



Republika Srbija

Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj

Godišnji izveštaj o radu na projektu u 2012. godini

Tehničko rešenje

„Razvojno komunikaciono okruženje bazirano na USRP hardveru“

<i>PROGRAM</i>	<i>Program tehnološkog razvoja</i>
----------------	------------------------------------

<i>OBLAST</i>	<i>Eletronika i telekomunikacije</i>
---------------	--------------------------------------

<i>Naziv projekta</i>	<i>Razvoj i realizacija naredne generacije sistema, uređaja i softvera na bazi softverskog radija za radio i radarske mreže</i>
-----------------------	---

<i>Rukovodilac</i>	<i>Predrag Petrović</i>
--------------------	-------------------------

<i>Evidencioni broj</i>	<i>TR 32051</i>
-------------------------	-----------------

Niš, mart 2012.

Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu

Projekat za tehnološki razvoj: **Razvoj i realizacija naredne generacije sistema, uređaja i softvera na bazi softverskog radija za radio i radarske mreže**

Oznaka projekta: **TR 32051**
Rukovodilac projekta: **Predrag Petrović**
Godina/faza/aktivnost: **2012**

Vrsta dokumenta: **Tehnička dokumentacija projekta**
Stepen poverljivosti: **Dostupne informacije**

Tehničko rešenje: **TR 32051**

Naziv rešenja: **Razvojno komunikaciono okruženje bazorano na USRP hardveru**

Skraćeni naziv rešenja: **Razvojno okruženje**

Ključne reči: **softverski radio, USRP, laboratorijsko postrojenje**

Podtip rešenja: **M83 – Novo laboratorijsko postrojenje**

Realizatori: **Bojan Dimitrijević, Zorica Nikolić i Nenad Milošević**

Korisnici: **Elektronski fakultet u Nišu**
Primena od: **maj 2012. godine**

Odgovorno lice: **Zorica Nikolić, e-mail: zorica.nikolic@elfak.ni.ac.rs**

SADRŽAJ:

1	UVOD	4
2	OPIS TEHNIČKOG REŠENJA.....	4
2.1	Arhitektura hardvera	4
2.2	Arhitektura softvera	11
2.2.1	Komunikacija sa USRP-om	12
2.2.2	Obrada signala u predajniku/prijemniku.....	12
2.2.3	Grafički interfejs	12
2.2.4	Virtuelni instrumenti	18
3	ZAKLJUČAK	20
4	LITERATURA.....	21
5	PRILOZI.....	22

1 UVOD

Cilj projektnog zadatka „**Razvojno komunikaciono okruženje bazirano na USRP hardveru**“ je razvoj laboratorijskog postrojenja na bazi principa i tehnologija softverskog radija koje će se dalje koristiti za potrebe naučno-istraživačkog rada u oblasti telekomunikacija kao i za potrebe edukacije studenata u okviru laboratorijskih vežbi na Elektronskom fakultetu u Nišu.

Navedeno razvojno laboratorijsko postrojenje je zasnovano na *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) [1] hardveru i *GNU Radio* [2] softverskoj platformi. Reč je o popularnom softversko-hardverskom kompletu koji se često koriste prilikom implementacije rešenja na principima softverskog radija. USRP je univerzalni *front-end* hardver za GNU radio, tj. za softverski prijemnik/predajnik koji vrši kompletnu obradu signala koji stiže iz USRP hardvera na prijemu odnosno koji se šalju prema USRP hardveru na predaji. GNU radio je besplatni *open-source* paket za razvoj softvera za softverski radio i najčešće se koristi u kombinaciji sa USRP hardverom. Međutim, GNU radio se može koristiti i bez ovog hardvera u simulacionom režimu. GNU radio se obično koristi za lične, akademske i u manjoj meri komercijalne potrebe. GNU radio u svom sastavu ima module kao što su: filtri, kanalni koderi, blokovi za sinhronizaciju, ekvalizatori, demodulatori, dekoderi i mnogi drugi elementi koji se obično sreću kod radio sistema. Pored postojećih, jednostavno se mogu dodati novi moduli za obradu signala koji predstavljaju delove prijemnika/predajnika. Međutim, pored brojnih mogućnosti u dizajniranju i kombinovanju elemenata savremenih radio prijemnika/predajnika, GNU radio pokazuje određene nedostatke koji limitiraju njegovu primenu. Na primer, zbog načina na koji komunicira sa USRP hardverom preko USB interfejsa i načina na koji je realizovan grafički interfejs, dešava se da dođe do gubitka nizova podataka usled zauzeća procesora ili nedostupnosti USB interfejsa.

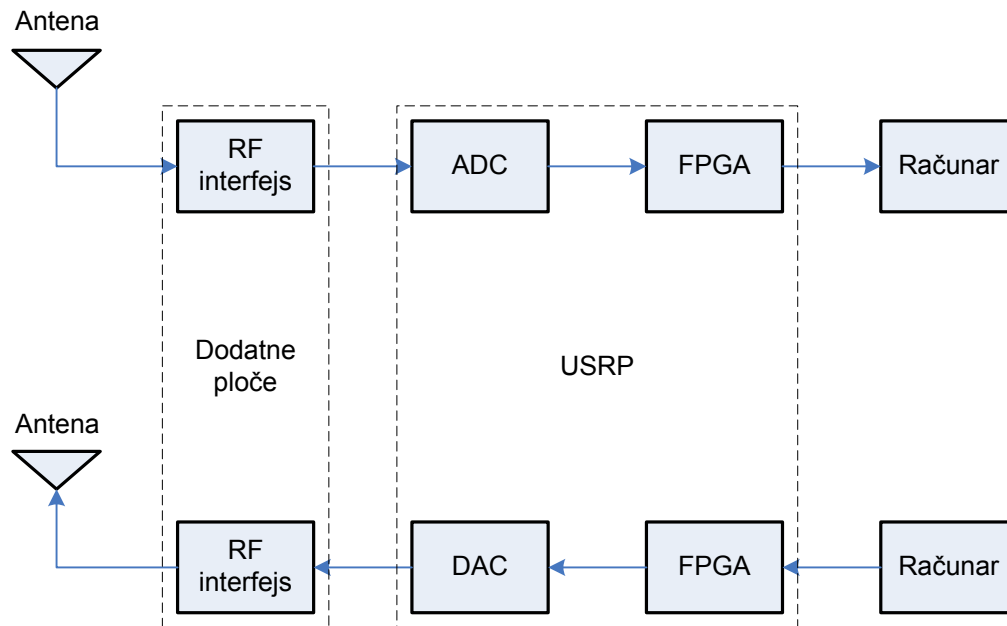
U cilju prevazilaženja navedenih nedostaka GNU radija, u okviru projekta TR 32051 razvijena je sopstvena softverska platforma koja pored najvažnijih funkcija GNU radija istovremeno obezbeđuje značajna poboljšanja. Ova poboljšanja se pre svega odnose na komunikaciju prijemnika/predajnika sa USRP-om, kao i na uvođenje niza virtuelnih instrumenata koji mogu da zamene veliki broj njihovih hardverskih ekvivalenata.

2 OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

Tehničko rešenje se sastoji iz dva dela: hardvera i softvera. Hardver čini USRP platforma. Softver se sastoji iz dela zaduženog za komunikaciju sa USRP-om preko USB interfejsa, dela koji obavlja funkcije predajnika i prijemnika i dela koji predstavlja grafički interfejs sa virtuelnim instrumentima. U daljem tekstu biće detaljnije opisane pomenute funkcionalne celine.

2.1 Arhitektura hardvera

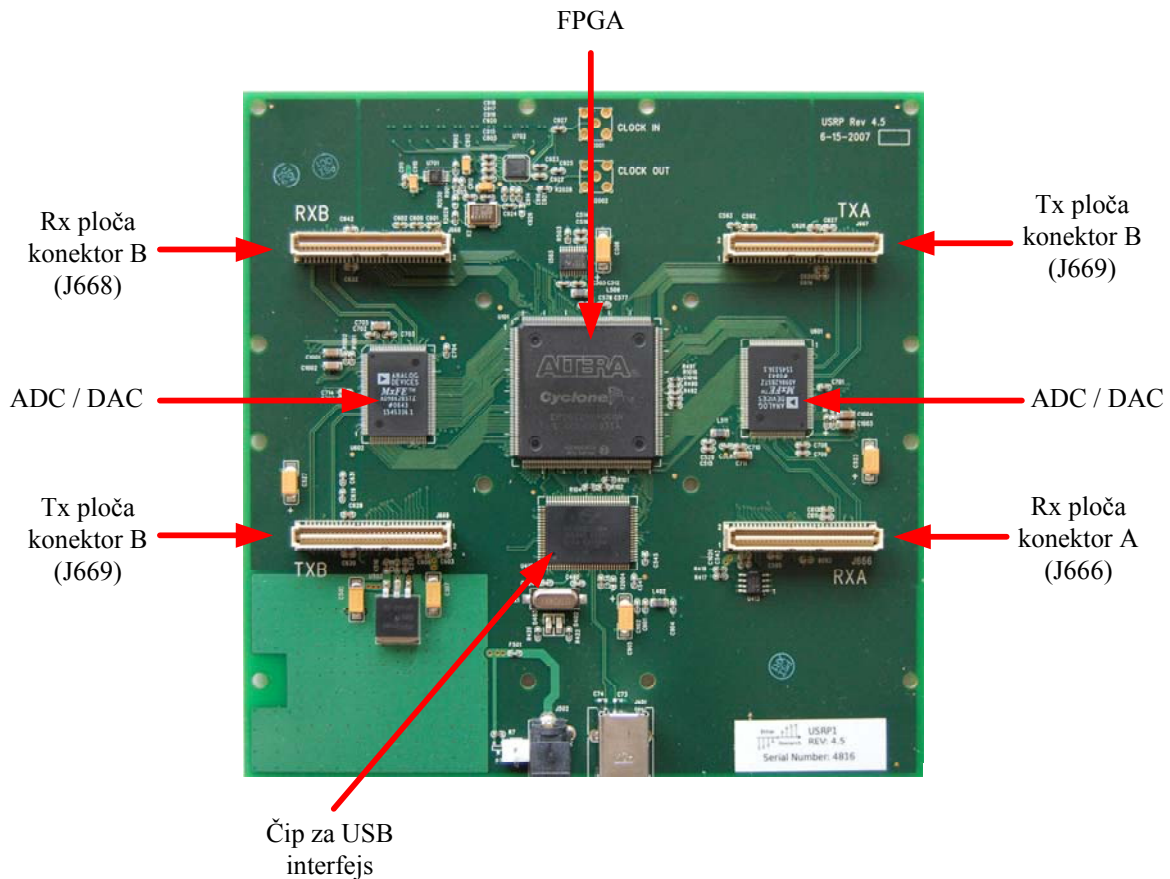
Na slici 1 je prikazana opšta blok šema laboratorijskog postrojenja. Softverski deo se nalazi u okviru blokova koji su označeni kao Računar, dok ostatak pripada USRP hardveru. USRP obezbeđuje analogno-digitalnu i digitalno-analognu konverziju (ADC/DAC) i FPGA funkcionalnosti, dok različite dodatne ploče obezbeđuju translaciju spektra sa željenog frekvencijskog opsega u osnovni ili MF opseg. Fotografija USRP-a je prikazana na slici 2.



Slika 1. Blok šema laboratorijskog postrojenja

USRP konektori za dodatne ploče su na slici 2 obeleženi sa *J66X*. USRP i dodatne ploče su razvijene u okviru otvorenog projekta što znači da su kompletna dokumentacija i fajlovi korišćeni tokom razvoja javno dostupni [3].

Osnovna ideja u primeni USRP-a je da se sva obrada signala vezana sa specifične talasne oblike, kao što su na primer modulacija i demodulacija, obavlja u procesoru računara, a da se sve opšte operacije, za koje je potrebna velika brzina, kao što su na primer digitalna konverzija naviše i naniže, decimacija i interpolacija obavljaju na FPGA [3]. Na slikama 3-5 koje slede prikazane su putanje signala u prijemnom i predajnom delu USRP-a.



Slika 2. USRP matična ploča

2.1.1 Prijemni deo USRP-a

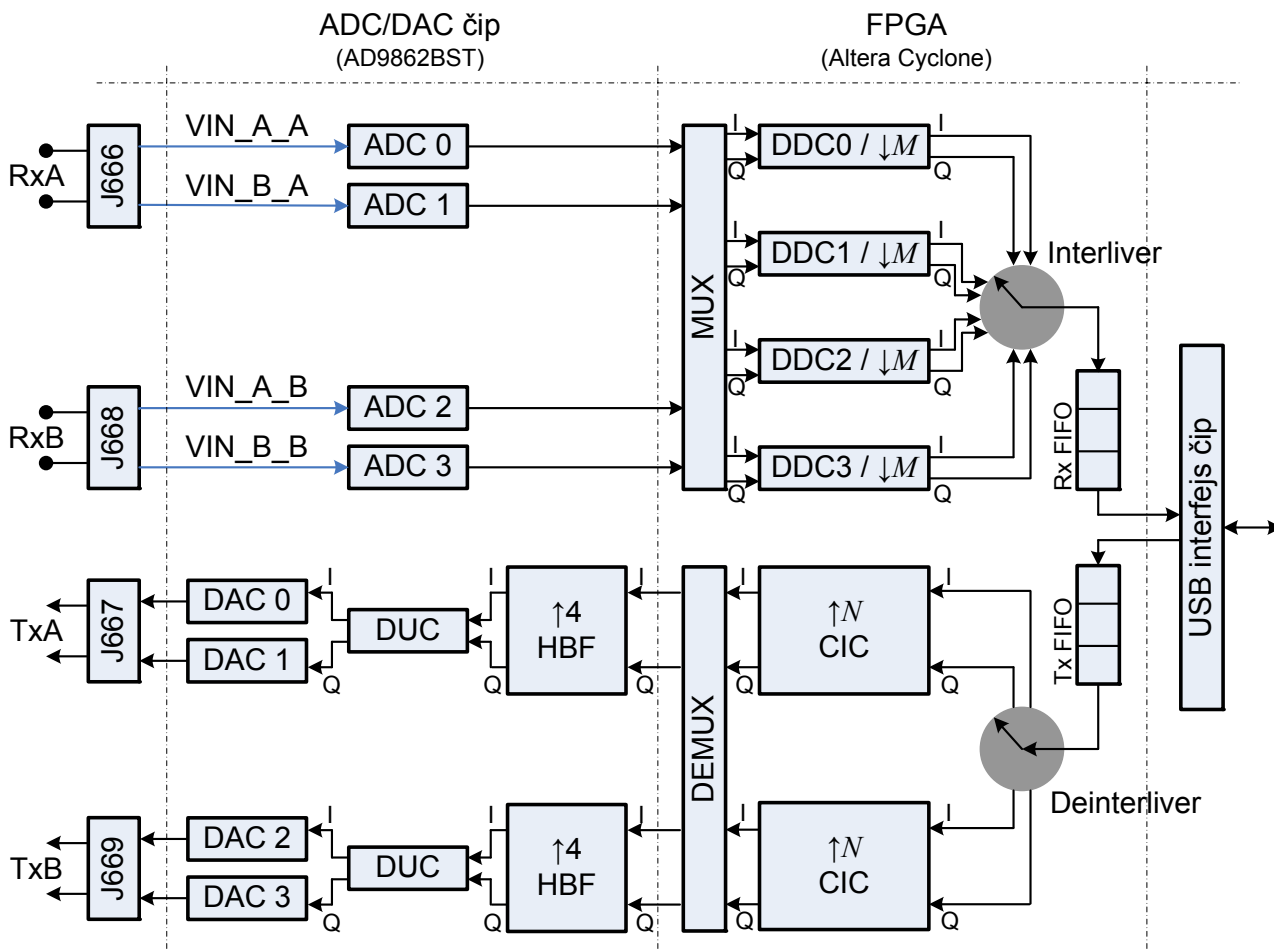
USRP ima dva slota koji služe za priključenje dodatnih ploča za prijem signala. Ovi slotovi su označeni sa RxA i RxB , a odgovarajući konektori su $J666$ i $J668$. Svaki od konektora prihvata dva signala iz dodatne ploče sa realnim naponskim nivoima. Ovi signali su označeni sa VIN_A_X i VIN_B_X , gde se X menja sa A ili B , u zavisnosti od toga kom slotu signali pripadaju (RxA ili RxB). S obzirom da su oba slota identična, ovi signali će u daljem tekstu biti označeni sa VIN_A i VIN_B , osim u slučaju kad ih je potrebno u potpunosti označiti.

Analogni signali VIN_A i VIN_B se vode na dva odvojena AD konvertora, slika 3. Signali se odmeravaju frekvencijom od 64 MS/s, a svaki odmerak ima 12 bita. Signali se iz AD konvertora zatim šalju u FPGA na dalju obradu. Nakon ulaska u FPGA signali se multiplekserom (MUX) prenose do odgovarajućeg digitalnog konvertora naniže (DDC).

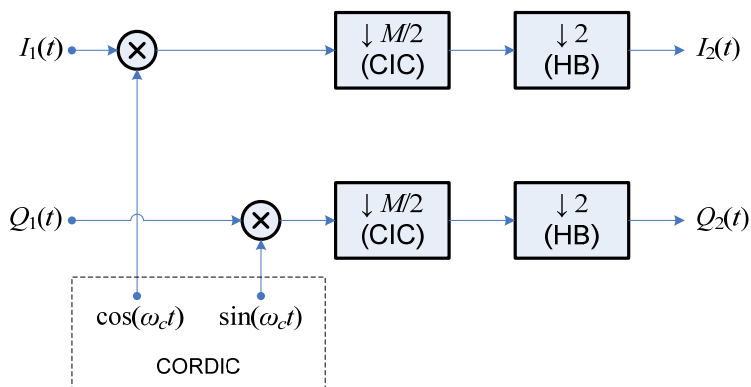
DDC je u osnovi kompleksni mikser. On na ulazima očekuje signale u fazi i kvadraturi. Korisnik određuje da li će VIN_A_A , VIN_B_A , VIN_A_B , VIN_B_B , ili sve nule da se proslede do porta u fazi odnosno kvadraturi svakog od četiri DDC-a. Svaki DDC prebacuje svoj ulazni signal u osnovni opseg. Nakon konverzije naniže, signal se decimira faktorom koji korisnik odredi. Decimacija se odvija u dve faze. Pod pretpostavkom da je korisnik izabrao faktor decimacije M , signal se prvo decimira za faktor $M/2$, korišćenjem CIC (*cascaded integrator-comb*) filtra. Poslednja decimacija sa 2 se obavlja HB (half-band) filtrom. DDC i decimacija su prikazani na slici 4.

Posle decimatora signal se vodi na FIFO bafer. Odavde se odmerci šalju u računar posredstvom USB 2.0 interfejsa. Na slici 3 su prikazana četiri DDC/decimacija kola. Međutim, trenutno su implementirana samo dva. To znači da korisnik može da specificira dva kanala i prima podatke iz oba RxA i RxB . Svaki kompleksni odmerak (u fazi i kvadraturi) se šalje korišćenjem 32

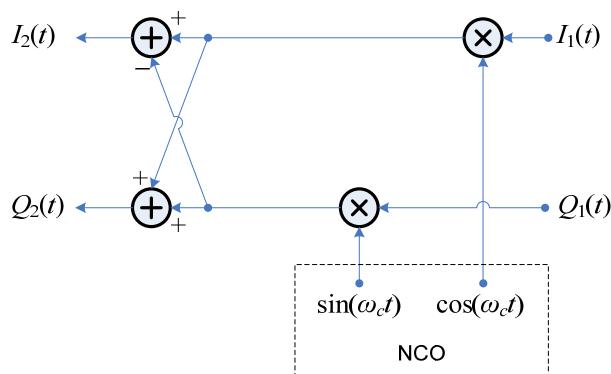
bita (16 bita za signal u fazi i 16 bita za signal u kvadraturi). Čip koji je zadužen za prenos podataka preko USB 2.0 interfejsa može da podrži maksimalnu brzinu prenosa od 32 megabajta u sekundi. Ovaj parametar ograničava propusni opseg signala koji se prenosi prema i iz računara.



Slika 3. Prijemni i predajni deo USRP-a



Slika 4. Stepen za decimaciju i digitalnu konverziju naniže



Slika 5. Stepen za digitalnu konverziju naviše

2.1.2 Predajni deo USRP-a

Predajni deo USRP-a radi vrlo slično prijemnom. Prvo se podaci iz računara smeštaju u predajni FIFO bafer na USRP-u. Iz ovog bafera podaci se šalju na interpolator X . Svaki kompleksni odmerak je dužine 32 bita, kao u prijemnom delu. Ako je korisnik podesio faktor interpolacije N , ulazni podaci se prvo interpoliraju faktorom $N/4$ pomoću CIC filtra.

Izlaz interpolatora se šalje do demultipleksera (DEMUX). DEMUX je manje komplikovan od MUX-a u prijemniku. Ovde se izlazi u fazi i kvadraturi svakog CIC interpolatora šalju na ulaze u fazi i kvadraturi jednog od DAC čipova na ploči. Korisnik bira koji DAC čip prima signale svakog od CIC interpolatora.

Unutar DAC-a, kompleksni signal se interpolira za faktor 4, korišćenjem HB filtra. Ovim se završava zadata interpolacija. Nakon interpolatora, signal se vodi do digitalnog konvertora naviše (DUC). U ovom trenutku signal ne mora da bude modulisan na frekvenciju nosioca. Dodatna RF ploča može dalje da konvertuje signal naviše.

Signali u fazi i kvadraturi na izlazu DUC-a se šalju kao 14-bitni odmerci do individualnih DA konvertora. DA konvertori rade brzinom od 128 MS/s. Ovi analogni signali se šalju iz AD9862 do jednog od konektora $J667$ ili $J666$, koji predstavljaju slotove TxA i TxB .

2.1.3 Dodatne ploče

U tabeli 1 su prikazane dodatne ploče koje su trenutno dostupne. Osnovne ploče nemaju nikakvu obradu signala i, u osnovi, predstavljaju interfejsne eksternih komponenti sa USRP-om. Sve druge ploče imaju odgovarajuću obradu signala.

Tabela 1. Dodatne ploče za USRP

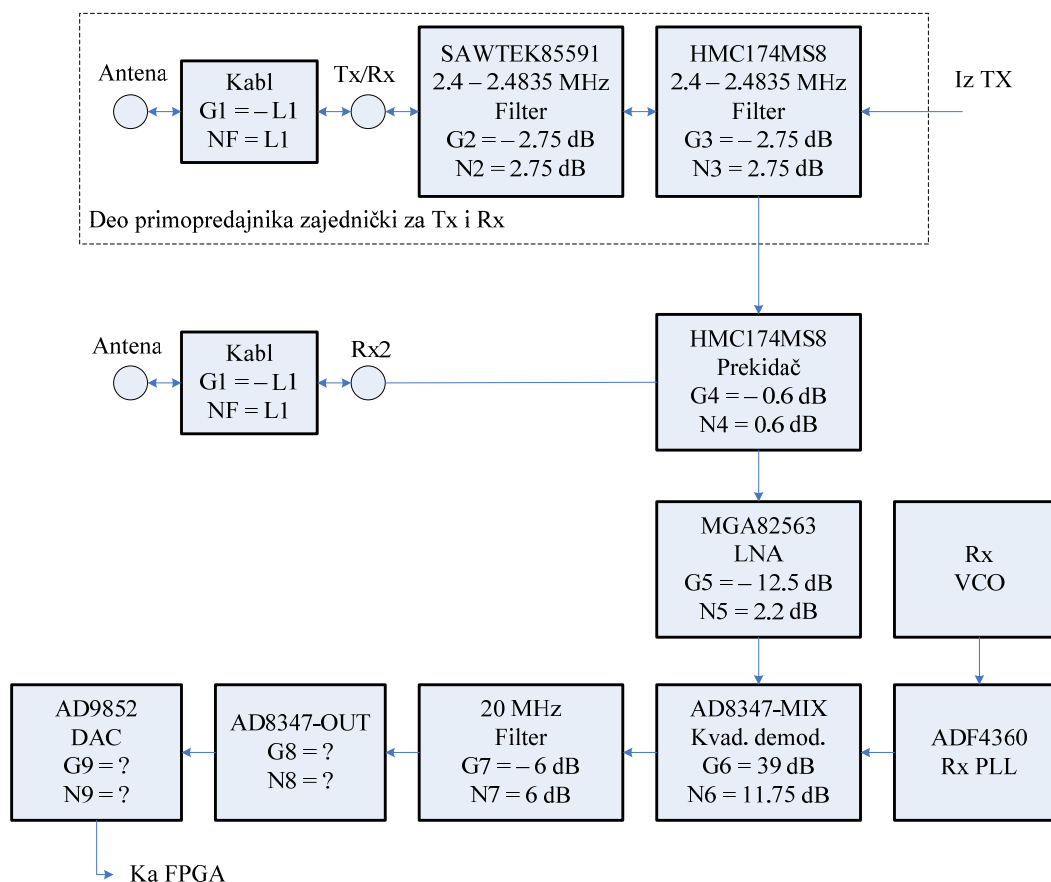
Ime	Funkcionalnost	Frekvencijski opseg (MHz)
BasicRx	Prijemnik	2 – 300+
BasicTx	Predajnik	2 – 200
LFRX	Prijemnik	0 – 30
LFTX	Predajnik	0 – 30
TVRX	Prijemnik	50 – 870
DBSRX2	Prijemnik	800 – 2400
RFX400	Primopredajnik	400 – 500

Ime	Funkcionalnost	Frekvencijski opseg (MHz)
RFX900	Primopredajnik	800 – 1000
RFX1200	Primopredajnik	1150 – 1450
RFX1800	Primopredajnik	1500 – 2100
RFX2200	Primopredajnik	2000 – 2400
RFX2400	Primopredajnik	2300 – 2900
XCVR2450	Primopredajnik	2400 – 2500 4900 – 5850
WBX	Primopredajnik	50 – 2200

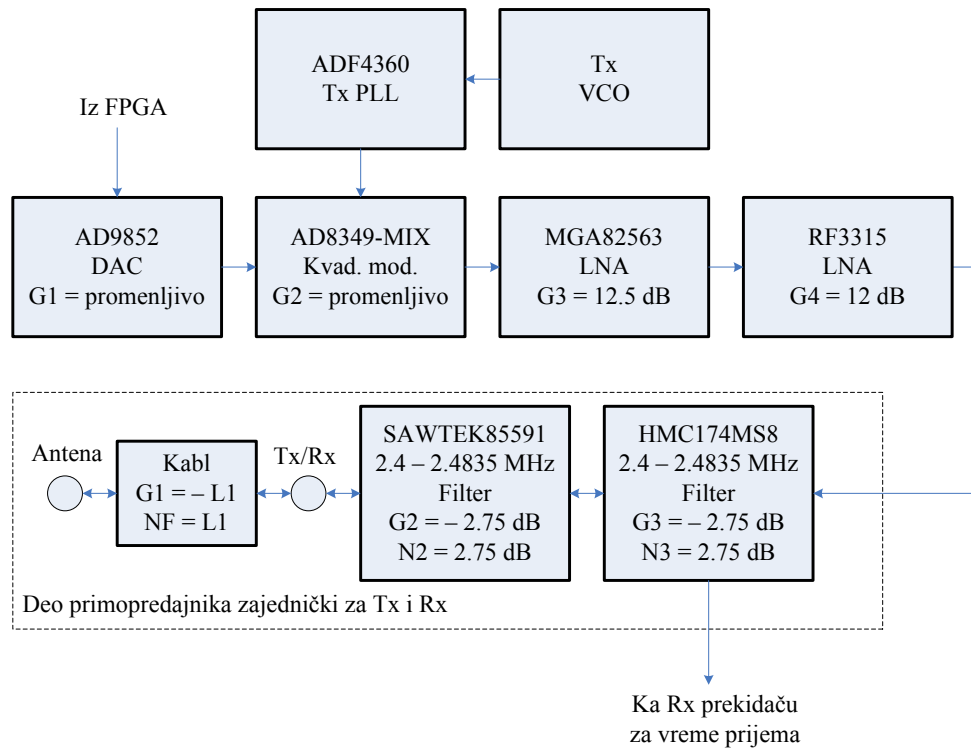
Pri realizaciji ovog tehničkog rešenja korišćena je *RFX2400* 2.4 GHz primopredajna ploča koja je opisana u daljem tekstu.

RFX2400 sadrži dva osnovna čipa i to *AD8347* kvadraturni demodulator i *AD8349* kvadraturni modulator. Oba ova čipa vrše direktnu konverziju, što znači da mogu da prebacuju signal iz osnovnog opsega u 2.4 GHz i obratno, bez međufrekventnih stepena. Signali lokalnog oscilatora, koji se dovode na kvadraturni demodulator *AD8347*, se sintetišu pomoću PLL-a, u okviru koga se koristi naponski kontrolisan oscilator (VCO). Kolo *ADF4360*, koje se koristi za implementaciju ove petlje, ima tipično vreme hvatanja frekvencije od 250 μ s i može se primeniti samo za određen ofset frekvencija.

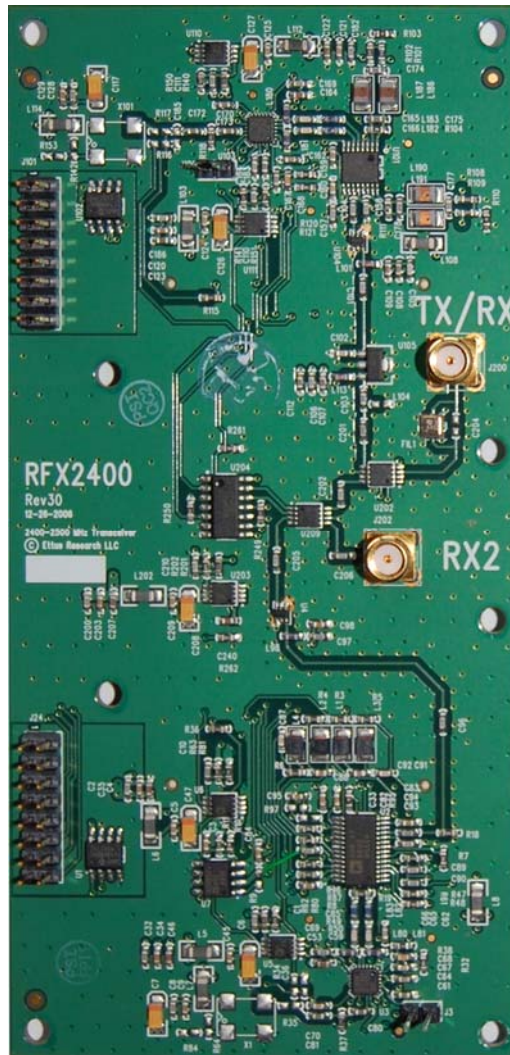
Na slikama 6 i 7 su prikazane blok šeme prijemnog i predajnog dela *RFX2400*, dok je na slici 8 prikazana fotografija ove ploče.



Slika 6. Prijemni deo *RFX2400* ploče



Slika 7. Predajni deo RFX2400 ploče



Slika 8. Fotografija RFX2400 ploče

2.2 Arhitektura softvera

Softverski deo ovog tehničkog rešenja je napisan u C++ i izvršava se na Linuxu. Kao što je već napomenuto u uvodu, softver se sastoji iz više funkcionalnih celina:

- komunikacija sa USRP-om
- obrada signala u predajniku/prijemniku
- grafički interfejs
- virtuelni instrumenti

Veoma značajna osobina softvera je to što se deo softvera zadužen za grafički interfejs i deo koji vrši obradu signala izvršavaju kao posebne niti (*threads*). Zbog toga se oni izvršavaju bez međusobnog ometanja na modernim procesorima sa više jezgara. Treba napomenuti da iako virtuelni instrumenti pripadaju grafičkom interfejsu, ovde su prikazani kao posebna celina zbog njihovog posebnog značaja.

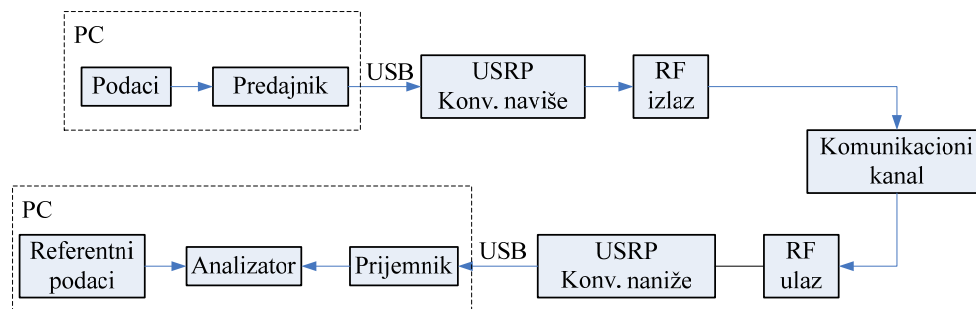
Pomenuti delovi softvera će biti opisani u tekstu koji sledi.

2.2.1 Komunikacija sa USRP-om

Komunikacija sa USRP-om se odvija preko USB interfejsa uz korišćenje *libusb* biblioteke [4]. *libusb* je biblioteka potprograma za kontrolu prenosa podataka iz i ka USB uređajima. Važno je napomenuti da *libusb* radi u tzv. korisničkom modu, tako da nema potrebe za kernel mod drajverima. Između USRP-a i softvera se prenose korisnički podaci prilikom komunikacije, ali se na taj način prenose i podaci za konfigurisanje svih elemenata USRP-a pre početka komunikacije.

2.2.2 Obrada signala u predajniku/prijemniku

Blok-šema komunikacionog lanca tehničkog rešenja, sa detaljnije prikazanim softverskim delom, data je na sledećoj slici.



Slika 9. Blok šema komunikacionog lanca

Da bi bilo moguće porediti poslate i primljene podatke, zbog računanja verovatnoće greške, blok *Podaci*, u predajniku, generiše i ponavlja jednu pseudoslučajnu sekvencu. Ista sekvencu se generiše i u bloku *Referentni podaci* u okviru prijemnika. Blok *Predajnik* obavlja kompletno procesiranje signala u predajniku i priprema modulisanu signal koji se zatim šalje prema USRP-u. Signal se do USRP-a prenosi putem USB interfejsa. USRP prima podatke sa USB interfejsa, obavlja digitalno-analognu konverziju i konverziju naviše na 2.4 GHz. U prijemniku se obavlja slična obrada. Nakon konverzije naniže i analognu-digitalnu konverziju u USRP-u, signal se prenosi u računar preko USB interfejsa. Blok *Prijemnik* obavlja demodulaciju i dodatno procesiranje signala po potrebi, na primer adaptivnu ekvalizaciju signala. Primljeni podaci se zatim analiziraju u okviru bloka *Analizator*. U tom bloku se vrši poređenje poslatih i primljenih podataka, u cilju određivanja verovatnoće greške.

Prijemnik može da radi sa signalom u realnom vremenu, primljenim preko antene u USRP-u, ali i sa signalom koji je ranije snimljen i sačuvan na hard disku. Ova druga mogućnost može da bude pogodna kada je potrebno izvršiti veći broj merenja u istim uslovima, što nije moguće sa signalom u realnom vremenu zbog vremenske promenljivosti uslova prenosa u komunikacionom kanalu.

2.2.3 Grafički interfejs

Grafički interfejs omogućava interakciju korisnika sa laboratorijskim postrojenjem, slika 10. Putem grafičkog interfejsa se podešavaju svi parametri predajnika, USRP-a i prijemnika.

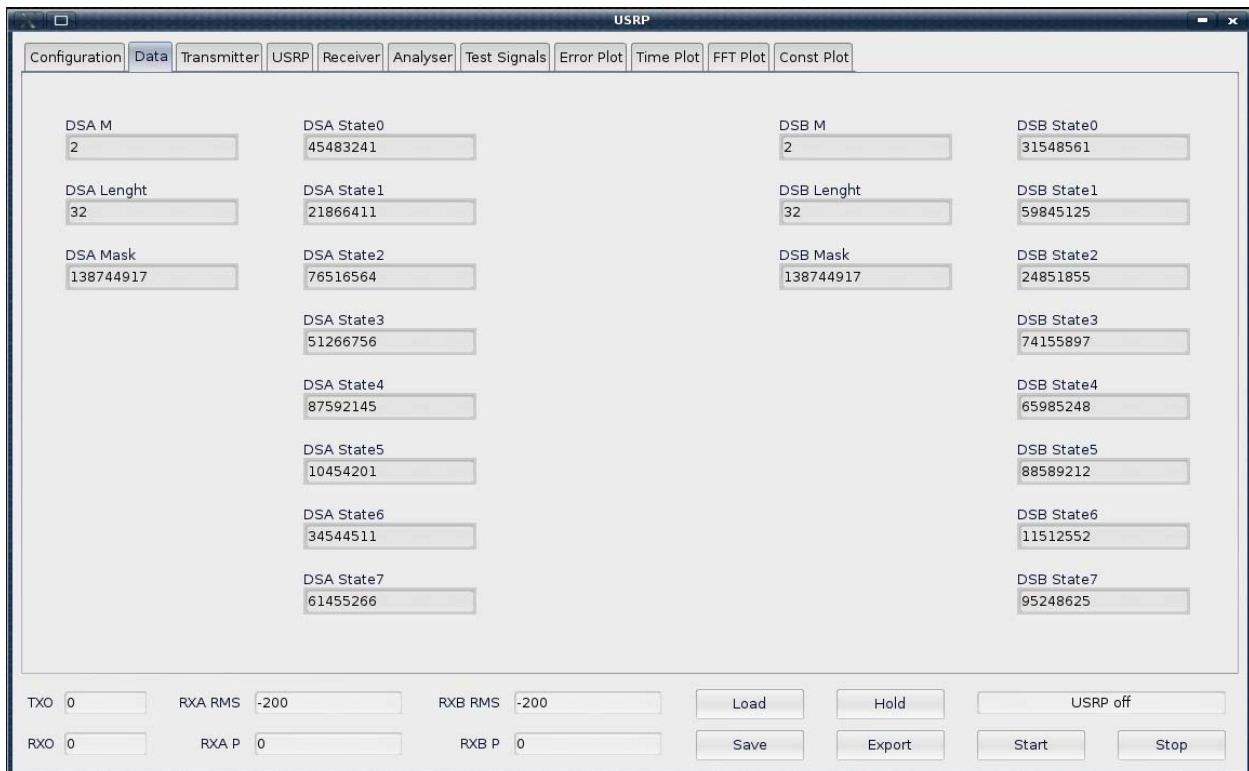
Prvi deo grafičkog interfejsa je segment *Configuration*. U ovom segmentu možemo da vršimo konfiguraciju USRP-a sa četiri slota (TXA, RXA, TXB, RXB), dva predajnika u osnovnom opsegu BTA i BTB, dva prijemnika u osnovnom opsegu BRA i BRB, dva analizatora performansi EAA i EAB, kao i odgovarajućih izvora signala DSA, DSB i njima odgovarajućih referentnih signala RSA, i RSB. Ukratko, na ovom mestu grafički, na jednostavan način, opisujemo šta je sa čime povezano i na koji način. Pored toga, ovde može da se vidi snaga primljenog signala, primljeni

signal može da se snimi na disk, može da se signal učita sa diska kada sistem funkcioniše bez prisutnog USRP hardvera, započinje se i zaustavlja rad prijemnika, odnosno predajnika.



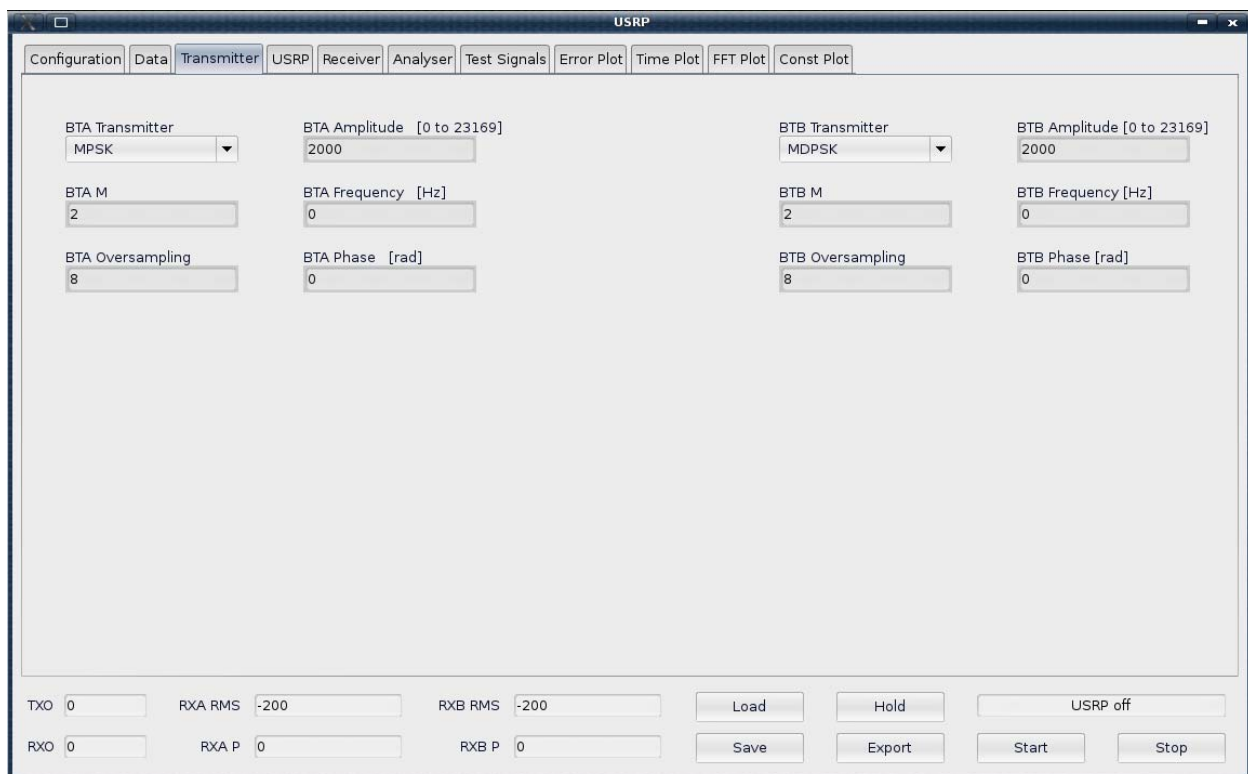
Slika 10. Grafički interfejs – Configuration segment

Na slici 11 je prikazan je segment *Data* grafičkog interfejsa. Ovde se podešavaju parametri generatora pseudoslučajnih sekvenci koje se koriste. Podešava se broj nivoa generisanog signala, dužina generatora i njegovo početno stanje. Kada se koristi modulacija sa dva nivoa, tada se upotrebljava jedan generator pseudoslučajne sekvence. Za modulacije sa više nivoa (najviše 256 u trenutnoj implementaciji) koristi se više identičnih generatora sa različitim početnim stanjima. Tako se za 256 nivoa koristi osam generatora, čija su početna stanja definisana u poljima State 0 do State 7. Postoje ekvivalentni parametri za A i B grane, jer svaki USRP podržava dva predajna i dva prijemna modula.



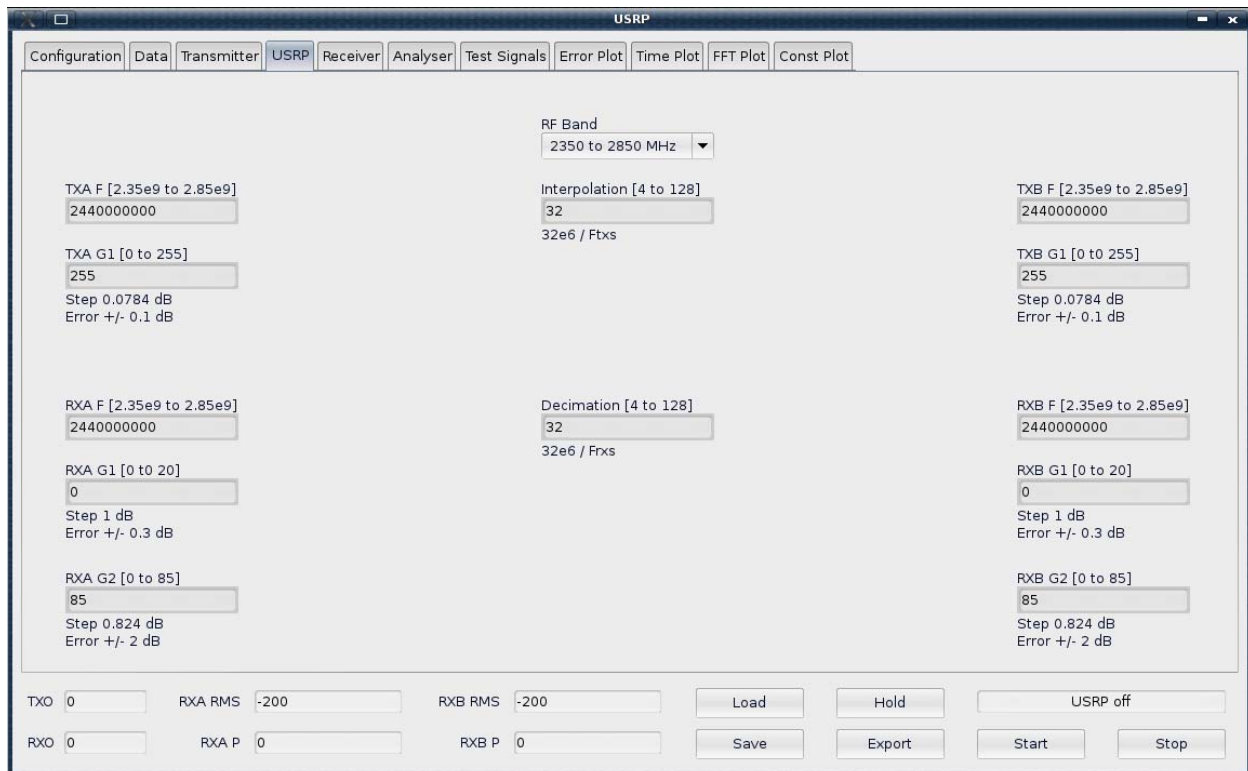
Slika 11. Grafički interfejs – Data segment

Slika 12 prikazuje segment *Transmitter*, u kome se podešavaju parametri signala u predajniku. Parametri signala su vrsta modulacije, broj modulacionih nivoa, oversampling, frekvencija, faza i amplituda koja može da bude u određenom opsegu što je uslovljeno hardverom. Kao i ranije, podešavaju se parametri za A i B granu predajnika.



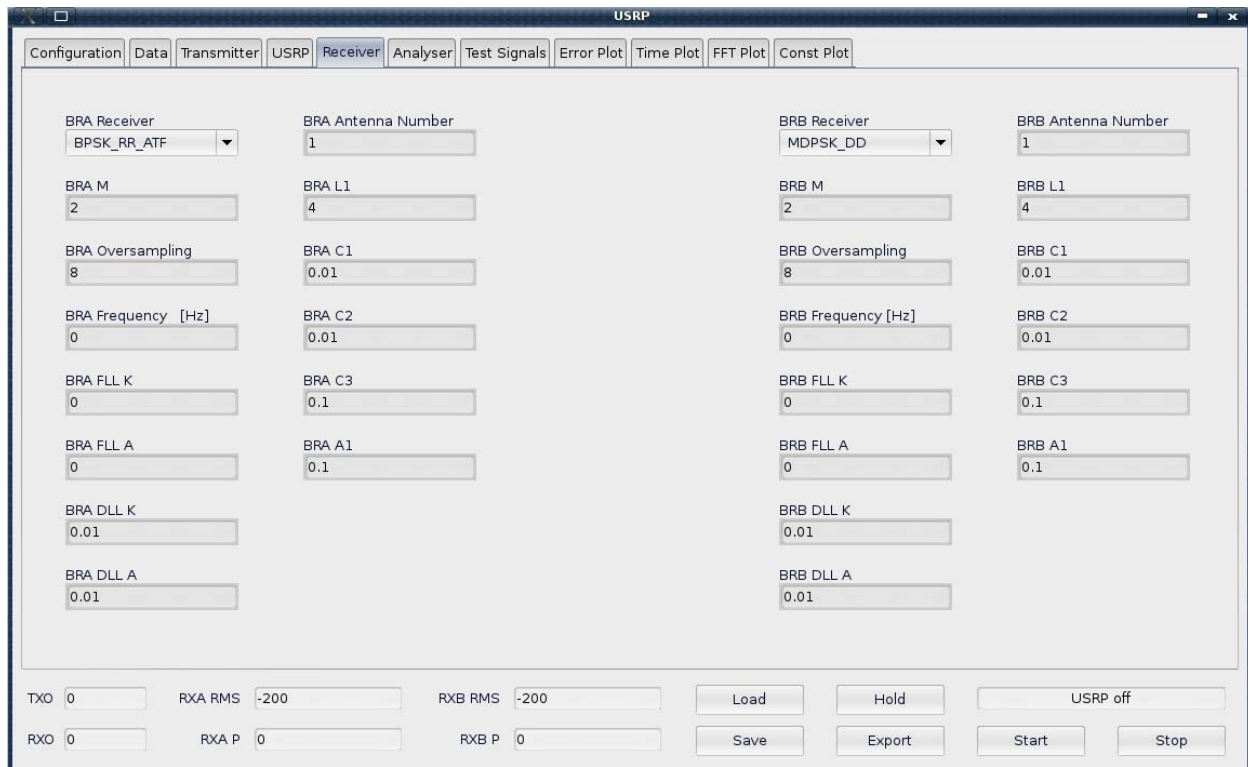
Slika 12. Grafički interfejs – Transmitter segment

Na slici 13 je prikazan segment USRP. Ovde postoje dve sekcije, predajnik i prijemnik. USRP ima jedinstven parametar, a to je opseg u kome radi, pri čemu može da se bira 2.4 ili 1.2 GHz opseg. Kod predajnika, za A i B granu, postoji podešavanje frekvencije i pojačanja. Kod prijemnika je slično, samo što imamo dva pojačanja (fino i grubo). Grubo pojačanje koje ima mikser 8347 u RX sekciji, ima mogućnost da u velikom opsegu menja pojačanje. On ima približnu dinamiku od 70 dB. Fino pojačanje ima dinamiku od 20 dB (od 0 do 20 dB u koracima 0.1 dB). Interpolacija i decimacija su definisane za TX i RX deo. Samo jedna interpolacija je moguća za obe transmitterske grane na USRP-u, a to je uslovljeno konfigurisanjem filtra na FPGA čipu. Kod prijemnika se koristi decimacija. Interpolacija i decimacija se povećavaju kada je obrada signala u predajniku/prijemniku previše kompleksna, pa procesor ne može da obradi veliki protok signala.



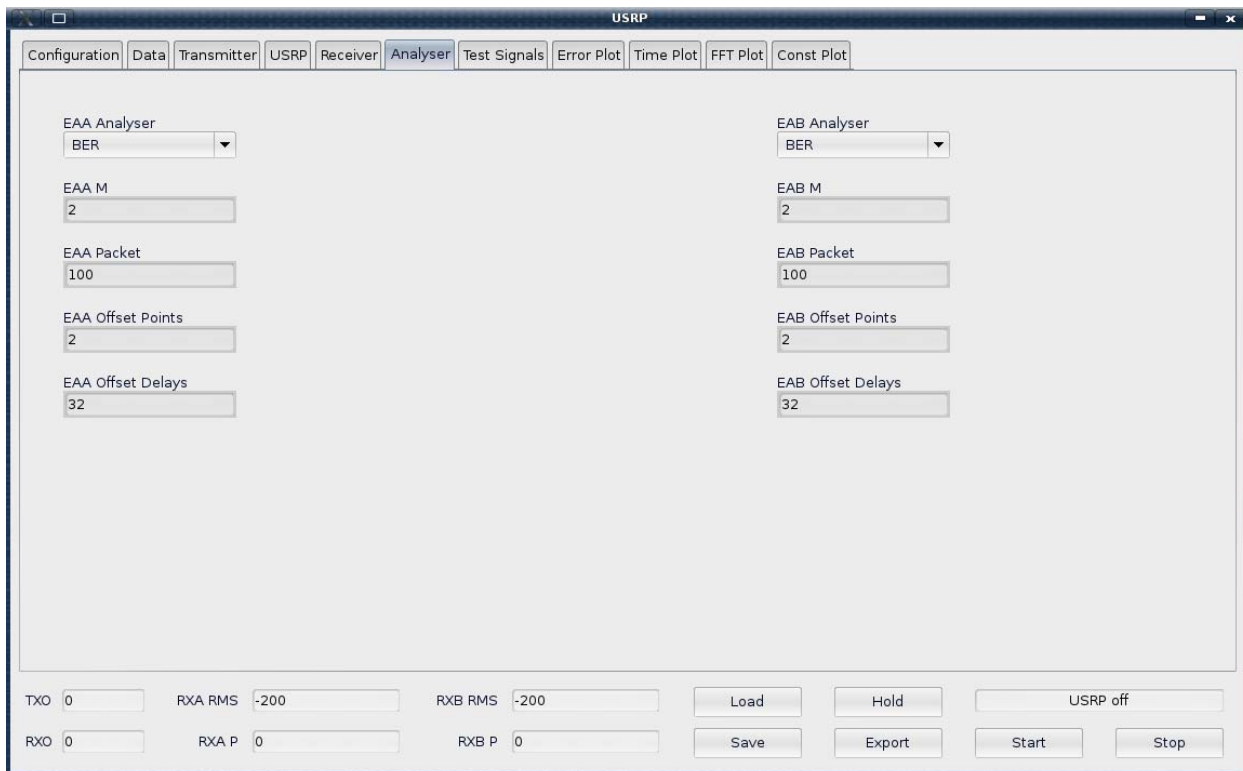
Slika 13. Grafički interfejs – USRP segment

Segment *Receiver*, u kome se podešavaju parametri prijemnika, je prikazan na slici 14. Ovde se bira vrsta prijemnika, broj modulacionih nivoa, oversampling i dodatna korekcija prijemne frekvencije. Ostali parametri su vezani za vrstu prijemnika, pa njihova uloga zavisi od konkretno izabranog prijemnika. Kod jednostavnijih prijemnika se ne koriste svi parametri. Parametri se odnose na konfiguraciju sinhronizacionog bloka, kao i na konfiguraciju filtara koji se upotrebljavaju u procesu detekcije signala.



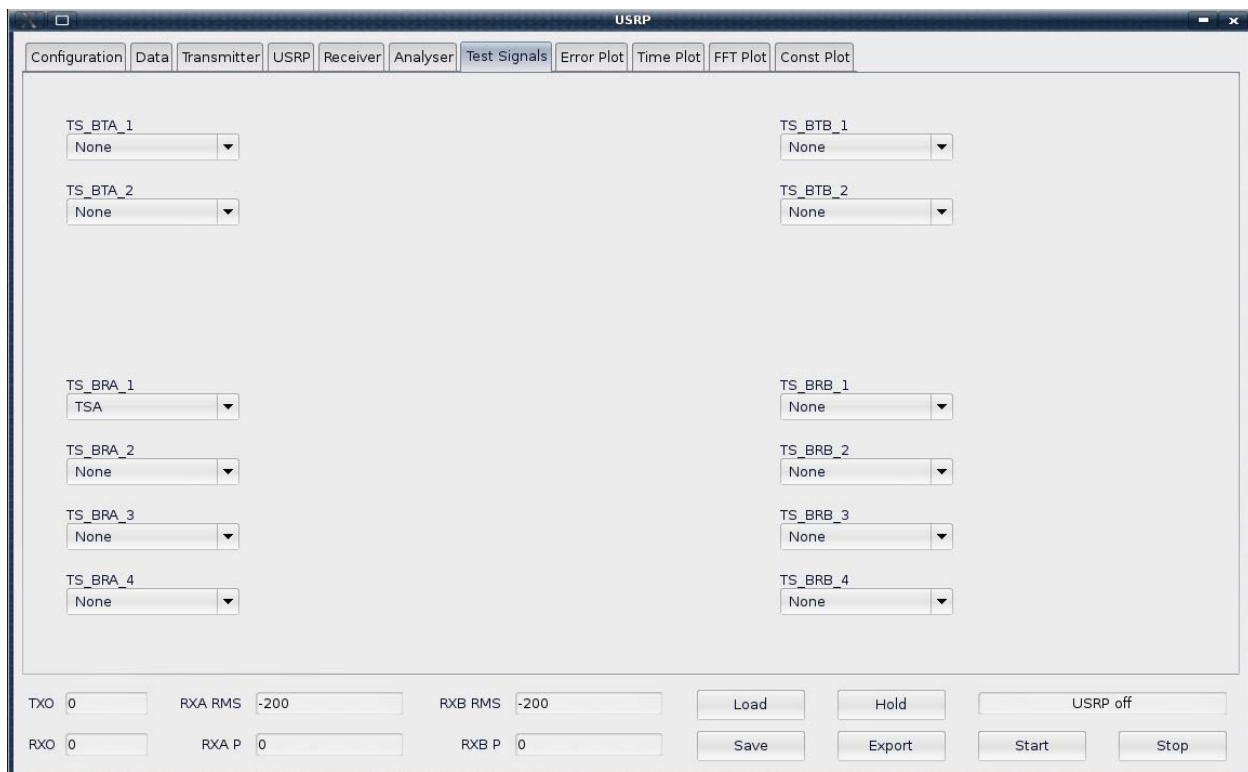
Slika 14. Grafički interfejs – Receiver segment

Na slici 15 je prikazan segment *Analyzer*. Ovdje se vrši poređenje podataka iz predajnika i detektovanih podataka iz prijemnika. Osnovni parametri su vrsta analize i broj modulacionih nivoa. Ostala tri parametra se odnose na algoritam za detekciju inverznog prijema podataka i pravilno rukovanje takvim podacima. *Packet* parametar definiše dužinu paketa posle koje se vrši provera da li je došlo do inverznog transfera ili ne. *Offset delays* definiše koliko uzastopnih kašnjenja treba paralelno analizirati, da bi se našlo odgovarajuće. *Offset points* definiše broj tačaka u inverziji koji se proveravaju. Na primer, u slučaju modulacije sa dva nivoa, broj mogućih tačaka za analizu je dva (± 1), dok su kod modulacije sa četiri nivoa moguće četiri vrednosti ± 1 i $\pm j$.



Slika 15. Grafički interfejs – Analyser segment

Na slici 16 je prikazan segment *Test Signals*. Ovaj segment služi kao pomoć za otklanjanje grešaka u softveru. Moguće je definisati promenljive u softveru, čija će se vrednost prikazivati za vreme rada. Test signali mogu da se preusmere na potreban virtuelni instrument.



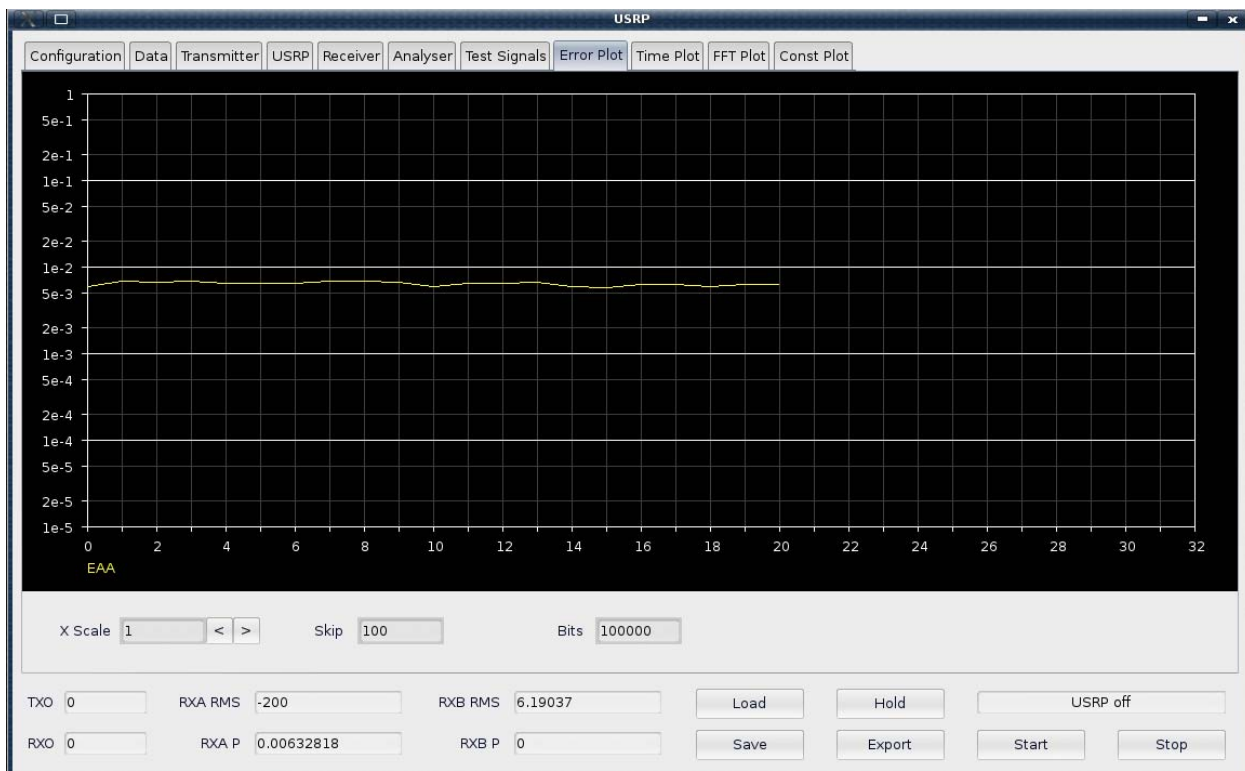
Slika 16. Grafički interfejs – Test Signals segment

2.2.4 Virtuelni instrumenti

Virtuelni instrumenti imaju funkcionalnost najpotrebnijih instrumenata u jednoj laboratoriji. Realizovani su sledeći instrumenti

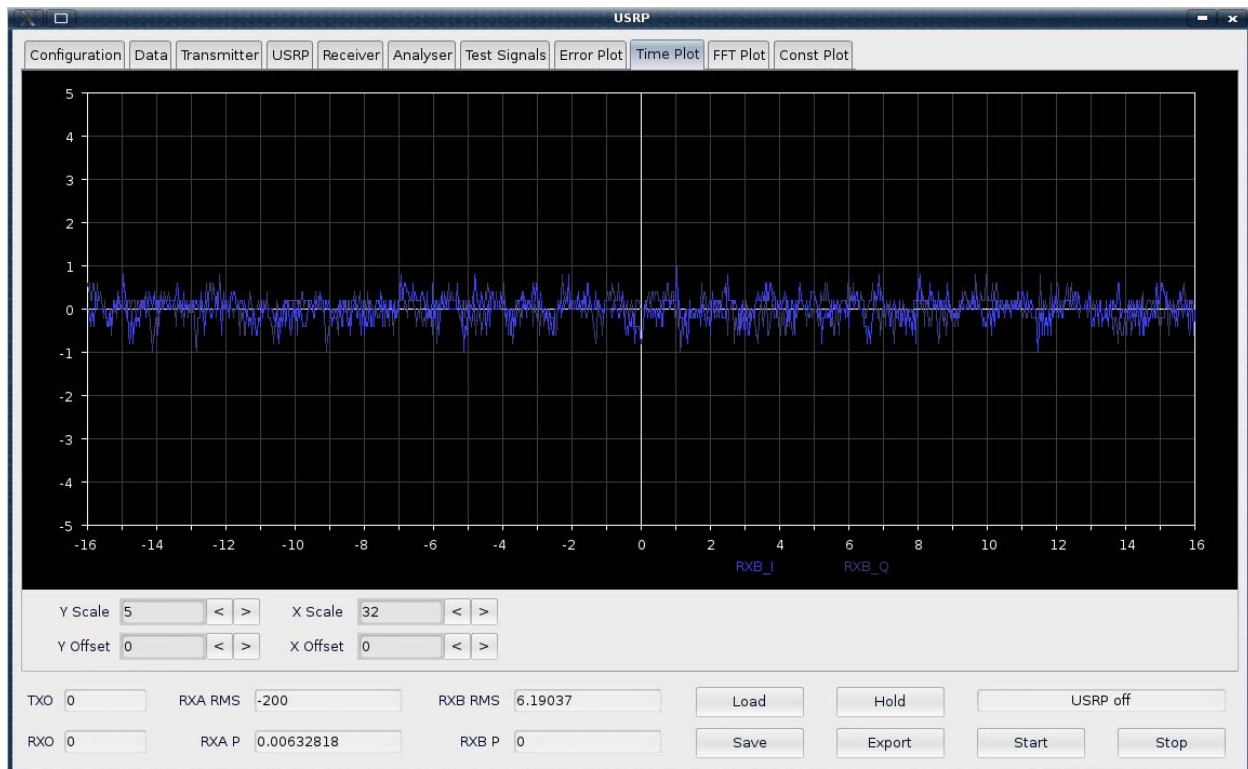
- Verovatnoća greške (Error Plot)
- Osciloskop (Time Plot)
- Spektralni analizator (FFT Plot)
- Konstelacija (Const Plot)

Slika 17 je prikazuje instrument Error Plot. Ovde je prikazana verovatnoće greške u vremenu, preuzeta iz analizatora, kod koga se verovatnoća greške dobija upoređivanjem poslatih i primljenih podataka i brojanjem grešaka.



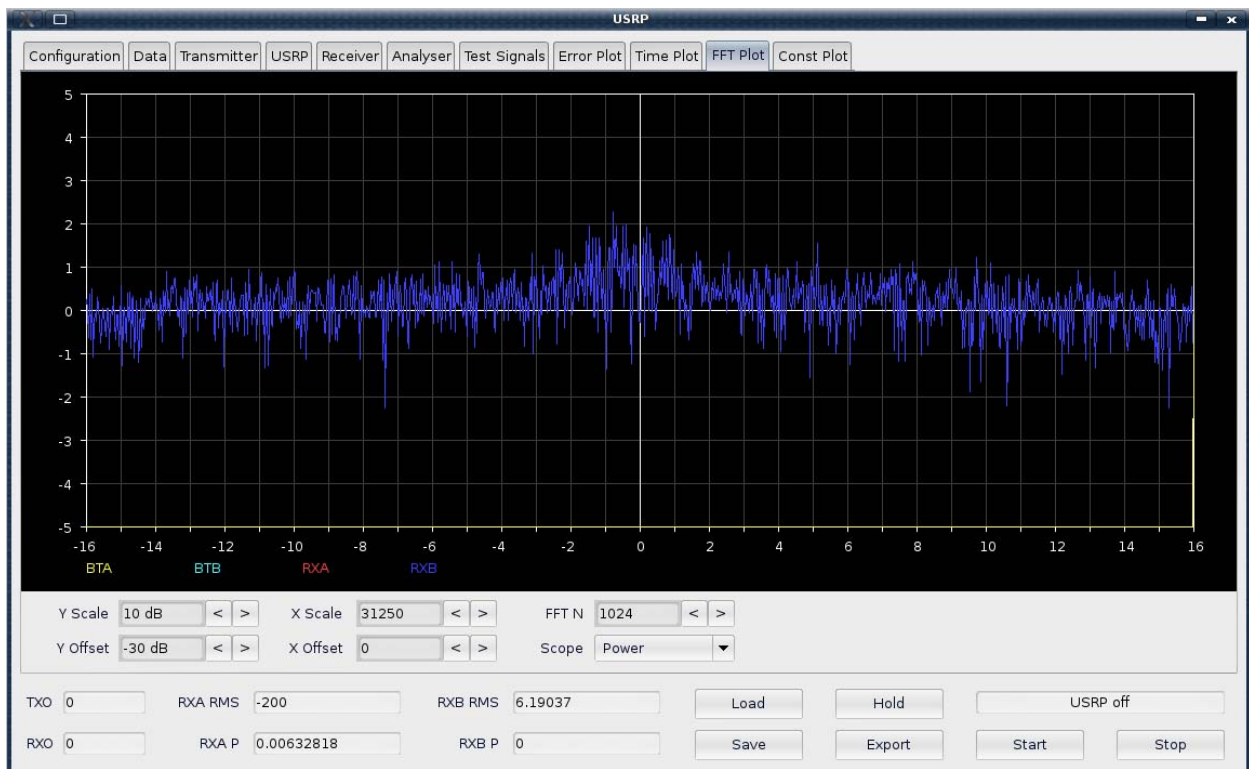
Slika 17. Virtuelni instrumenti – Error Plot

Instrument koji funkcioniše poput osciloskopa je prikazan na slici 18. Time Plot prikazuje vremensku zavisnost posmatranih signala. Može da se podešava razmera po obe ose.



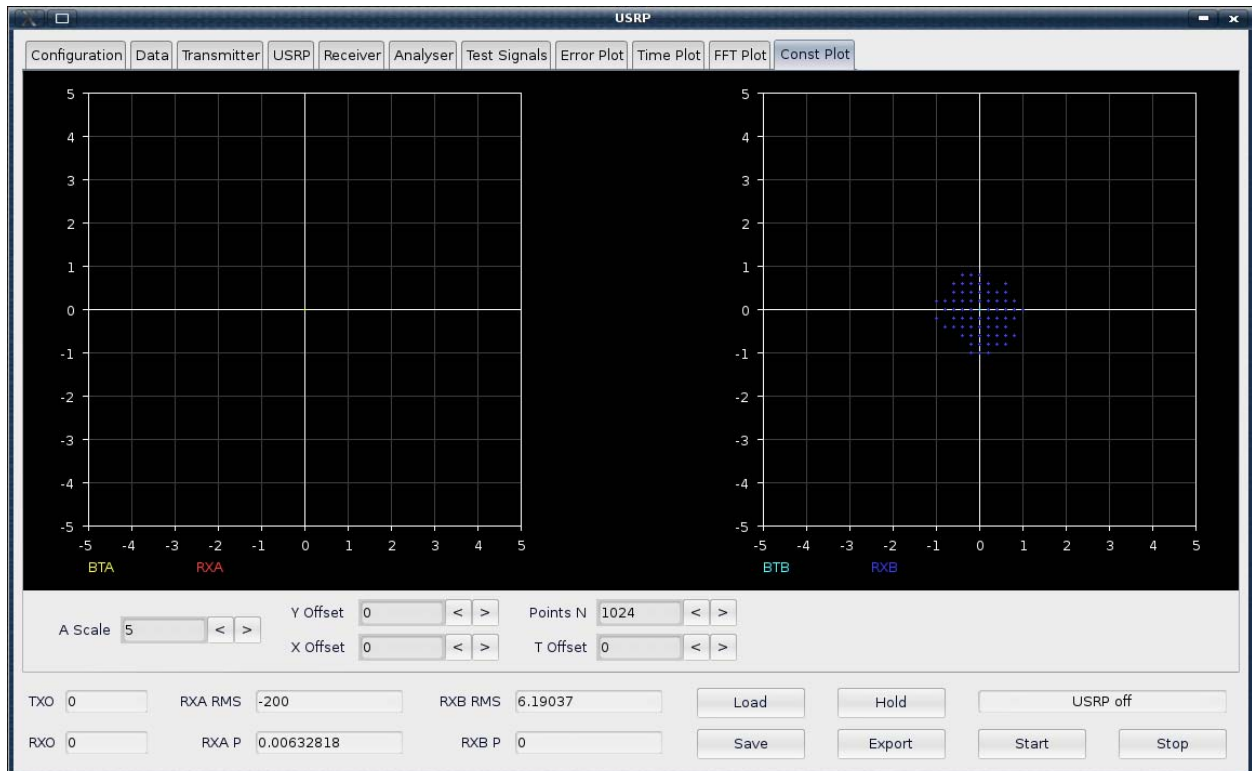
Slika 18. Virtuelni instrumenti – Time Plot

Na slici 19 je prikazan instrument FFT Plot, koji prikazuje spektar posmatranog signala. Kao i kod vremenskog prikaza, moguće je podešavati razmeru po x- i y-osi.



Slika 19. Virtuelni instrumenti – FFT Plot

Instrument Const Plot je prikazan na slici 20. Ovaj instrument prikazuje konstelacioni dijagram primljenog signala.



Slika 20. Virtuelni instrumenti – Const Plot

3 ZAKLJUČAK

U okviru ovog tehničkog rešenja razvijena je sopstvena softverska platforma koja se odlikuje posedovanjem najvažnijih funkcionalnosti GNU radija uz značajna poboljšanja. Poboljšanja se odnose na komunikaciju sa USRP-om u realnom vremenu. Takođe, napravljen je niz virtuelnih instrumenata koji zamenjuju veliki broj hardverskih ekvivalenata. Osnovne karakteristike predloženog tehničkog rešenja su:

- Omogućen je *soft real time* režim rada u **LINUX**-u na procesorima sa više jezgara uz korišćenje procesiranja sa više niti
- Obezbeđen je jednovremeni rad grafičkog korisničkog interfejsa i procesiranje komunikacionog signala
- Pruža se mogućnost korišćenja velikog broja virtuelnih instrumenata

Realizovano tehničko rešenje se može primeniti kako u istraživanju i razvoju komunikacionih algoritama i sistema tako i u edukativne svrhe izradom laboratorijskih vežbi.

4 LITERATURA

- [1] Matt Ettus, “Ettus Research LLC”, <http://www.ettus.com>
- [2] <http://gnuradio.org>
- [3] Matt Ettus, USRP User’s and Developer’s Guide, Ettus Research LLC, Online
- [4] <http://www.libusb.org>