

PROJEKT PRI PREDMETU DIGITALNE KOMUNIKACIJE:

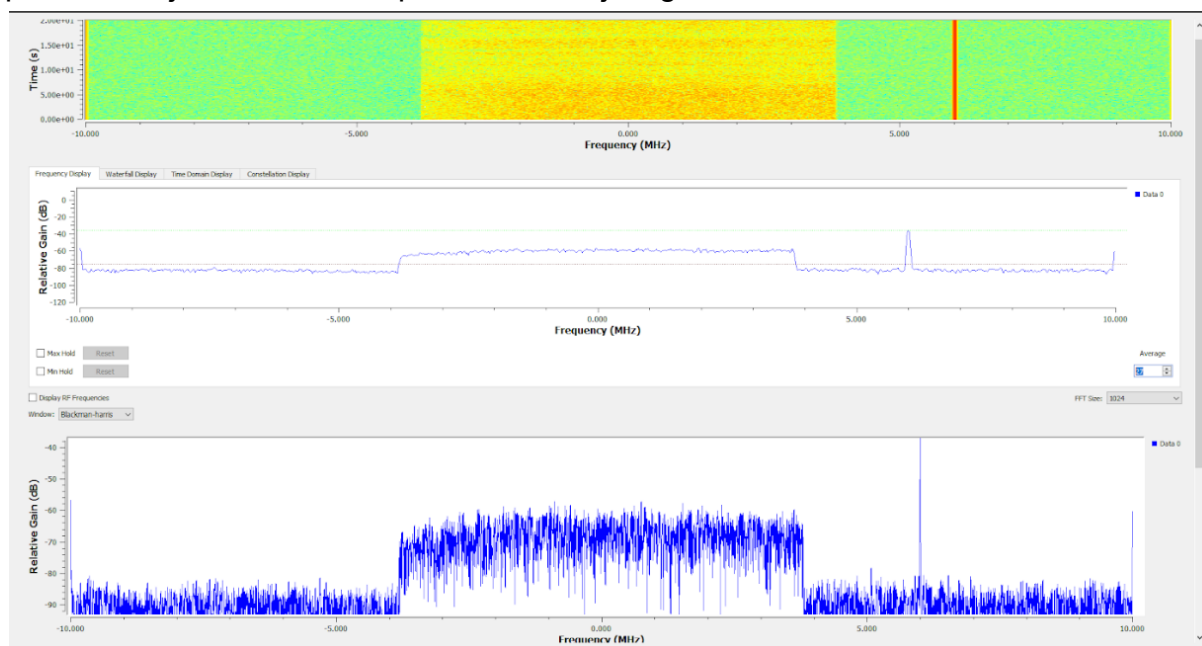
DVB-T

Mentorja: as. Timotej Gruden in doc. dr. Anton Umek

Avtorji: Prevorčnik Uroš, Rutar Filip, Vec Val in Vidergar Urban

DVB-T v Sloveniji - frekvenčno območje, multipleksi, moč signala

Frekvenčno območje DVB-T signala Sloveniji je v razponu 470-790 MHz. TV programi so v Sloveniji razporejeni po posameznih multipleksih in sicer večinoma po multipleksoma A in C, ter lokalnih L. Multipleksa A in C sta na frekvencah 562MHz in 610MHz. Uspelo nam je ujeti oba, za analizo pa smo si izbrali multipleks C, ki je bil na lokaciji močnejši. Signal, ki smo ga ujeti je prikazan na spodnji sliki. Snemali smo ga na frekvenci 610MHz, širina dobljenega signala je 8MHz moč pa okoli -60dB, se pravi smo ujeti celoten multipleks. Razmerje signala in šuma smo ocenili na 10dB.



Modulacijski postopek

Pri poskusih oddajanja smo za vhod uporabili transportni tok, kjer so združeni slika, zvok in vsi ostali metapodatki programov. Temu se doda dodatna zaščita v obliki Reed-Solomonovega kodiranja, kjer dodamo redundantne bajte. Posamezne pakete razbijemo na manjše dele, ki jih pomešamo med dele ostalih paketov, tako da se napake na prenosni poti razporedijo med več paketov in jih lahko popravimo. Sledi konvolucijsko kodiranje, kjer ponovno dodajamo redundantne bite. Poznamo različna kodna razmerja od $\frac{1}{2}$ do $\frac{7}{8}$, pri slednjemu na 7 bitov informacije dodamo 1 bit redundance. Pri nas multipleks A uporablja razmerje $\frac{2}{3}$, multipleks C pa $\frac{3}{4}$. Prvi je torej bolj odporen na motnje, drugi pa ima na voljo več neto bitnega pretoka za informacije. Pri modulaciji se biti pretvorijo v simbole. Pri nas je v uporabi QAM-64 torej 6 bitov predstavimo z enim amplitudno in fazno moduliranim simbolom. Namesto hitrega oddajanja simbolov po celotni širini signala uporabimo COFDM, kjer oddajamo naenkrat več tisoč simbolov na posameznih ozkih nosilcih, vsak simbol pa traja dalj časa. Vsakemu simbolu je dodan še zaščitni interval, kar preprosto pomeni da simbol oddajamo dalj časa kot ta v resnici traja kar sprejemniku

omogoča uporabno seštevanje simbolov iz različno oddaljenih oddajnikov in odbitih signalov. Pri nas se oddaja na 6817 nosilcih širine 1116Hz, od tega jih 6048 prenaša koristne podatke ostali pa služijo kot pilotni nosilci za pomoč pri sprejemu. Posledica uporabe COFDM je pravokotna oblika amplitude spektra ki ga vidimo pri sprejemu.

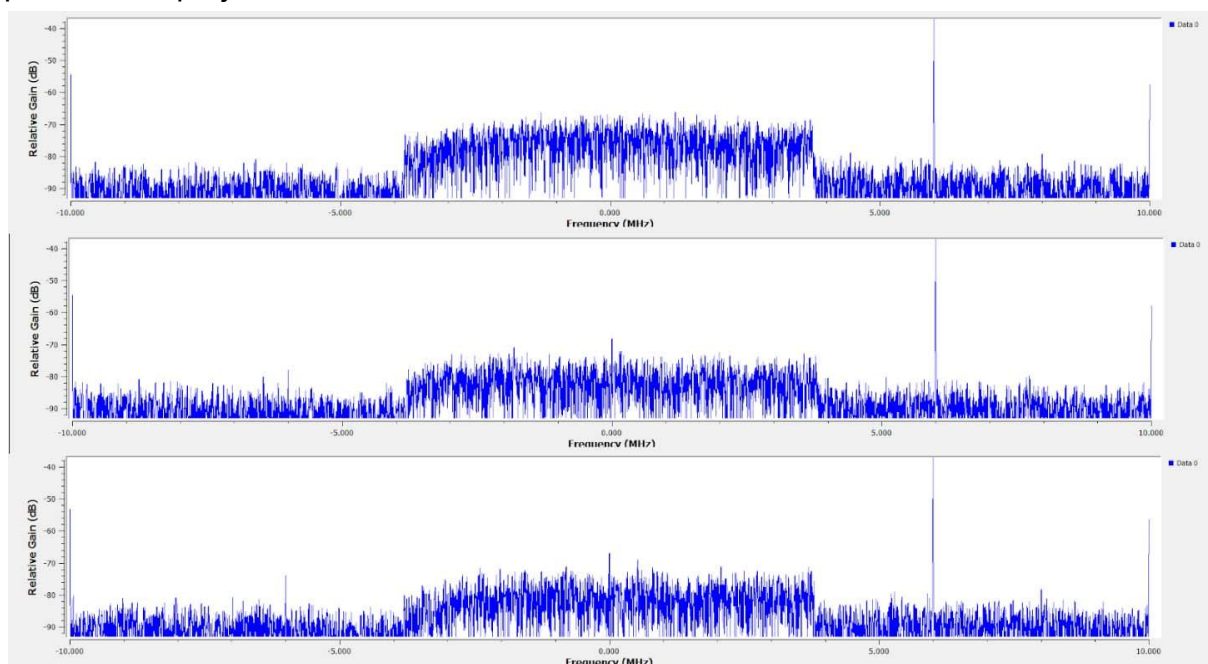
Vpliv položaja antene na sprejeti signal

Pri projektu smo poskušali sprejemati signal v različnih legah antene HACK RFa. Signal smo sprejemali, ko je bila antena vodoravno, navpično in pod kotom 45 stopinj.

Ugotovili smo, da antena signal najbolje sprejema ko je v vodoravnem položaju. To je tudi pričakovano, saj je za krvavški oddajnik znano, da digitalno televizijo (oba multipleksa) oddaja z horizontalno polarizacijo. Pri 45 stopinj smo opazili presluh, saj je imel del spektra občutno manjšo amplitudo signala.

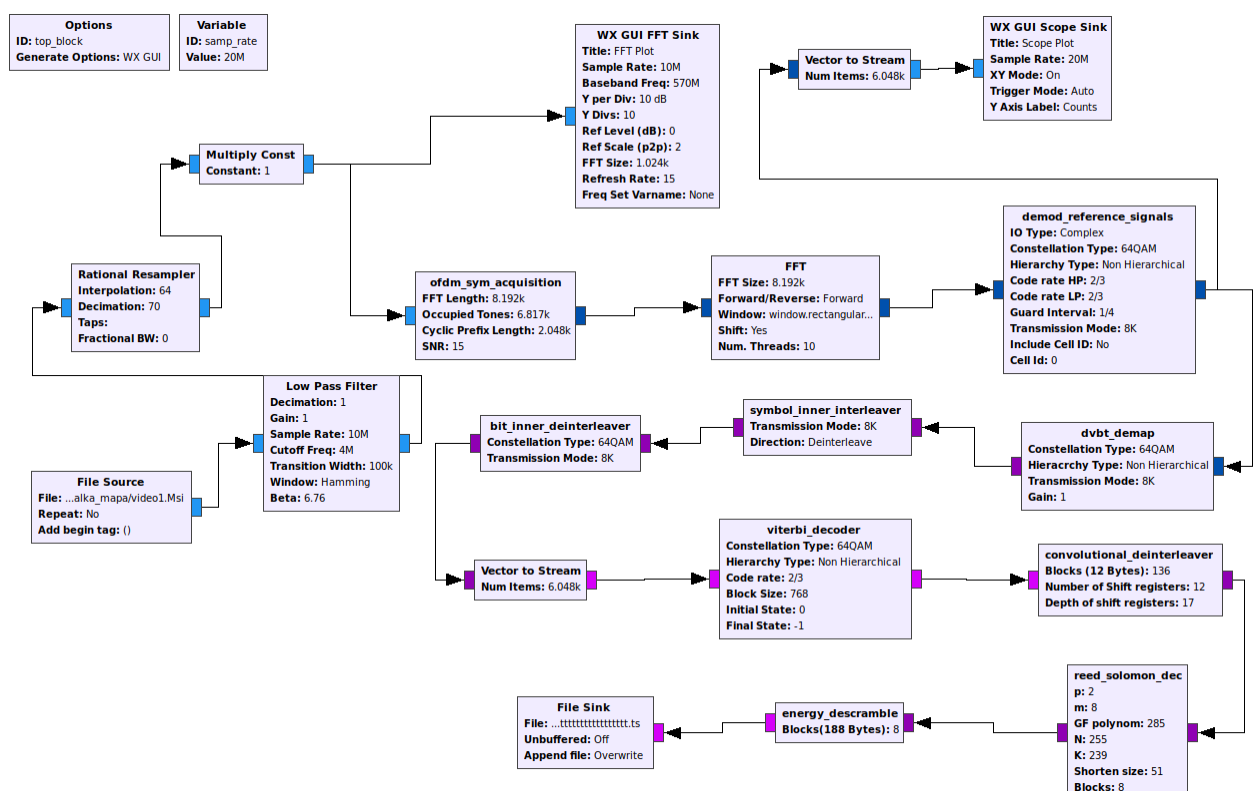
Najbolje je tudi, da med oddajnikom in sprejemnikom ni ovir, in da je antena obrnjena v smer oddajnika. V našem primeru smo anteno obrnili mimo gozda in hiš neposredno proti oddajniku na Krvavcu.

Testirali smo tudi moč sprejema pri različnem medsebojnem položaju oddajne in sprejemne antene. Za oddajno anteno smo uporabili HackRF, za sprejemno pa RTL-SDR ključek v SDR načinu s priloženo anteno. Za spremljanje sprejetega signala smo uporabili program SDR#. Najmočnejši signal smo dobili, ko sta si bili obe anteni vzporedni, najslabši pa ko sta bili pravokotni druga na drugo. Pomembna pa je bila tudi razdalja med antenama. Že pri oddaljenosti več kot en meter je moč signala občutno upadla. Pri nekaj metrih razdalje je bil signal že občutno slabši in preslab za sprejem.



Poskus sprejema, oddaje dvb-t v GNU radiu + simulacija

Ko smo želeli oddajati in sprejemati dvb-t televizijo smo si najprej pogledali kako deluje kodiranje in modulacija dvb-t signala. Kodo ki nam omogoča primerno kodiranje in modulacijo ter dekodiranje/demodulacijo smo našli na githubu. Za delovanje smo uporabili virtualni računalnik z sistemom linux, saj je koda potrebovala odvisnosti (angleško dependencies), ki delujejo zgolj v linuxu. Pri sprejemu smo jo prilagodili multipleksu A oz. C, katera smo želeli gledati. Pri tem smo morali spremeniti kodno razmerje in zaščitni interval.

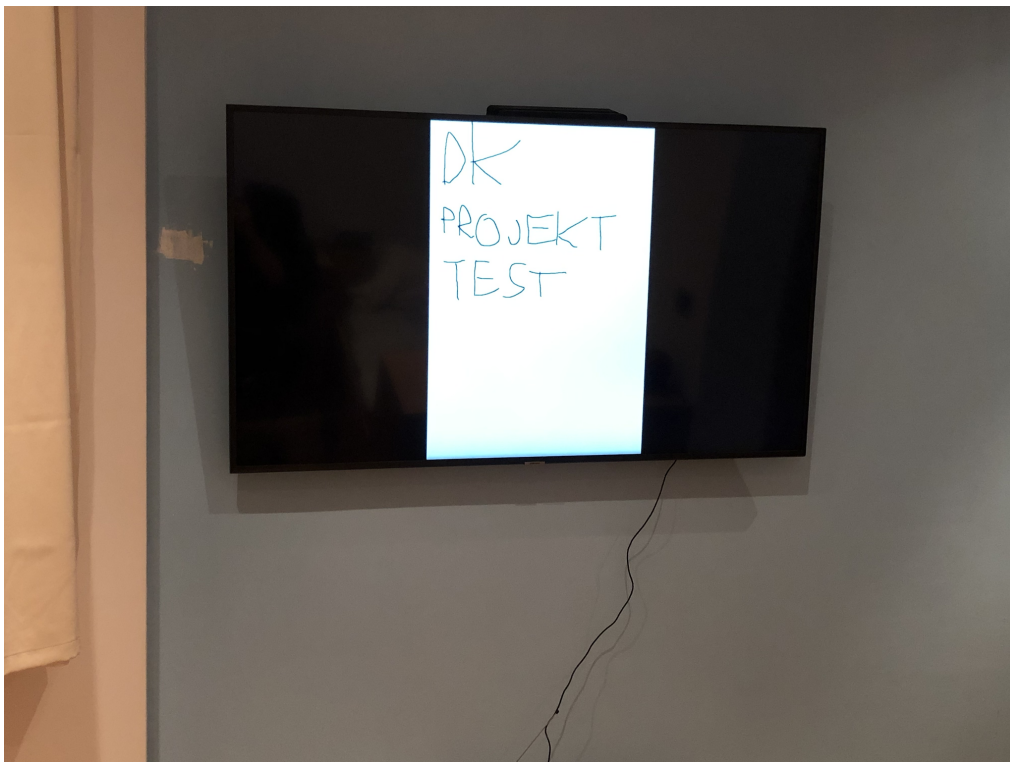
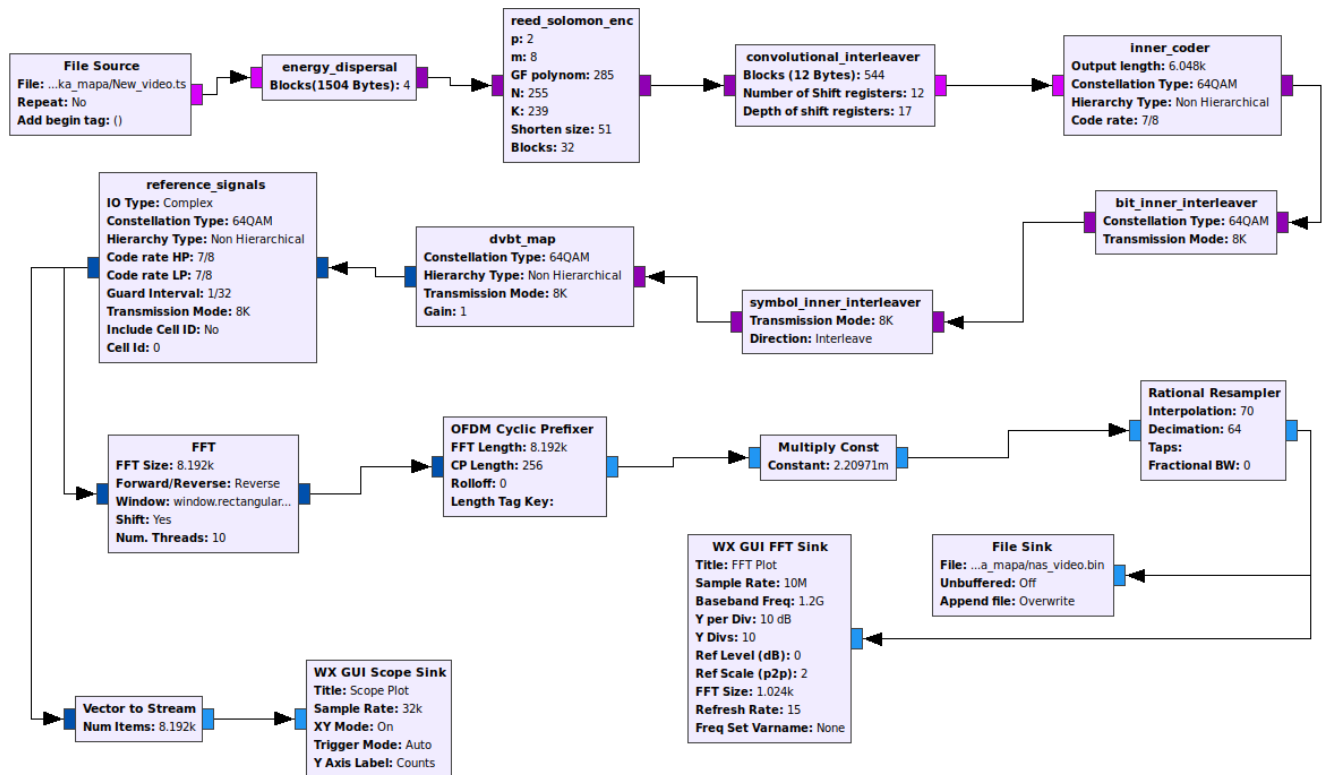


Sprejem v živo ni deloval, saj v ozadju GNU radio blokecev teče slabše optimizirana python koda. V teoriji je procesor računalnika več kot dovolj zmogljiv za demodulacijo in dekodiranje dvb-t signala, vendar nam s kodo, s katero smo razpolagali to žal ni uspelo. Gnu radio je javljal napako, da je procesor preobremenjen. Naslednji korak je bil seveda da signal posnamemo in ga poskusimo dekodirati za nazaj, torej ne v realnem času (shema zgoraj - prilagojena multipleksu A). Tudi to ni uspelo. Da bi našli problem smo poskusili sprejem simulirati. Uporabili smo na internetu najden čisti signal (brez šuma), ki se po kodiranju in modulaciji ujema GNU radio shemi za dvb-t sprejem iz githuba. Temu signalu smo v GNU Radiu prišteli različne moči gaussovega šuma in ugotovili da sprejem deluje do približno $SNR = 15$. SNR našega signala pa je bil ravno okoli 15, tako da predvidevamo, da sprejem ni uspel ker koda v ozadju potrebuje precej dober signal, tega pa nismo imeli. Na tem mestu smo odnehali s tem načinom sprejema in se posvetili oddaji. Pri oddaji smo uporabili obrnjeno GNU radio shemo. Del

dekodiranja, ki je prišel na koncu je bil sedaj del kodiranja, ki pride za začetek. Praktično vse ostalo ostane enako. Izklopili smo grafe, ki nam prikazujejo, kakšen signal oddajamo in naenkrat je imel procesor ravno dovolj moči za kodiranje in oddajanje v realnem času brez preobremenitve. Nastaviti smo morali frekvenco oddaje, ki se ujema z enim izmed kanalov programiranih v televizijo. Izbrali smo frekvenco 506MHz, ki ustreza UHF kanalu 25, saj smo se želeli izogniti oddaji na frekvenci, kjer se dvb-t v Sloveniji že oddaja. Če bi oddajali na frekvenci enega izmed multiplexov bi se signala med sabo motila. To smo seveda tudi preizkusili in se hecali, da smo za projektno nalogo naredili motilec signala. Nazaj k naši oddaji. Signal je televizija zaznala, ampak programa pa nismo našli na TV. Signal ki ga oddajamo smo si ogledali na drugem računalniku z RTL ključkom v programu SDR# in ugotovili, da je spekter pravilne oblike, slike pa vseeno ni.

Uspešna oddaja

Glede na to, da je televizija signal že prej zaznala in da je bil spekter pravilne oblike smo vedeli da smo blizu rešitve. Po dolgem premišljevanju smo prišli do ideje, da bi poskusili najprej pripraviti signal (kodirati sliko in modulirati signal) in ga shraniti v datoteko, nato pa oddajati signal iz datoteke. To je delovalo. Predvidevamo, da je bil problem v majhnih zamikih v procesiranju signala, zaradi katerih signal ni bil pravilno oddan, ki pa niso bili dovolj dolgi, da bi GNU radio javil napako zaradi preobremenitve. Prva oddaja je bila zgolj nek testni transport stream video. Nato pa smo se oddolžili, da želimo oddajati prav svojo vsebino. V Windows Movie Makerju smo naredili video (pravzaprav samo sliko v obliki videa) in ta video pretvorili v transport stream z pomočjo VLC predvajalnika. Transport stream je oblika, ki ima tako video in zvok, kot tudi tabele o kanalu, ki jih TV uporabi da prepozna programe, pravilno poveže ustrezno sliko z zvokom, nudi podatke o načinu zapisa vsebine in podatkih omrežja, nosi informacije o predvajani vsebini in še več. Naš transport stream (datoteko s končnico .ts) smo dali v že prej preizkušeno shemo v GNU radiu in smo uspešno oddali doma narejen video. Oddajo smo ponovili z različnimi kodnimi razmerji - večje kot je kodno razmerje, manj zaščitnih bitov oddajamo, večja je neto bitna hitrost, ampak je manj zaščite - večja verjetnost napak. Ker je imel naš video majhno bitno hitrost in ker je moč signala ki ga zmore oddajati Hack RF zelo majhna, je bilo smiselno oddajati s kodnim razmerjem $\frac{1}{2}$. Moramo pa priznati da razlike v kvaliteti nismo opazili, sprejem je bil dokaj slab v vsakem primeru. Uspešno smo oddajali signal tako s QAM64 modulacijo (ki jo uporablja slovenski dvb-t) kot tudi QPSK modulacijo, ki je sicer bolj pogosto uporabljena za dvb-s (satelitsko televizijo) ter v nekaterih državah tudi za dvb-t. QPSK omogoča nižji neto bitni pretok, vendar je bolj odporna. Na sliki je shema za QAM64 s kodnim razmerjem $\frac{7}{8}$ in zaščitnim intervalom $\frac{1}{32}$.



Uspešen sprejem dvb-t z SDR ključkom ter VLC playerjem

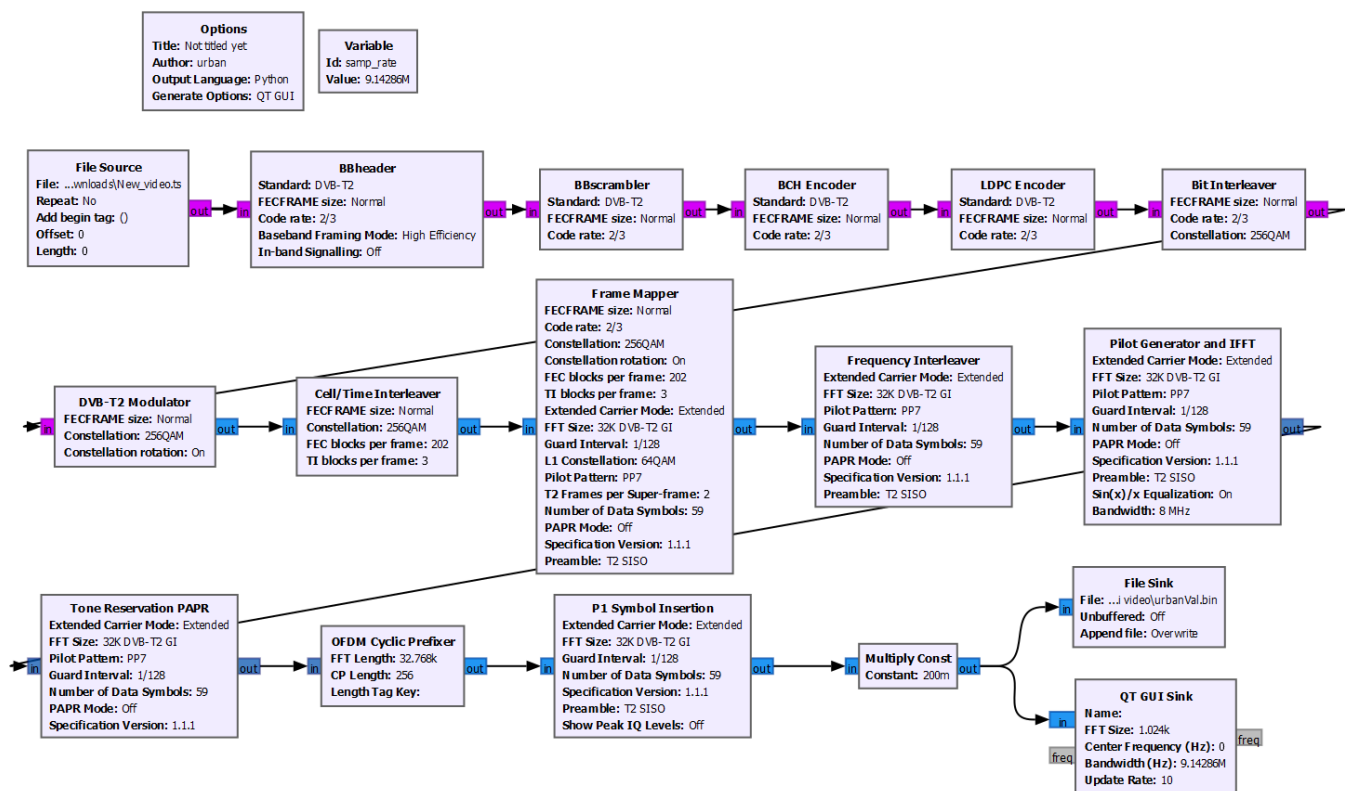
Program VLC že privzeto vsebuje zelo robusten predvajalnik DVB-T in DVB-T2 signalov. Skupaj z RTL-SDR adapterjem RTL2832U smo s priloženo anteno

poskusili gledati DVB-T multipleks A in C. RTL ključek lahko deluje v dveh načinih, kot SDR radio in kot sprejemnik. V tem primeru smo ga uporabili v slednjem načinu, za to pa smo morali naložiti temu namenjen gonilnik.

Pri uporabi programa VLC lahko nastavimo vrsto sprejetega signala (DVB-T, DVB-S, DVB-T2 itd.), frekvenco ter parametre kot so širina signala, kodno razmerje in zaščitni interval. Mi smo izbrali samo vrsto signala in frekvenco gledanega multipleksa, ostalo pa smo pustili na samodejni nastavitvi.

Uspeli smo gledati multipleks C, kakovost sprejetega signala pa je bila precej slaba. Delal je zgolj zvok, občasno še slika, ki pa je precej kockala in prekinjala. Boljši sprejem smo dobili z zamenjavo priložene antene z močnejšo sobno anteno z zunanjim napajanjem in notranjim ojačevalnikom. Vendar tudi v tem primeru, kljub dobri usmeritvi in nastavitvi na maksimalno ojačanje, kvaliteta sprejema ni bila dovolj dobra za tekočo sliko. Na splošno je bila kvaliteta sprejema izredno občutljiva na majhne premike antene. Za boljši sprejem bi morali anteno postaviti ven, na prosto.

DVB-T2 oddajanje



Bločna veriga v GNU radiu za pripravo končnega oddajnega DVB-T2 signala iz vhodne TS datoteke

Uspešno oddajanje DVB-T2 lastnega posnetka:

<https://www.dropbox.com/s/bm8xh14aqmbm3q9/Video%2022-05-2021%2C%2020%2028%2013.mov?dl=0>

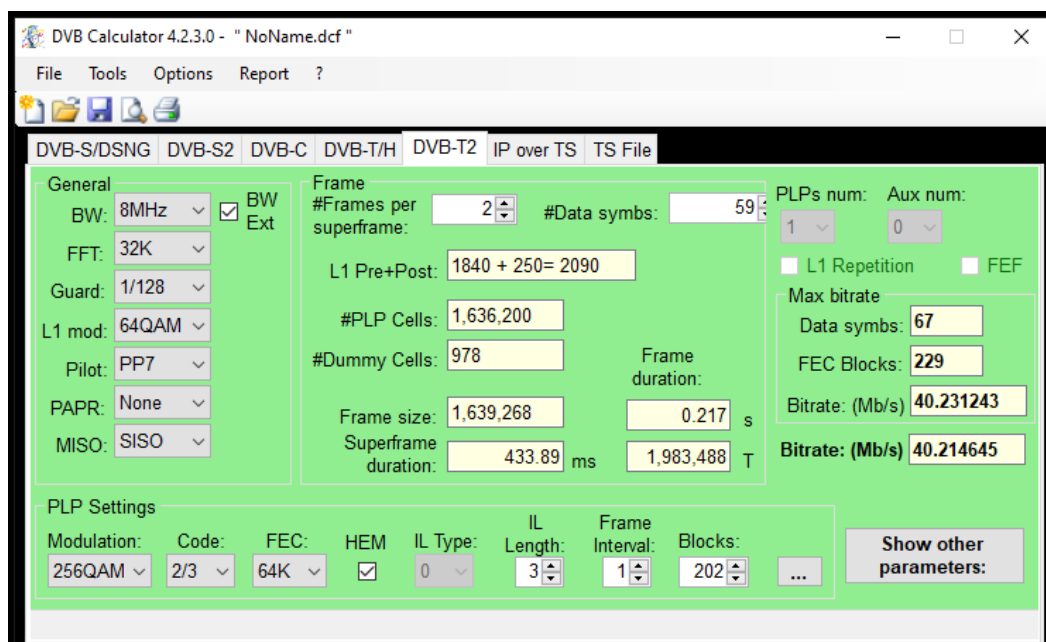
Nadgradnja DVB-T je DVB-T2, ki zagotavlja višje bitne neto hitrosti pri enakih pogojih oddajanja. To pomeni, da lahko v UHF kanalu z 8 MHz pasovne širine istočasno oddajamo več TV programov kot pri prvi generaciji ali pa dodatno pasovno širino porabimo za prenos vsebin v višji ločljivosti. V Sloveniji sicer DVB-T2 še ni uveljavljen, ga pa množično uporabljajo po državah, kjer je DVB-T način oddajanja med uporabniki bolj razširjen (VB, Francija) in po državah v razvoju. DVB-T2 lahko istočasno oddaja več TS transportnih tokov, uporablja boljše kodiranje in zahtevnejše modulacije, ponuja uporabo večih FFT nosilcev ter bolje izkoristi spekter, saj je relativni delež pilotnih nosilcev manjši.

V našem primeru smo lahko kot vhodno datoteko uporabili povsem enak TS transportni tok kot pri DVB-T in ga nato obdelali po shemi v zapis signala (.bin datoteka), ki ga DVB-T2 sprejemnik ob sprejemu lahko dekodira in predvaja. Uporabili smo kodno razmerje $CR=2/3$, modulacijo 256-QAM, zaščitni interval $GI=1/128$ in oddajanje na 32k nosilcih (FFT size). Uporabili smo SISO (single input single output) način DVB-T2 oddajanja, saj smo razpolagali zgolj z enim HackRF oddajnikom.

Končen signal, ki je bil pripravljen za oddajanje smo zapisali v .bin datoteko in jo preko Osmocom Sink bločnega objekta posredovali na HackRF. Oddajali smo na UHF kanalu 25, to je na centralni frekvenci 506 MHz, moč pa nastavili na 47dB, saj je to maksimalna vrednost, ki jo omogoča HackRF. Na sprejemniku Samsung series 7 TV z 10 cm zunanjo prenosno anteno je bila pri DVB-T2 kvaliteta sprejema 100%, pri DVB-T pa le okoli 15%, čeprav sta bili oddajni moči enaki. Razlog se morda skriva v izbiri konstante množenja na koncu sheme pri oblikovanju končne .bin oddajne datoteke, saj lahko nepravilna izbira celo onemogoči pravilno oddajanje programa.

Perceptivna kvaliteta je bila pri DVB-T2 oddajanju občutno boljša kot pri DVB-T. Razlog je verjetno v izbiri konstante modulaciji TS transportnega toka. Z optimalno izbiro konstante močno vplivamo na sprejemanje, saj oddajnik ne oddaja več pravilno, če je amplituda prevelika. Če je pa amplituda premajhna pa je na sprejemni strani premajhna moč signala.

DVB-T2 je smiselna nadgradnja DVB-T, žal pa ga v živo ne moremo demonstrirati z RTL ključkom, saj ta podpira le DVB-T.



Za naš primer modulacije DVB-T2 signala je potrebna bitna hitrost transportnega toka (.ts) 40.21 Mbps. Bitna hitrost oddajanja se mora teoretično ujemati z izračunano vrednostjo.

Viri

- <https://dvb-t.svetidej.com/sl/drzave/slovenija.html#analiza>
- <https://www.rtvlo.si/oz/oddajanje/dvbt/opis/538583>
- [https://sl.wikipedia.org/wiki/Krvavec_\(oddajnik\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Krvavec_(oddajnik))
- <https://github.com/BogdanDIA/gr-dvbt>
- <https://silvustechnologies.com/why-silvus/technology/introduction-to-cofdm/>
- Učbenik
- Navodila za laboratorijske vaje