

Preklasifikacija signala na širokopojasnom radio-goniometru

Boban M. Sazdić-Jotić, Darko I. Krstić

Sadržaj — Potreba za efikasnijim korišćenjem dodeljenih resursa postaje dominantna problematika modernih telekomunikacionih sistema. Problemi detekcije signala i određivanja da li je neki deo spektra zauzet ili slobodan (spectrum sensing) mogu se u pojedinim slučajevima pokazati kao vrlo zahtevni. Ovde smo prikazali jedno od mogućih rešenja segmentacije spektra i detekcije signala na fiksnoj frekvenciji (fixed frequency signals, FF signals) koristeći programski paket Matlab i podatke sa radio-goniometra. Ovo rešenje predstavlja početak razvoja preklasifikatora signala u jednom sistemu za monitoring.

Glavne reči — detekcija signala, preklasifikacija signala, broj emisija u spektru.

I. UVOD

SVRHA ovog rada je da se skrene pažnja na problematiku vezanu za širokopojasnu analizu spektra i procenu zauzetosti kanala u određenom podopsegu u radio-goniometarskom sistemu.

Današnji moderni komunikacioni sistem traži način da obezbedi servis što većem broju korisnika, čak i onim najzahtevnijim, a što podrazumeva bolje korišćenje licenciranog dela spektra koji je dodeljen na upotrebu. Primer takvog sistema je kognitivni radio. Kognitivni radio je inteligentni bežični komunikacioni sistem koji je svestan svog radio okruženja i koristi određenu metodologiju kako bi naučio i prilagodio svoje parametre statističkim varijablama radio-talasa u realnom vremenu sa dva važna cilja: visoka pouzdanost komunikacije u bilo kom trenutku i efikasno iskorišćenje spektra [1], [2].

Primarna funkcija kognitivnog radija jeste osluškivanje spektra i analiza zauzetosti određenog kanala koja se zasniva na nizu algoritama za automatsku detekciju.

Konkretni problem koji smo imali da rešimo se može poistovetiti početnom funkcijom kognitivnog radija, a to je posmatranje spektra (spectrum sensing). Problem se može definisati kao preklasifikacija signala iz podataka dobijenih sa širokopojasnog radio-goniometra, tj. izdvajanje aktivnih uskopojasnih kanala iz spektra bez prethodnog poznavanja njihovih centralnih frekvencija,

širine propusnih opsega, kao ni broja aktivnih emisija u spektru. Korišćeni radio-goniometarski sistem je konfigurisan tako da je prag prijema ispod šuma. Zato smo za odluku o tome da li ima signala ili nema, koristili ugrađeni algoritam o kvalitetu signal koji se goniometriše.

Drugo poglavlje razmatra, uopšteno, probleme detekcije signala u spektru naročito kada nisu unapred poznati parametri kao što su: broj kanala, njihove širine, centralne frekvencije, tip korišćene modulacije i drugi parametri.

Treće poglavlje opisuje načine izdvajanja informacionih kanala za signale na fiksni frekvencijama (FF signali). Ovde samo se nakratko osvrnuti i na problem razdvajanja FF signala od signala sa malom verovatnoćom detekcije (Low Probability of Intercept, LPI signala). Važno je naglasiti da su u ovom poglavlju pomenuta neka od ograničenja korišćenog radio-goniometra, ali da je kôd tako urađen da ne podleže ovim ograničenjima već uspešno rešava naš centralni problem preklasifikacije signala.

Četvrto poglavlje predstavlja opis koda do kog smo došli, za automatsku procenu širine kanala i zauzetosti spektra, gde algoritam sam vrši procenu broja emisija u spektru, kao i početne i krajnje frekvencije kanala, tj. zauzetosti dela spektra na HF opsegu.

U petom poglavlju date su ilustracije svih bitnih dobijenih rezultata.

II. PROBLEMI DETEKCIJE

Opšti pojmovi koji se koriste kada se pominje detekcija signala su teorija odlučivanja (decision theory), testiranje hipoteze (hypothesis testing) i teorija detekcije (detection theory) [3].

U najjednostavnijim slučajevima problem detekcije se sastoji u odabiru jedne od dve moguće odluke (hipoteze) na temelju raspoloživih podataka. Problem odlučivanja u kome su poznate sve moguće odluke naziva se problem detekcije. Teorija detekcije se bavi metodama za donošenje odluka u problemu detekcije. U tematici koja je vezana za obradu signala pod problemom detekcije se smatra donošenje odluke o prisustvu ili odsustvu signala u prisustvu šuma u realnoj situaciji.

Kriterijum za donošenje odluke zavisi od vrednosti verovatnoća donošenja pogrešnih ili ispravnih odluka. Zbog toga se najjednostavniji problem detekcije svodi na merenje jednog parametra na osnovu koga se donosi odluka. Problem detekcije najlakše se posmatra kroz testiranje hipoteze, gde za primljeni signal imamo dve moguća slučaja (hipoteze):

Boban M. Sazdić-Jotić, Računarski fakultet, Beograd (e-mail: bsazdic09@raf.edu.rs)

Darko I. Krstić, VP 6834, Batajnica, Srbija (e-mail: darko.krstic.1983@gmail.com).

$$r(n) = s(n) + w(n) \quad (1)$$

ili

$$r(n) = 0 + w(n) \quad (2)$$

gde $s(n)$ predstavlja korisni signal koji treba detektovati, a $w(n)$ predstavlja aditivni šum. Problem detekcije se svodi na odlučivanje da li je $s(n)$ prisutan ili nije [4], [5].

III. PRETKLASIFIKACIJA SIGNALA NA FIKSNOJ FREKVENCIJI (FF SIGNALI)

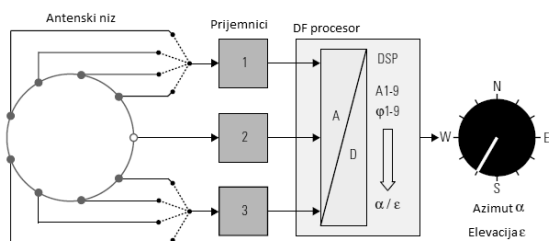
Problem identifikacije informacionih kanala javlja se u realnoj situaciji kada se u zadatom frekvencijskom podopsegu $\Delta\omega_{BW}$ i opservacionom intervalu ΔT , superponira više različitih signala nepoznatih centralnih frekvencija i različitih spektralnih širina, a naročito je izražen kod superponiranja uskopojsnih i širokopojasnih signala na istom podopsegu.

U uslovima kada ne postoje informacije o broju i parametrima superponiranih signala, automatska identifikacija informacionih kanala predstavlja veoma složen tehnički problem koji je nerešiv na bazi analize radio signala u vremensko-frekvencijskom domenu kada se signal prima jednom antenom (pogotovo kada imamo vremensko i spektralno preklapanje signala).

Kako bi smo predupredili ove probleme u radu su korišćeni ulazni parametri dobijeni sa uređaja koji koristi antenski niz i omogućava merenje parametara potrebnih za prostorno-frekvencijsku analizu.

Klasični komunikacioni prijemnici sa uskim prijemnim kanalima, vrše pretklasifikaciju signala samo u datom kanalu, na osnovu predefinisanih širina filtara, i na njima je moguće vršiti ručno podešavanje širine jednog kanala.

Moderni sistemi koriste širokopojasne prijemnike sa bankama predefinisanih filtara. Na njima se ne može izvršiti automatska pretklasifikacija signala, tj ne može se reći da li se radi o signalu na fiksnoj frekvenciji, kratkotrajnom podizanju nivoa šuma ili o pojavi nekog od LPI signala, već je potrebno kasnijom obradom ručno izvršiti podešavanja centralnih frekvencija i širine kanala. Drugi problem prijemnika je što se ne može izvršiti razdvajanje između različitih učesnika u komunikaciji koji koriste istu frekvenciju u različitim vremenskim trenucima.



Sl. 1. Šema korišćenog radio-goniometarskog sistema.

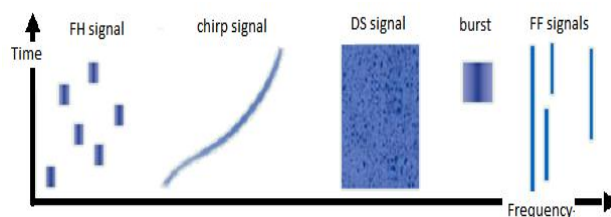
Zbog toga je povoljnije koristiti prijemnike sa mogućnošću određivanja smera dolaska radio signala (Angle of Arrivel, AoA), azimuta i/ili elevacije, takozvane radio-goniometre sa širokopojasnim prijemnicima. Specifičnost radio-goniometara je u tome što koriste više kanala za procenu azimuta (i elevacije), pa samim tim

moraju koristiti antenske sisteme sa više antenskih elemenata. Sama širokopojasna detekcija i proračun azimuta zasnovan je na nizu algoritama koji nam kazuju da li ima signala ili ne, ali ne i kakav je to signal [6].

A. Problem razdvajanja FF od LPI signala

Savremeniji radio-goniometri pored klasičnog prikaza spektra i azimuta imaju mogućnost „waterfall“ prikaza (u frekvencijsko-vremenskoj ravni) koji se koristi za vizuelno prepoznavanje signala sa fiksnom frekvencijom prenosa, koji se prikazuju kao kontinualne linije u „waterfall“ prikazu, i LPI signala koji se prikazuju drugačije.

Vrste LPI signala koji se javljaju u spektru su burst, chirp, signali sa direktnom sekvencom (DS signali) i signali sa frekvencijskim skakanjem (FH signali).



Sl. 2. „Waterfall“ (vizuelni) prikaz signala koji se javljaju u spektru

Kratkotrajne signale (burst) karakteriše vrlo kratko prisustvo emisije. U „waterfall“ prikazu ovakvi signali se vide kao veliki paketi koji se javljaju na istoj frekvenciji.

Chirp signali se prepoznaju po tome što linearano menjaju frekvenciju u određenom frekvencijskom opsegu. Njihovo zadržavanje na određenoj frekvenciji je vrlo kratko, a najčešće se koriste za određena ispitivanja (npr. visine atmosferskih slojeva jonosfere). U „waterfall“ prikazu ovakvi signali se vide kao prebrisavajući signali (na slici 2).

Kod DS signala uskopojsni signal se množi sa pseudo-slučajnom (pseudo-noise, PN) sekvencom, čime se postiže širenje spektra, koji teoretski pada ispod nivoa šuma. U praktičnim slučajevima, u „waterfall“ prikazu ovakvi signali se odaju povremenim podizanjem nivoa spektra [7].

FH signali koriste pseudoslučajnu sekvencu da raspodele poslati uskopojsni signal na više frekvencija u kratkom vremenskom intervalu. U „waterfall“ prikazu ovakvi signali se vide kao kratkotrajni paketi koji se javljaju na različitim frekvencijama ali sa istog azimuta [8].

B. Ograničenja korišćenog radio-goniometarskog uređaja

U našoj situaciji bili smo ograničeni na radio-goniometar koji radi u HF opsegu, što ne znači da se kreirani kôd ne može koristiti i na drugim opsezima.

Na HF opsegu od LPI signala najčešće se koriste signali sa frekvencijskim skakanjem sa malom brzinom skakanja (zbog prostiranja talasa na ovim frekvencijama), pa smo njihovo razdvajanje od običnih FF signala stavili kao prioritet [9].

IV. SIMULACIJA

Ulazni podaci, koje smo dobili sa radio-goniometra, dati su u *.csv formatu u jednoj združenoj koloni i nisu predstavljali pogodnu osnovu za dalji rad, pa ih je bilo potrebno dodatno obraditi za korišćenje u programskom paketu Matlab. Prilikom ručne obrade smo iskoristili mogućnost Excel-a da razdvojimo jednu združenu kolonu u zasebne kolone. Na taj način smo dobili razdvojene podatke o frekvenciji, nivou, azimutu, kvalitetu i elevaciji.

Iz ulaznih podataka prvo se vrši učitavanje početnog i krajnjeg vremena snimanja i proračun ukupnog vremena koje se obrađuje. Zatim se vrši uklanjanje redova koji ne sadrže nikakve podatke (sistemskih redova koje kreira sam radio-goniometar) i proračun korišćene rezolucije u snimku (za bolju obradu potrebno je na radio-goniometru pre početka snimanja podesiti najbolje moguće parametre rezolucije).

Nakon toga prelazi se na baferovanje svih korisnih podataka u zasebne matrice i postavljanje praga odlučivanja uz korišćenje datog kvaliteta signala radi poboljšanja procene.

Kvalitet signala koji se koristi prilikom odlučivanja je podatak dobijen sa radio-goniometra, a predstavlja tačnost proračunatih vrednosti azimuta i/ili elevacije svakog odabirka. Kvalitet se dobija na osnovu posebnih algoritama i niza matrica upoređivanjem trenutnih podataka sa podacima iz prethodnih višestrukih merenja.

Kako bi smo olakšali obradu, formirali smo zaseban skript fajl `fixed_frequency_analiza.m`, u kojem se vrši razdvajanje signala na fiksnoj frekvenciji od signala sa frekvencijskim skakanjem. Razdvajanje je izvršeno na osnovu mogućeg vremena trajanja jednog frekvencijskog skoka, tj. uvedena je pretpostavka da signal na fiksnoj frekvenciji ne može trajati kraće od maksimalnog vremena koje je potrebno uređaju koji radi sa frekvencijskim skakanjem da pošalje skok. Drugim rečima, koristi se najmanji broj hopova u sekundi (hps) sa kojima se zna da uređaj sa frekvencijskim skakanjem rade u HF opsegu. Upoređivanjem tehničkih karakteristika uređaja sa frekvencijskim skakanjem koji rade u HF opsegu i na osnovu praktičnog iskustva znamo da broj skokova ne može biti manji od 5 hps.

U skladu sa prethodnom pretpostavkom mi uvodimo vremensko-frekvencijske ćelije i na osnovu njih određujemo da li se radi o signalu na fiksnoj frekvenciji ili signalu sa malom verovatnoćom detekcije.

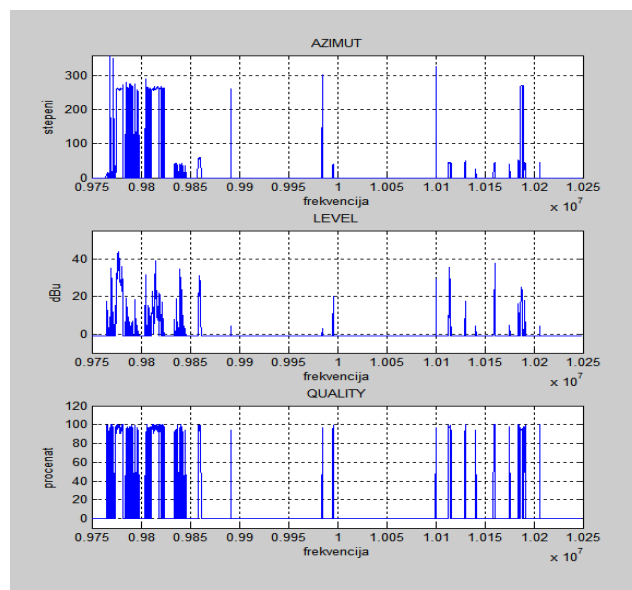
Dodatno je uvedena i pretpostavka da se svaki signal na fiksnoj frekvenciji javlja sa istog azimuta (uz određenu fluktuaciju) što nam omogućava da odredimo da li se radi o jednom ili više učesnika u komunikaciji, koji se ne preklapaju vremenski. Ukoliko se učesnici poklapaju po frekvenciji potrebno je taj scenario snimiti i izvršiti analizu uz pomoć visoko rezolucionihi metoda.

Uvodeći ove pretpostavke i diferenciranjem dobijenih matrica dobijaju se sve frekvencije pozitivnih i negativnih promena signala, tj. dobijaju se uzlazne i opadajuće ivice svih signala na fiksnoj frekvenciji, a ceo prostor između predstavlja zauzet deo spektra (širinu korišćenog kanala),

što smo i težili da postignemo. Jednostavnim prebrojavanjem svih kanala dobija se broj aktivnih FF emisija u spektru.

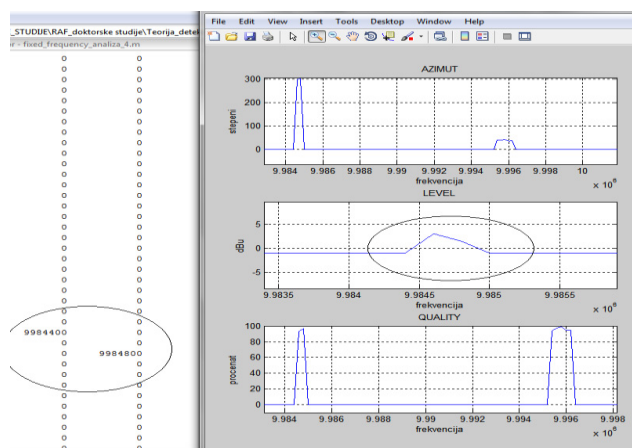
V. ILUSTRACIJA DOBIJENIH REZULTATA

Program prikazuje ulazne podatke prema azimutu, nivou signala i kvalitetu u funkciji od frekvencije. Dobijeni snimljeni scenario je dat na slici 3. Na slici se vide tri prikaza snimljenog spektra po azimutu, nivou i kvalitetu signala. U implementiranom algoritmu u obzir su uzeti azimut i kvalitet signala kako bi doneli odluku da li ima signala i kolika je širina spektra koji je zauzet.



Sl. 3. Prikaz jedne učitanoj fajla u Matlab-u.

Posle analize snimljenog scenarija dobijamo rezultate o broju detektovanih kanala, o početnim i krajnjim frekvencijama emisija i o širini kanala. Na slici 4 je dat samo deo frekvencijskog spektra sa rezultatima detekcije.



Sl. 4. Uveličani prikaz dela spektra za date uzlazne i opadajuće ivice.

VI. ZAKLJUČAK

Segmentacija spektra i pretklasifikacija signala predstavljaju veoma zahtevane probleme. Iz skupa signala na nekom opsegu frekvencija, prijemnik mora da izdvoji informacione kanale i da detektuje signale kako bi došao

do informacija ili kako bi zaključio da li je određeni opseg slobodan za korišćenje.

Simulacija predstavlja jedno od rešenja segmentacije i detekcije signala sa fiksnom frekvencijom, uz korišćenje programskog paketa Matlab. Iz opisa rezultata simulacije moze se jasno uočiti da je detekcija vršena po vremensko-frekvencijskim ćelijama, uz prag koji je definisan kvalitetom signala koji smo dobijali sa radio-goniometra, a da su korišćeni ulazni podaci snimljeni u realnoj situaciji.

Predstavljenim načinom detekcije rešavamo problem fiksnih (predefinisanih) širina kanala (ili korišćenih filtara), a širinu kanala isključivo određujemo na osnovu uzlaznih i opadajućih ivica signala. Drugi problem koji ovde rešavamo je razdvajanje FF signala od signala sa frekvencijskim skakanjem na HF frekvencijskom opsegu.

Nastavak razvitka ovog koda će biti usmeren na detekciju FH i chirp signala za rad u realnom vremenu. Isto tako izvršiće se procena verovatnoće detekcije za različite vrednosti kvaliteta signala kao bi se i taj segment implementirao u buduće verzije.

Značaj ovog koda je veliki jer klasifikuje ulazne podatke i olakšava dalju analizu signala u jednom sistemu za radio-monitoring.

LITERATURA

- [1] S. Haykin, „Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications“, IEEE JSAC, Vol. 23, No. 2, 2005, pp. 201-220.
- [2] S. Tadić, M. L. Dukić (april, 2008). „Principi i tehnologije kognitivnog radija“ , Telekomunikacije (prvo izdanje), http://www.telekomunikacije.rs/arhiva_brojeva/prvi_broj.50.html
- [3] B. Sklar, „Digital communication–Fundamentals and Applications“, 2nd edition, Prentice Hall P T R, 2001, pp. 106-161.

- [4] J. Proakis, „Digital Communications“, McGraw-Hill, New York, 1995, pp. 244-249.
- [5] M. Barkat, „Signal detection and estimation“, 2nd edition, Artech House, 2005, pp. 523-626.
- [6] *Introduction into theory of direction finding*, Radiomonitoring and radiolocation Catalog, Rohde&Schwarz, 2000/2001.
- [7] G. Burel, C. Boudier and O. Berder: „Detection of Direct Sequence Spread Spectrum Transmissions without Prior Knowledge“, L.E.S.T. – FRE CNRS 2269, Université de Bretagne Occidentale, BP 809, 29285 Brest cedex.
- [8] D. Vučić: „Metode i tehnička rešenja za izviđanje signala sa frekvencijskim skakanjem“, VTI, 2003.
- [9] *Digital HF/VHF/UHF Monitoring Direction Finder ,DDF 0xE*, Data sheet, Rohde&Schwarz, 2006.

ABSTRACT

The need for more efficient use of licensed spectrum became a dominant problem of modern telecommunication theory. The detection and decision making problems, with which we are expected to find the spectrum holes and the spectrum primary users (spectrum sensing) can be very demanding. This work presents one of the possible solutions, that we have come up with, for detecting multiple FF signals in the live spectrum situation (data collected from the direction finder), by using the options provided in Matlab. This is the beginning of development of a pre-classificator for the radio monitoring systems.

SIGNAL PRECLASIFICATION ON DIGITAL WIDEBAND DIRECTION FINDER

Boban M. Sazdic-Jotic, Darko I. Krstic