
ANTENSKI NIZOVI U TELEKOMUNIKACIONIM SISTEMIMA

(13M031ANT)

Uvodno predavanje - Sadržaj, nastava i principi ocenjivanja

**Elektrotehnički fakultet – Univerzitet u Beogradu
Odsek za telekomunikacije i informacione tehnologije
Katedra za telekomunikacije
prof. Goran Marković**

2024/2025



Antenski nizovi u TK sistemima - Nastavnici

dr Goran Marković, van. profesor – Predavanja i rač. vežbe

- gmarkovic@etf.rs, tel. +381 11 3218 305
- Kabinet 109, Lab 54
- Konsultacije posle časova predavanja
 - **po dogovoru sa studentima (biće definisano naknadno)**

Lazar Mitrović, master. inž. el. – tehnička pomoć

- lazar@etf.rs, tel. +381 11 3218 303
- Kabinet 109, Lab 54

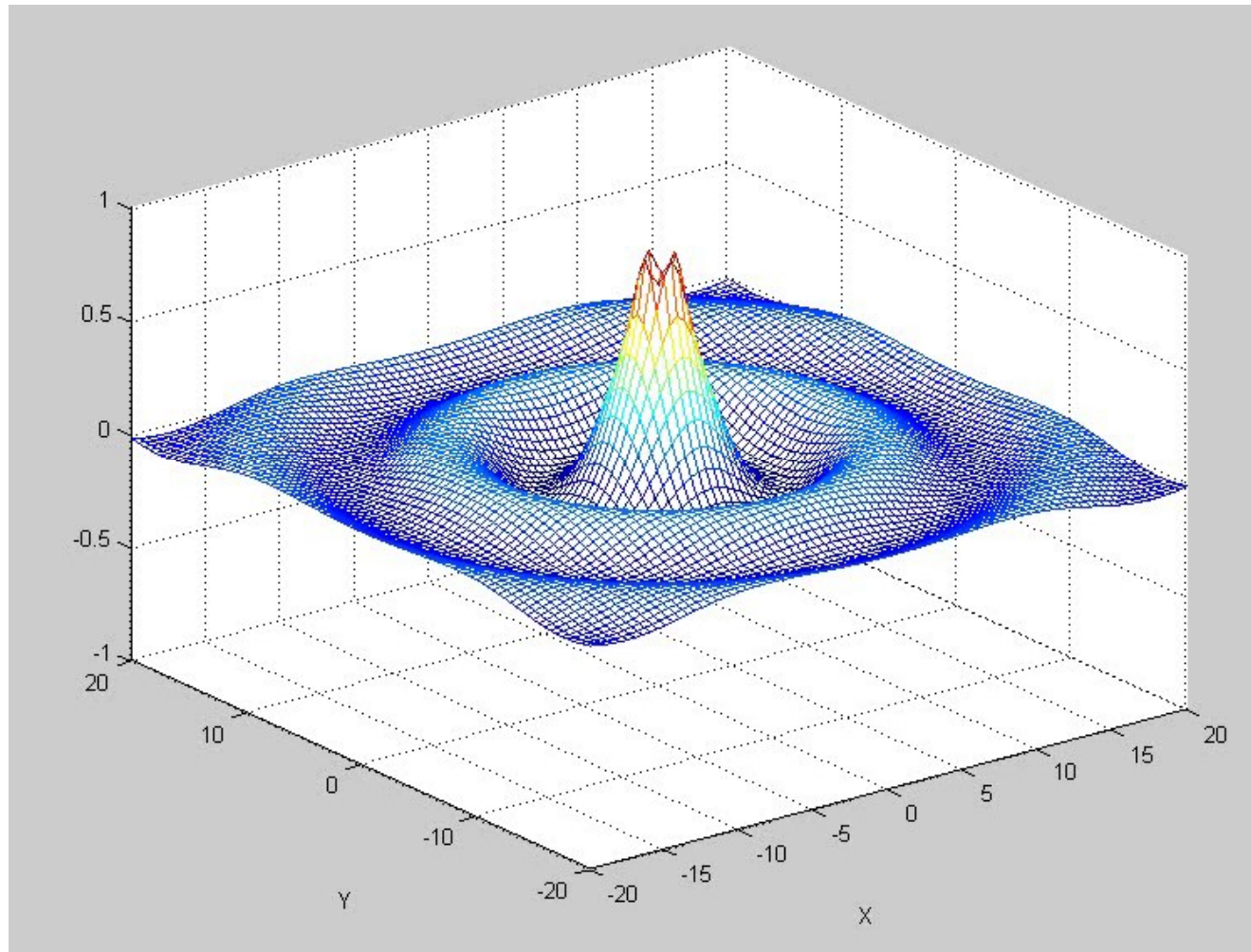
Informacije, materijali i rezultati:

- Mailing lista – <https://lists.etf.bg.ac.rs/www/>
- Sajt Katedre – <http://telit.etf.rs/kurs/antenski-nizovi-u-telekomunikacionom-sistemima/>
- MS Teams tim - **link za prijavu će biti dostavljen na sajtu Katedre (obaveštenje)**

Antenski nizovi u TK sistemima - Svrha kursa

- ❖ Svrha kursa je upoznavanje sa osnovnim principima obrade signala na antenskim nizovima (*Array Processing*) - Napredni antenski sistemi: Smart antenna i MIMO sistemi, kao i primena u oblasti TK sistema (bežične komunikacije).
- ❖ Obim nastave: 11/12×3 časa predavanja + 5/6×2 časa praktičnih vežbi u laboratoriji (generisanje MatLab koda kojim se implementiraju teorijske postavke sa predavanja) . Studenti osim teorijskih znanja mogu da ovladaju praktičnim znanjima u realizaciji DOS za posmatrane sisteme i steknu praktične sposobnosti i *soft-skills* u predmetnoj oblasti.
- ❖ **Samostalno rešavanja problema uz stalnu podršku nastavnika - osim zajedničke praktične nastave radi se završni projekat (pogodan za proširenje u master rad) !**

Antenski nizovi u TK sistemima - Ciljevi



Antenski nizovi u TK sistemima - Ciljevi

- ❖ Izučavanje teorijskih koncepata i principa, upoznavanje sa terminologom i praktičnim primenama *array procesinga* i antenskih nizova sa težištem na sticanju praktičnih znanja u ovoj oblasti a posebno na koji način:
 - formirati vektor odziva antenskog niza (*steering vector*) za zadatu geometriju antenskog niza
 - proračnati faktor antenskog niza i *array patern*
 - usmeriti maksimum dijagrama (*beam-a*) u zadatom smeru
 - formirati nulu dijagrama usmerenosti u zadatom smeru (*null-steering*)
 - izvršiti sintezu dijagrama usmerenosti antenskog niza po zadatom kriterijumu
 - formirati *multi-beam* (antenski niz sa vise usmerenih *beam-ova*)
 - generisati uskopojasne i širokopojasne komunikacione signale na antenskom nizu zadate geometrije, uključujući i uslove višestrukog prostiranja

Antenski nizovi u TK sistemima - Ciljevi

- ...
- realizovati prostorno filtriranje signala od interesa
- proceniti smer dolaska signala (*Direction Of Arrival*)
- formirati adaptivni antenski niz i posmatrati primenu u orbadi signala
- implementirati osnovne digitalnih *beamforming* tehnika za potrebe realizacije *Multi-User-MIMO* sistema (*downlink* - prekodiranje)
- ❖ Izučavanje osnovnih teorijskih koncepata i principa *space-time* komunikacija i MIMO sistema
- ❖ Izučavanje osnovnih principa primene antenskih nizova u ćelijskim bežičnim sistemima - *Smart antenna* i MIMO sistemi u bežičnim ćelijskim mrežama (posebno MIMO-OFDM, MIMO-*Multi-Carrier* sistemi, tj. 4G/5G/6G)

Antenski nizovi u TK sistemima - Sadržaj

- L-1. Uvod u teoriju antenskih nizova
- L-2. Matematički modeli signala na antenskom nizu,
- L-3. Algoritmi za prostorno filtriranje (*beamforming*)
- L-4. Algoritmi za procenu smera dolaska signala (*Direction of Arrival - DoA, DoA estimation*),
- L-5. Adaptivni antenski nizovi
- L-6. Primena antenskih nizova u ćelijskim bežičnim sistemima - MIMO/MU-MIMO/massive MIMO sistemi (*Smart antenna, Space-Time processing/coding, digital beamforming za prostorno multipleksiranje i SDMA*)

Antenski nizovi u TK sistemima - Nastava

- ❖ Predmet na I godini master studija (prvi semestar)!
- ❖ Predmet spada u grupu izbornih predmeta!
- ❖ Organizacija predmeta:
 - Predavanja – 3 čas nedeljno (**Lab54, termin po dogovoru**)
 - praktične (računske) vežbe – 1 čas nedeljno (svake druge nedelje po 2 časa). Praktična nastava u **Lab54 - termini po dogovoru**
 - Završni projekti (samostalno ili u paru), rešavanje problema - mogući master radovi

Antenski nizovi u TK sistemima - Ispit

Principi ocenjivanja

❖ Predispitne obaveze:

- **Domaći zadaci (DZ): 2 × 20 poena.** Domaći zadaci studenti samostalno izrađuju u okviru praktičnih vežbi u Lab 54 (pomoć nastavnika, saradnja sa kolegama) i na kraju dokumentuju u pisanoj formi i brane pred ostalim studentima i nastavnikom
- **Seminarski rad / Završni projekat (ZP): 1 × 40 poena.** Studenti samostalno ili u paru rade projekat na izabranu temu.

❖ Usmeni ispit (UI) - 20 poena. Izveštaj i usmena odbrana projekta pred nastavnikom

❖ Ukupna ocena (UO) – $UO = DZ + ZP + UI$, **$UO \geq 51$ poen**

Antenski nizovi u TK sistemima - Literatura

- ❖ **Miljko Erić, Nenad Vukmirović : Uvod u obradu signala sa netenskih nizova, Akademska misao, Beograd, 2019**
- ❖ **Hary L. Van Trees: “Optimum Array Processing, part IV of Detection, Estimation and Modulation Theory”, Wiley-Interscience 2002.**
- ❖ **Lal Chand Godara: “ Smart Antennas”, CRC press, 2004.**
- ❖ **D.E.Dudgeon, R.M.Merserau: “*Multidimensional Digital Signal Processing*”, Prentice-Hall,Inc. Engewood Clifs, New Jersey, 1984.**

Antenski nizovi u TK sistemima - Rezultati

- ❖ Predmeti na PhD studijama na smeru Telekomunikacije:
 - Distribuirani TK sistemi i Prostorno vremenska obrada signala
- ❖ Više od 20 master radova
- ❖ Primena stečenih znanja iz *array processing*-a u rešavanju naučno-relevantnih tehničkih problema iz oblasti telekomunikacija, akustike i drugih oblasti primene
- ❖ Publikovano više radova studenata na međunarodnim konferencijama, kao i u časopisima (doktoranti prof. Erića)

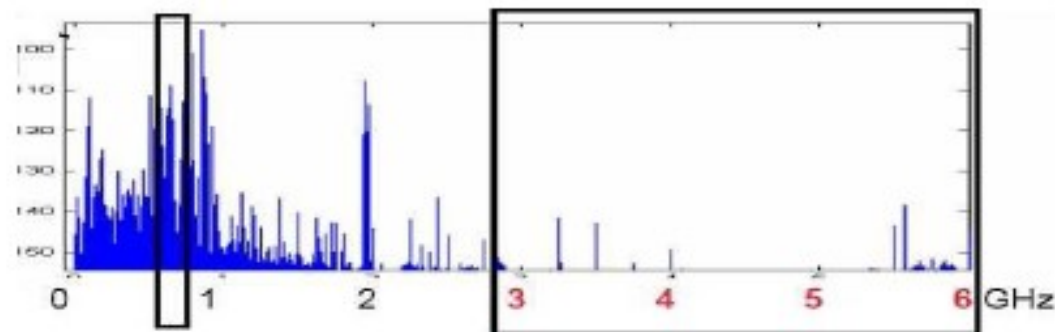
Antenski nizovi u TK sistemima - M. Erić

Širokopojasni *spectrum-sensing*

Spectrum sensing – tehnika za identifikaciju prisustva primarnog korisnika i procenu parametara signala koji on emituje.

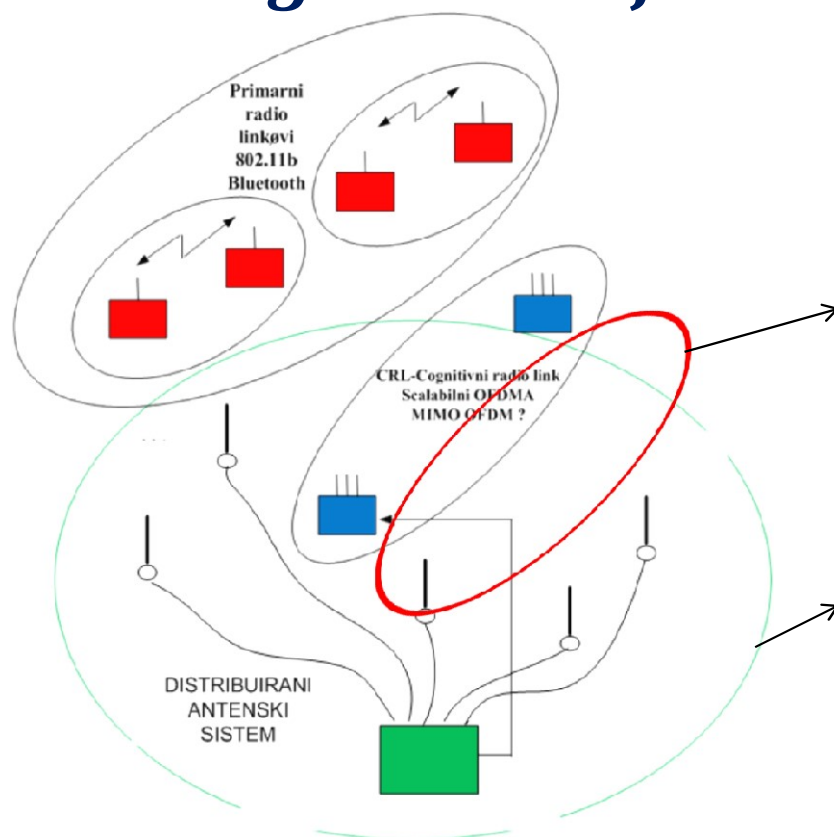
Spektralne šupljine su prisutne u ***vremenskom, spektralnom*** ili ***prostornom*** domenu, a nakon što se detektuju, predajnik i prijemnik mogu prilagoditi svoje parametre u cilju ostvarivanja komunikacije uz minimalan nivo interferencije.

Pošto se lokacije spektralnih šupljina menjaju dinamički, potrebno je da se radi ***širokopojasni spectrum sensing*** koji se obavlja u realnom vremenu.



Antenski nizovi u TK sistemima - M. Erić

Združeni prostorno-vremenski *spectrum sensing* korišćenjem zasebne senzorske mreže*



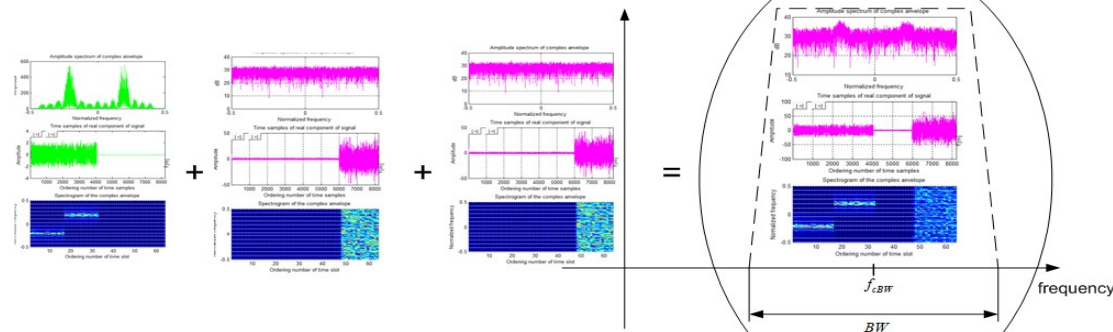
Kognitivni link je uskopojasan, adaptira parametre na osnovu informacija dobijenih od senzorske mreže!

Senzorska mreža obavlja širokopolasni spectrum-sensing i obezbeđuje informacije kognitivnom linku!

Antenski nizovi u TK sistemima - M. Erić

Spectrum sensing višekorisničkog scenarija*

SPECTRUM SENSING AS INVERSION PROBLEM



GENERAL FORMULATION OF SPECTRUM SENSING PROBLEM:

ESTIMATE NOT USED REGION IN SPECTRAL BANDWIDTH (REGIONS WITHOUT SPECTRAL WHOLE IN GIVEN TIME OBSERVATION INTERVAL)

MORE GENERAL FORMULATION OF SPECTRUM SENSING PROBLEM:

ESTIMATE:

- Number of active signals (PU emitters)
- Spectral bandwidths of active signals (problem of Information channel identification)
- Modulation parameters of active signals
- Signal activity in time frequency and space domain

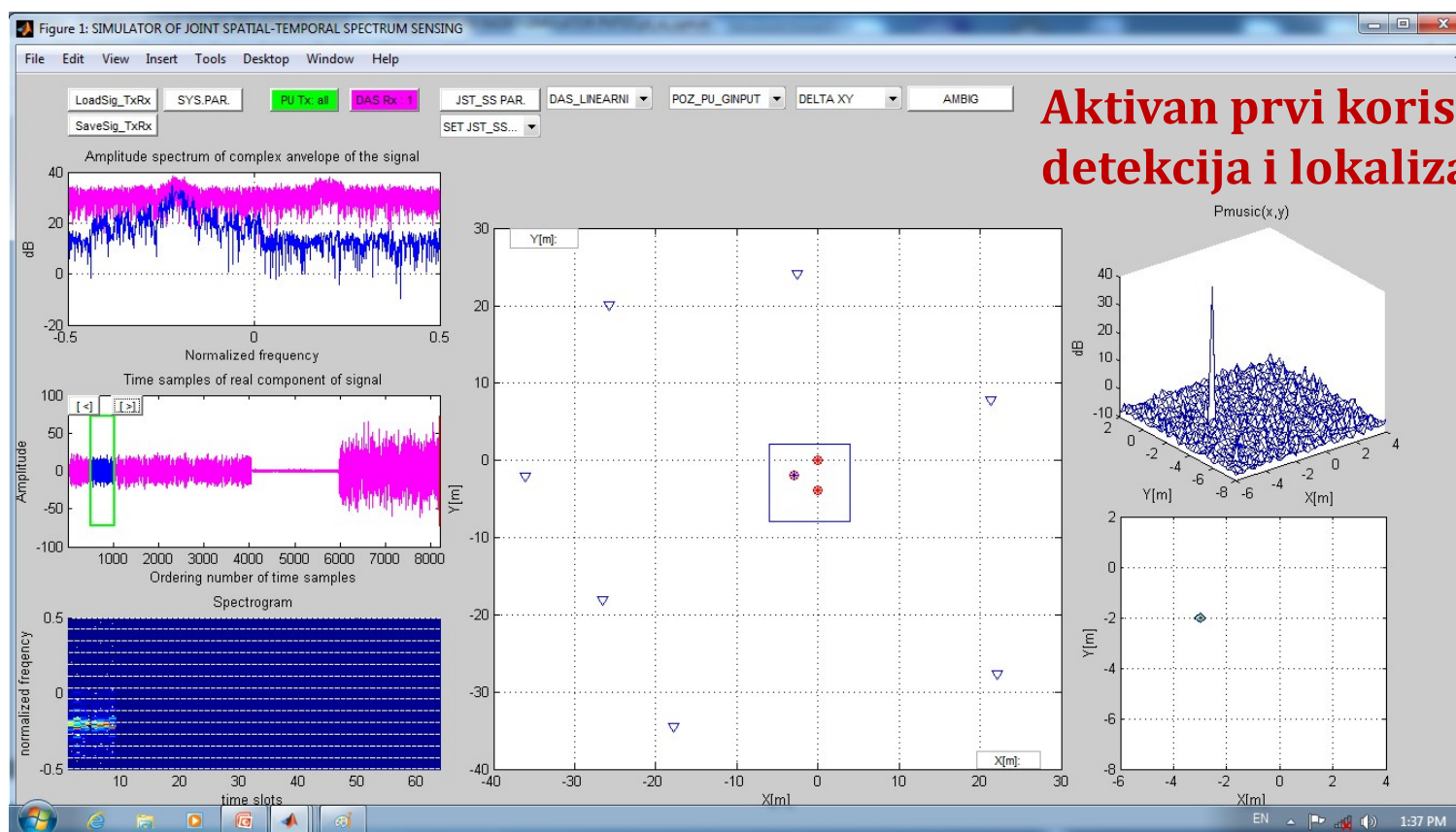
AVAILABLE

THIS PROBLEM IN SPECTRUM SENSING OF PU NONCOOPERATIVE SIGNAL SCENARIO CAN NOT BE SOLVED IN TIME-FREQUENCY DOMAIN

THAT IS WHY SPATIO-TEMPORAL SPECTRUM SENSING

Antenski nizovi u TK sistemima - M. Erić

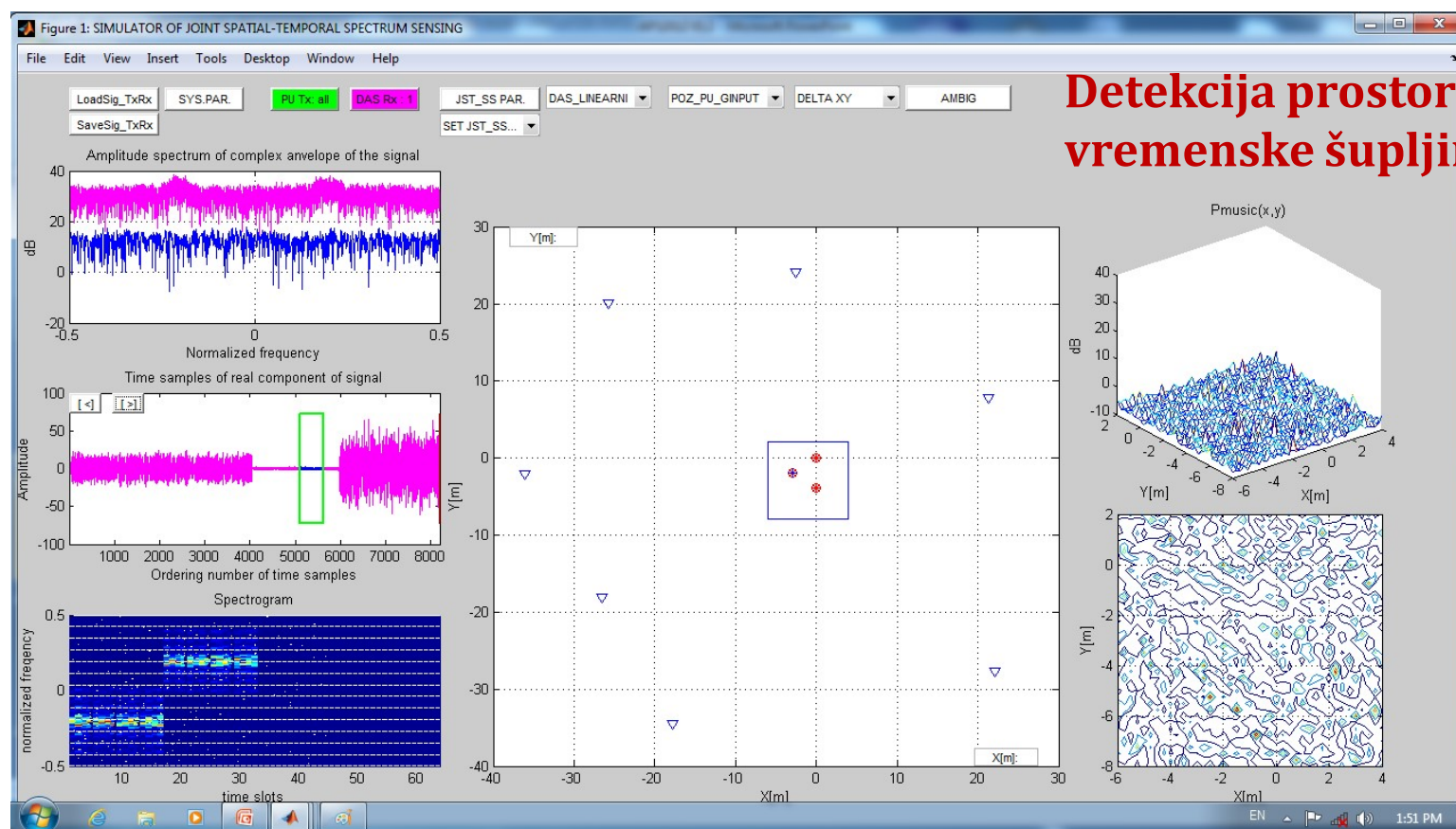
Spectrum sensing višekorisničkog scenarija*



**Aktivan prvi korisnik –
detekcija i lokalizacija**

Antenski nizovi u TK sistemima - M. Erić

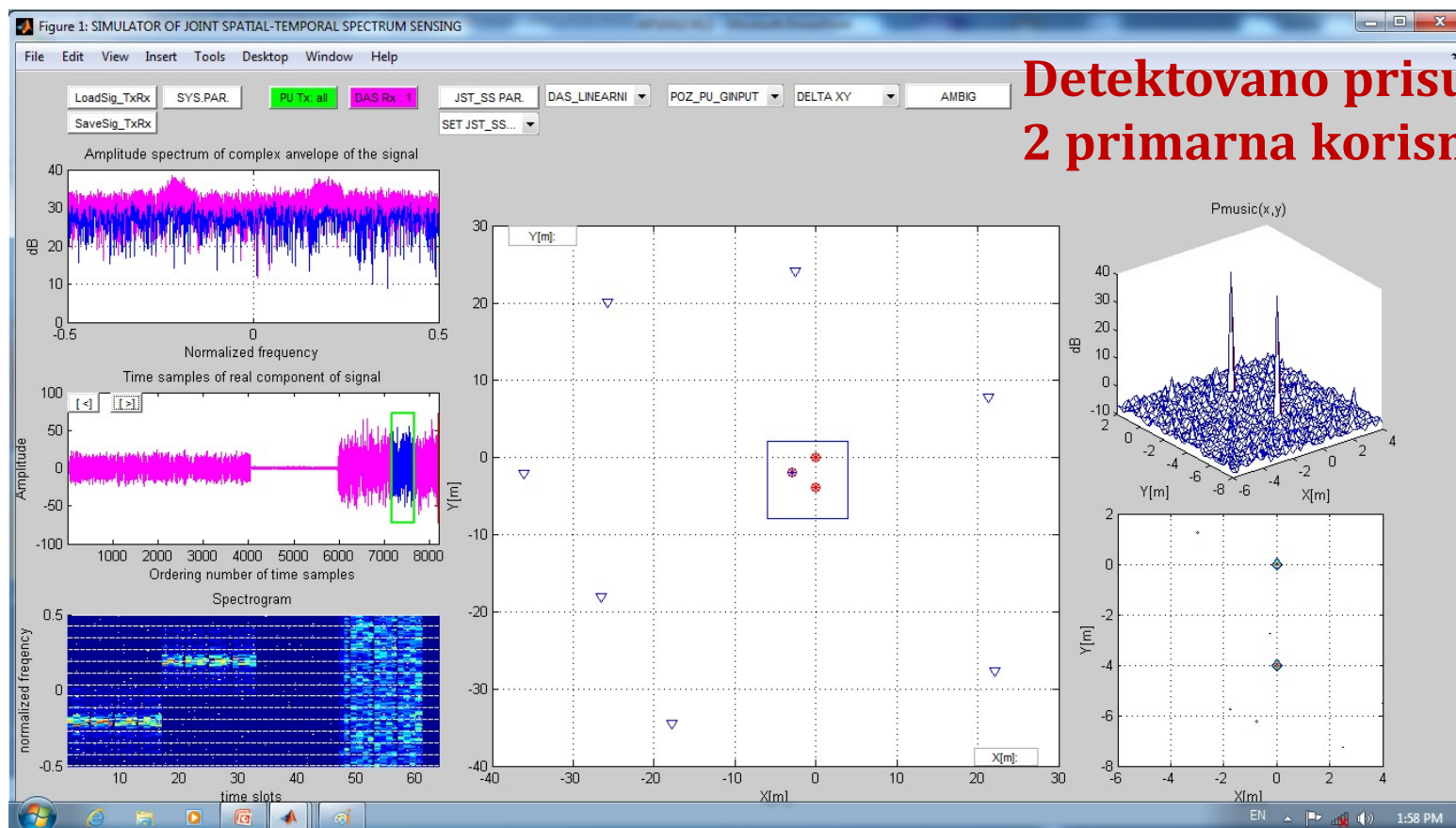
Spectrum sensing višekorisničkog scenarija*



Detekcija prostorno-vremenske šupljine!

Antenski nizovi u TK sistemima - M. Erić

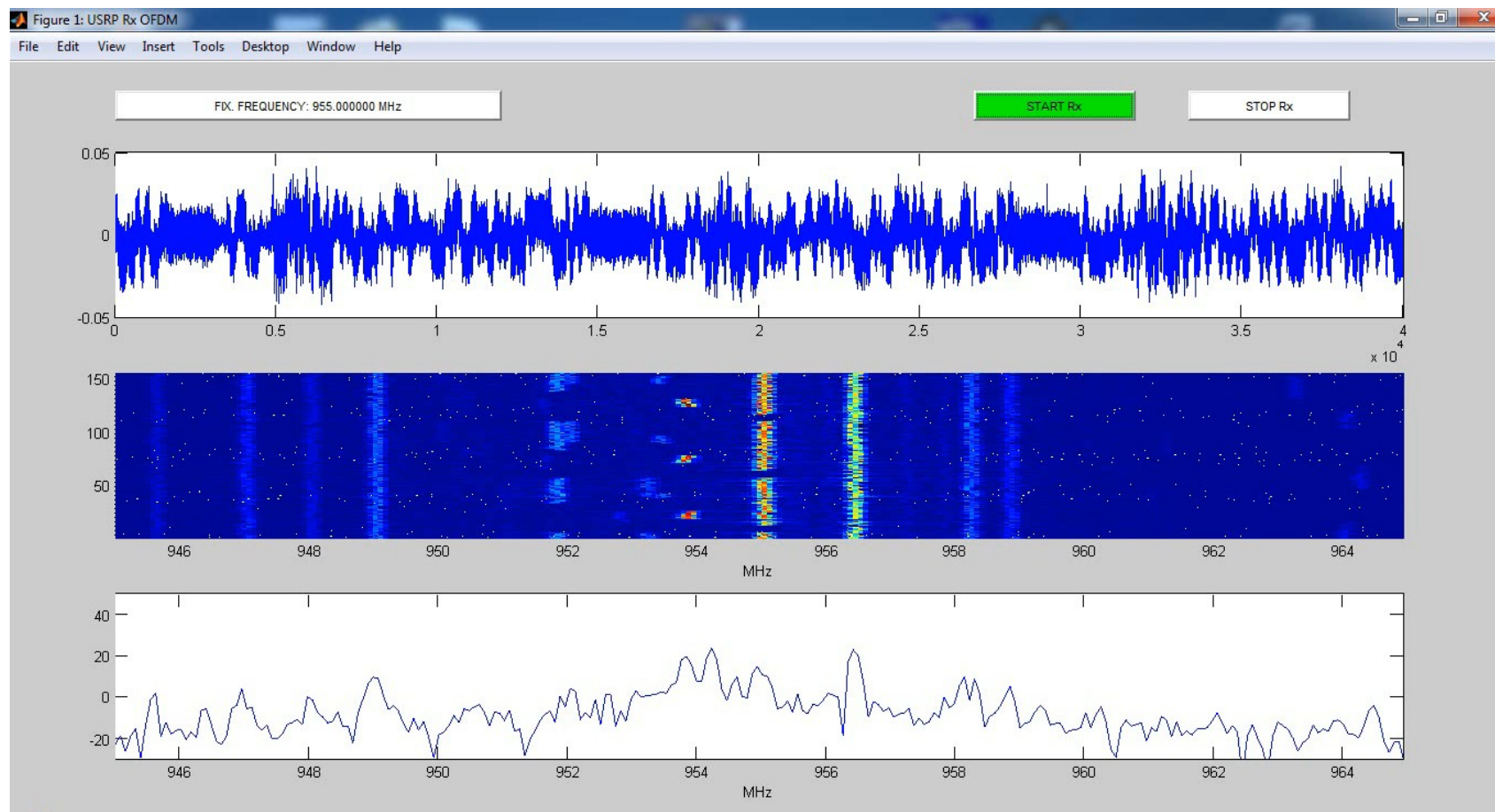
Spectrum sensing višekorisničkog scenarija*



**Detektovano prisustvo
2 primarna korisnika!**

Antenski nizovi u TK sistemima - M. Erić

Spectrum monitoring - USRP N210 platforma



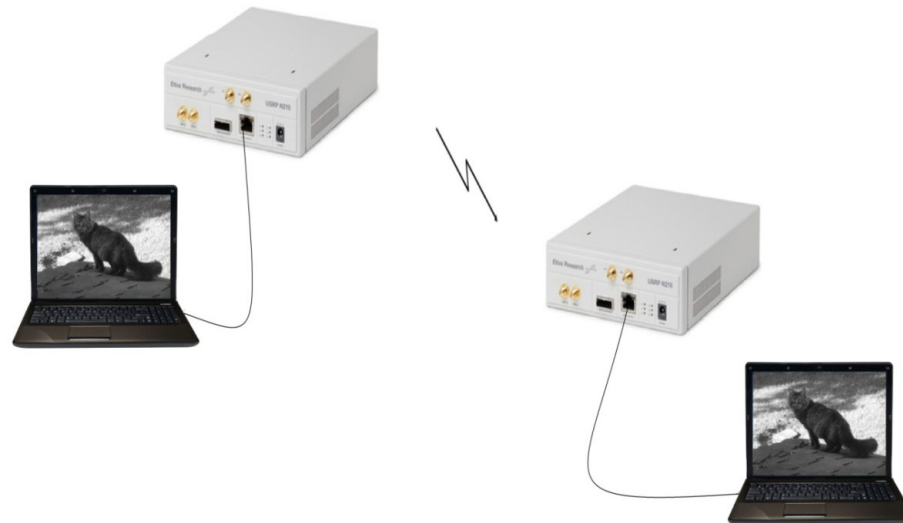
Antenski nizovi u TK sistemima - M. Erić

*Kognitivni (sekundarni) link**

USRP NI 2920 – radna učestanost u opsegu 50MHz-2.2GHz,
skalabilna širina radnog opsega.

Kognitivni link adaptira učestanost nosioca u zavisnosti od
procene o zauzeću kanala koju dobije od senzorske mreže.

Strategija u slučaju kolizije sa primarnim korisnikom?



Antenski nizovi u TK sistemima - M. Erić

*Kognitivni (sekundarni) link**

Prenos slike na sekundarnom kognitivnom linku korišćenjem USRP N210:

- Kada se detektuje prisustvo primarnog korisnika: promeni se kanal u kom se vrši prenos i ponovi se slanje prethodnog okvira.

- Na taj način obezbeđuje se prenos slike bez grešaka!

