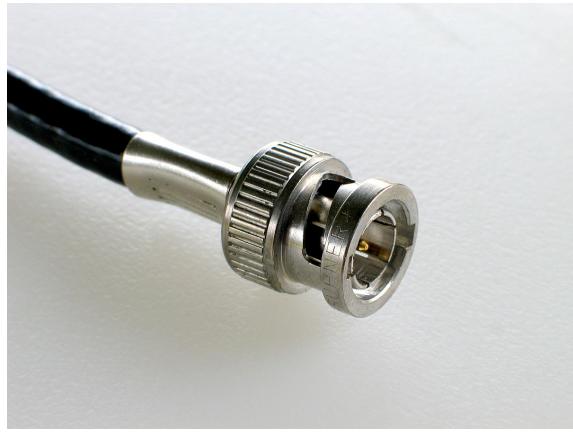
Slika 11: SMA konektor



Slika 12: F konektor



Slika 13: Belling-Lee/PAL/IEC 169-2 konektor

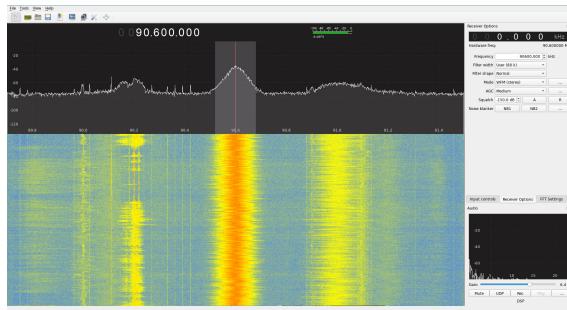


Slika 14: BNC konektor

## 8 Poslušanje radia

Ena izmed osnovnih stvari, ki jo lahko počnemo z RTL-SDR vmesnikom je poslušanje radia. Ker so signali za radia ponavadi zelo močni in so frekvenčno modulirani, jih lahko sprejemamo z zelo osnovno dipolno anteno. Radijske postaje v Sloveniji oddajajo od 87,5 MHz do 108 MHz. („Načrt razporeditve radijskih pasov RS“ 2008)

SDR program je potrebno le nastaviti na pravilno modulacijo (FM) in izbrati pravilno frekvenco za predvajanje. Na spodnji sliki je prikazan primer poslušanja radia 1 z programom GQRX.



Slika 15: GQRX - poslušanje radia 1

## 9 DVB-T

DVB-T (ang. **Digital Video Broadcasting - Terrestrial**) je standard za prenos digitalne televizije v Evropi. Standard je bil prvič objavljen leta 1997, prvi oddajnik pa je bil postavljen v Singapurju februarja leta 1998.

(„DVB-T“ 2020)

Sprejemanje DVB-T je skoraj tako enostavno kot poslušanje radia. Potrebno je le dodatno skeniranje kanalov. Za to sem uporabil program w\_scan.

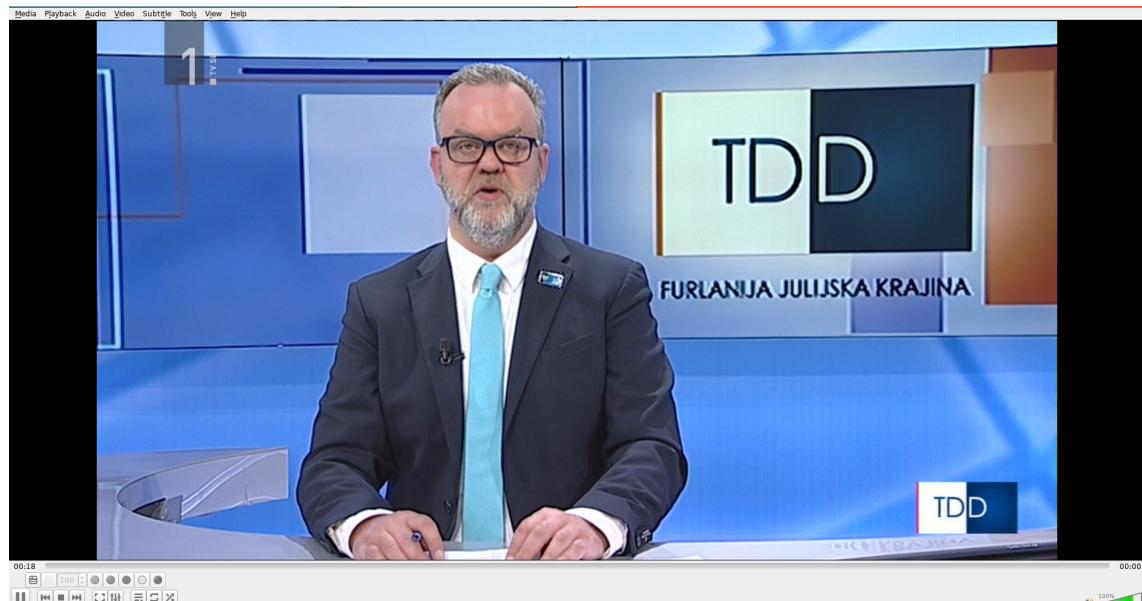
Sken lahko izvedemo s sledečo komando:

```
w_scan -ft -c SI -L > dvb.xspf
```

Generirano datoteko lahko odpremo s programom vlc. Datoteka ne vsebuje posnetkov televizije, vendar je XML datoteka, ki pove programu vlc kje lahko najde RTL-SDR

vmesnik in kateri televizijski programi so dostopni z njim. Spodnja xml koda je skrajšana različica te datoteke. Prikazuje definicijo za kanal Slovenije 1 HD.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<playlist
xmlns="http://xspf.org/ns/0/"
xmlns:vlc="http://www.videolan.org/vlc/playlist/ns/0/"
version="1">
    <title>DVB Playlist</title>
    <creator>w_scan-20170107</creator>
    <info>http://wirbel.hptc-forum.de</info>
    <trackList>
        <track>
            <title>0001. SL01 HD</title>
            <location>dvb-t://frequency=562000000</location>
            <extension application="http://www.videolan.org/vlc/playlist/0">
                <vlc:option>dvb-bandwidth=8</vlc:option>
                <vlc:option>dvb-ts-id=1</vlc:option>
                <vlc:option>dvb-code-rate-hp=2/3</vlc:option>
                <vlc:option>dvb-modulation=64QAM</vlc:option>
                <vlc:option>dvb-transmission=8</vlc:option>
                <vlc:option>dvb-guard=1/4</vlc:option>
                <vlc:id>2</vlc:id>
                <vlc:option>program=1</vlc:option>
            </extension>
        </track>
    </trackList>
</playlist>
```



Slika 16: Gledanje Slovenije 1 HD z DVB-T v programu vlc

# 10 Spremljanje letal

## 10.1 Poslušanje ATC komunikacij

Čisto malo izven frekvenčnega območja radia se v Sloveniji nahaja območje frekvenc, ki se uporablja za komunikacije med letali in nadzornim stolpom ATC (ang. air traffic control). To je območje od 108 do 117,975 MHz. Na običajnih radiih je poslušanje teh frekvenc onemogočeno zaradi boljše uporabniške izkušnje, za RTL-SDR vmesnik pa je sprejem "mala malica". Za sprejem lahko uporabimo le osnovno dipolno anteno, v SDR programu pa moramo nastaviti AM modulacijo. Nadzorni stolp ATC letališča Jožeta Pučnika v Ljubljani (ICAO LJLJ) primarno deluje na frekvenci 118.000 MHz.

(„Načrt razporeditve radijskih pasov RS“ 2008)

## 10.2 Sprejemanje lokacijskih podatkov ADS-B

Naslednji korak v moji raziskavi je bil sprejem podatkov o lokaciji letal, ki jih oddajajo za boljšo koordinacijo in navigacijo. Te podatki se imenujejo ADS-B (ang. Automatic dependent surveillance – broadcast) in se prenašajo na frekvenci 1090 MHz, Navadna dipolna antena zadostuje za sprejem do približno 30 km.

Za demodulacijo in dekodiranje podatkov sem uporabil program dump1090. („Dump1090“ 2015) Program ima terminalski in spletni vmesnik, ki nam omogočata ogled lokacije in podatkov o letalih, ki so dovolj blizu anteni.

Za najboljši sprejem signalov zaženemo program dump1090 s sledečo komando:

```
dump1090 --interactive --aggressive --phase-enhance --fix  
--modeac --lat 46.055278 --lon 14.514444 --net
```

Hex	Mode	Sqkw	Flight	Alt	Spd	Hdg	Lat	Long	Sig	Msgs	Ti/
484FFF	S	5531		37975	426	316			5	26	1
506F7E	S	7776	SLOCTRL2	grnd					4	31	0
7C8067	S	c		39975					4	2	39
448465	S ac	7132	FRH506	35000	543	129	46.537	13.868	13	400	0
506F84	S	7777		3700					6	29	2
3C64A2	S ac	4525	DLH581	35975	424	299	47.410	15.994	6	279	5
506F75	S								5	26	3
506F7C	S			grnd					13	582	0
040173	S ac	2046	ETH706	40000	454	319	46.739	15.656	4	637	1

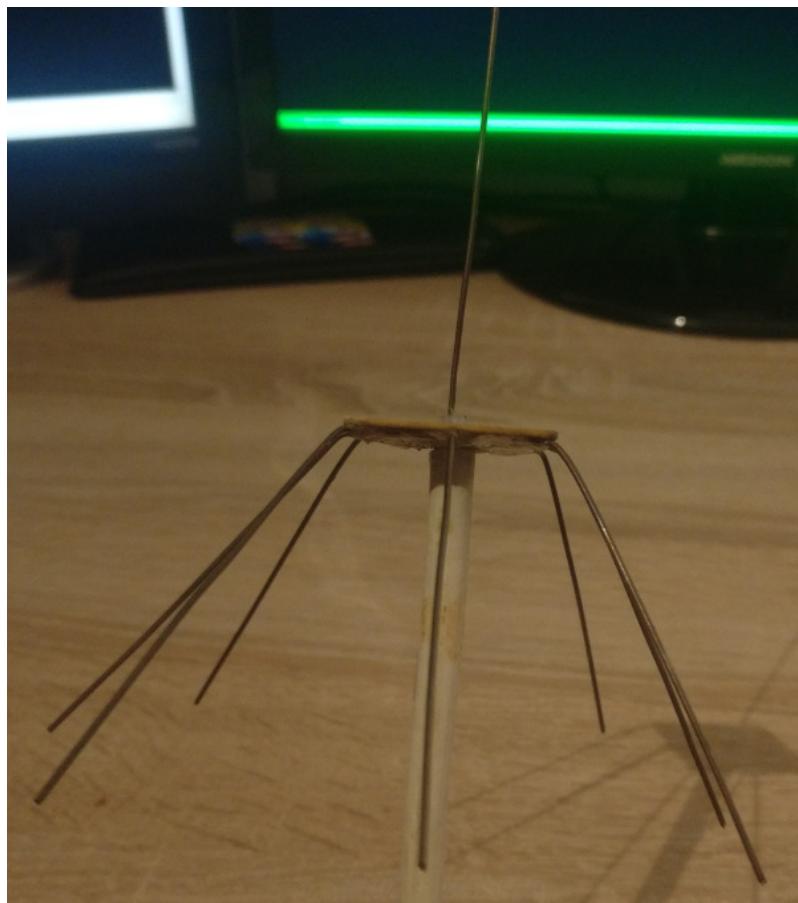
Slika 17: Dump1090 terminalski vmesnik



Slika 18: Dump1090 spletni vmesnik

### 10.3 Izdelava ADS-B antene

Ker je za letala razdalja 30 km zelo kratka, sem se odločil, da bom izdelal ADS-B anteno, ki bo imela boljši sprejem. Anteno sem izdelal po navodilih Atouk Alunda Vita, ki jih lahko najdemos na spletni strani avtorja. („Spletna stran Atouk Alunda Vita“ [2012](#)) PDF z navodili se imenuje “Your First ADSB Antenna”. Navodila sem malo prilagodil svojim potrebam. Namesto konektorja sem uporabil samo dolg koaksialni kabel, uporabil sem tanjše žice, ker debelejših nisem mogel najti. Moja antena deluje zelo dobro, saj mi je območje sprejema razširila tudi do 300 km polmera, če je postavljena na dobrem mestu. Glede na to razdaljo lahko sklepam, da mi je uspelo.



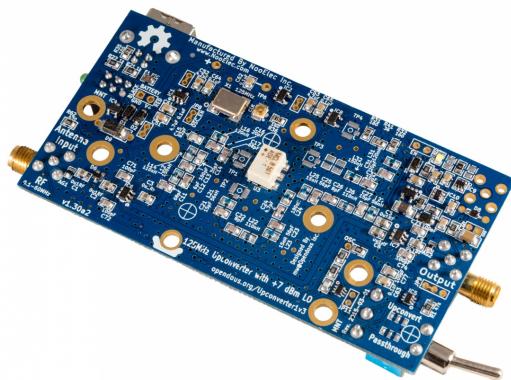
Slika 19: Moja ADS-B antena

## 11 NooElec Ham It Up

Ham It Up je BUC (ang. Block upconverter). BUC prestavi (translira) signal iz nižjega frekvenčnega območja na višjega. S tem nam omogoča sprejemanje nižjefrekvenčnih signalov, ki bi bili drugače izven frekvenčnega spektra, ki ga RTL-SDR vmesnik lahko sprejema. SDR programi imajo ponavadi funkcijo, ki nam vizualno prestavi signale nazaj tja kjer dejansko so. Ham It Up ima na sebi tudi stikalo za izklop translacijske funkcionalnosti. Uporaben je zato, da nam ni treba izklapljati antene. Ham It Up premakne frekvenčni spekter za 125 MHz gor.

Z Ham It Up lahko poslušamo naprimer zelo oddaljene radijske postaje, enkrat mi je celo uspelo poslušati kitajski radio.

(„NooElec Ham It Up v1.3“ **2020**)



Slika 20: NooElec Ham It Up v1.3

## 12 Zaključek

S pomočjo RTL-SDR mi je uspelo prestreči signale, ki jih sicer ne bi uspel. Z majhnim vložkom, ki ga je predstavljal nakup naprave, sem uspel realizirati to, kar sem si v začetku postavil za končni cilj.

Hipoteze, ki sem jih podal v začetku lahko tako opredelim kot:

- Hipotezo, da so okoli nas zanimivi signali lahko potrdim, saj sem pri raziskovanju občasno naletel na kakšen signal, za katerega nisem vedel kaj je.
- Hipoteza, da bom poslušal radio in gledal televizijo je potrjena, saj mi je to enostavno uspelo, to sem lahko počel tudi na telefonu!
- Hipotezo, da lahko spremljamo komunikacije med letali in letališči lahko potrdim. Potrebno je le osnovno znanje o RTL-SDR.
- Hipoteza, da letala oddajajo lokacijske signale je potrjena. Poleg teh signalov oddajajo tudi informacije o letu in tipu letala.

Iz tega lahko sklepamo, da sem bil pri postavljenih hipotezah relativno uspešen pri samem dokazovanju, saj mi je uspelo poslušati tudi tuji radio. Hkrati sem uspešno prestrezal letalski promet in preko razširjene antene spremljajal oddaljena letala.

Skozi naloge sem zasledil, da se je odzivnost in sposobnost sprejema spremnjala, kar lahko pripomembamo tudi različnemu vremenskemu dogajanju, elektromagnetni onesnaženosti in drugim dejavnikom, ki so vplivali na moje dosežke.

Z večjim vložkom, bolj napredno opremo in dodatnim časom, bi se zagotovo lahko posrečilo še kaj, na tem mestu pa lahko podam končne sklepe za tisto, kar sem do tega trenutka uspešno zaključil. Ker me področje zanima, kot sem v samem uvodu omenil, s tem ne zaključujem raziskovalnega dela, kjer bom iskal še naprej. Morda pa se mi nasmehne sreča in naletim še na kakšen zanimiv podatek, ki bo vreden nadaljnega raziskovanja.

## 13 Viri in literatura

- „Aerial TV“. 2020. Martin Marinov. 2020. <http://aerialtv.eu/>.
- „Antenna“. 2020. Wikipedia. Wikimedia Foundation. februar 2020. [https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna\\_\(radio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio)).
- „Cubic SDR“. 2020. Charles J. Cliffe. 2020. <https://cubicsdr.com/>.
- „Dump1090“. 2015. Malcolm Robb, Salvatore Sanfilippo. 2015. <https://github.com/MalcolmRobb/dump1090>.
- „DVB-T“. 2020. Wikipedia. Wikimedia Foundation. februar 2020. <https://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T>.
- „Elektromagnetno valovanje“. 2019. Wikipedia. Wikimedia Foundation. marec 2019. [https://sl.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetno\\_valovanje](https://sl.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetno_valovanje).
- „GNU Radio“. 2020. GNU Radio project. 2020. <https://www.gnuradio.org/>.
- „GQRX“. 2020. Alexandru Csete, OZ9AEC. 2020. <https://gqrx.dk/>.
- „HDSDR“. 2020. Alberto di Bene. 2020. <http://hdsdr.de/>.
- „List of RF connector types“. 2020. Wikipedia. Wikimedia Foundation. februar 2020. [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_RF\\_connector\\_types](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_RF_connector_types).
- „Načrt razporeditve radijskih pasov RS“. 2008. Republika Slovenija. 2008. [https://www.uradni-list.si/files/RS\\_-2008-099-04201-OB~P001-0000.PDF](https://www.uradni-list.si/files/RS_-2008-099-04201-OB~P001-0000.PDF).
- „NooElec Ham It Up v1.3“. 2020. NooElec. 2020. <https://www.nooelec.com/store/ham-it-up.html>.
- „NooElec Male SMA to Female Belling-Lee Adapter“. 2020. NooElec. 2020. <https://www.nooelec.com/store/male-sma-female-iec-61169-2-pal-tv-aerial-adapter.html>.
- „NooElec NESDR SMarTee v2“. 2020. NooElec. 2020. <https://www.nooelec.com/store/nesdr-smartee-sdr.html>.
- „SDR Touch“. 2020. Martin Marinov. 2020. <https://www.sdrtouch.com/>.
- „Software-defined radio“. 2020. Wikipedia. Wikimedia Foundation. januar 2020. [https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined\\_radio](https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_radio).
- „Spletna stran Atouk Alunda Vita“. 2012. Atouk Alunda Vita. 2012. <http://www.atouk.com/wordpress/sdr/>.

## **14 Zahvala mentorju**

Zahvaljujem se mentorju prof. Petru Kreblju, za pomoč pri izdelavi raziskovalne naloge in predvsem moralno podporo.

## **15 Izjava o avtorstvu**

Spodaj podpisani dijak David Panić izjavljam, da je ta naloga izključno moje avtorsko delo.