

## NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Na svojoj 774. sednici od 20.05.2014. god. Nastavno-naučno veće nas je imenovalo za članove Komisije za pregled i ocenu magistarskog rada kandidata Dragoljuba Stefanovića, pod naslovom "**Realizacija sistema daljinski upravljanih kontrolno-mernih stanica za geolociranje izvora radio-frekvencijskih signala**". Nakon pregleda ovog rada imamo čast da Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta podnesemo sledeći

### IZVEŠTAJ

#### BIOGRAFSKI PODACI O KANDIDATU

Dragoljub Stefanović je rođen 25.02.1965. godine u Beogradu. Srednjoškolsko obrazovanje po programu usmerenog obrazovanja je završio 1983. godine u Zemunskoj gimnaziji i stekao zvanje Laboratorijski tehničar za fiziku. Diplomirao je 1990.god. na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, odsek Elektronika, smer Telekomunikacije, sa prosečnom ocenom 8,15 i ocenom 10 na diplomskom ispitu. Položio je sve ispite na poslediplomskim studijama na ETF-u u Beogradu, sa prosečnom ocenom 9,67.

Od 1990. do 2011. godine je bio zaposlen u firmi Ei Pionir UKT na pozicijama razvojnog inženjera, šefa odeljenja u razvoju i rukovodioca razvoja. Od 2011. je zaposlen u Republičkoj agenciji za elektronske komunikacije, trenutno na poziciji Višeg savetnika - kontrolora elektronskih mreža i usluga.

Posедуje Licencu odgovornog projektanta telekomunikacionih mreža i sistema Inženjerske komore Srbije.

#### OSNOVNI PODACI O RADU

Rad sadrži ukupno 112 stranica sa 124 slike i 33 tabele. Rad je podeljen u jedanaest poglavlja, gde je poslednje poglavlje zaključak. Na početku rada su dati spiskovi slika, tabela i spisak skraćenica korišćenih u radu, dok je na kraju rada dat spisak korišćene literature, koji sadrži 29 referenci.

#### ANALIZA RADA

Tradicionalni pristup monitoringu radio-frekvencijskog spektra, koji između ostalog obuhvata i geolociranje izvora radio-frekvencijskih (RF) signala, najčešće podrazumeva metode koje zahtevaju veliko tehnološko vreme i značajan utrošak resursa. Optimizacija se može postići savremenim pristupom koji podrazumeva organizaciju i efikasnu upotrebu sistema daljinski upravljanih kontrolno-mernih stanica. Realizacijom efikasnog sistema daljinski upravljanih stanica značajno se popravljа efikasnost rada službe koja se bavi ovom oblašću. U zavisnosti od zahteva i raspoloživih resursa, monitoring RF spektra u užem smislu i geolociranje izvora RF signala mogu se realizovati kroz zajednički, ili kroz potpuno ili delimično odvojene sisteme kontrolno-mernih stanica.

Predmet ovog rada je praktična realizacija sistema za geolociranje izvora RF signala, organizovanog kao podsistem integralnog sistema za monitoring RF spektra. U radu je dat pregled raspoloživih tehnologija, kao i kriterijumi i argumenti za izbor optimalne metode za realizaciju ovakvog sistema. Kao rezultat analize ispunjenosti navedenih kriterijuma za realizaciju je izabrana TDOA (*Time Difference Of Arrival*) metoda za geolociranje. Na osnovu rezultata provere svih relevantnih karakteristika raspoloživih hardverskih i softverskih komponenata planiranog sistema u kontrolisanim, laboratorijskim uslovima, i uz poznavanje tipičnih karakteristika izvora različitih RF emisija od interesa, napravljena je specifikacija opreme i prostorni raspored za kontrolno-merne stanice koje formiraju mrežu u eksperimentalnoj fazi. Od posebnog značaja je procena performansi realizovanog sistema zasnovana na rezultatima geolociranja izvora RF emisija različitih karakteristika i u različitim uslovima, što je takođe predmet ovog rada. Na osnovu ovih rezultata je donet zaključak sa predlogom za dalja unapređenja.

U Poglavlju 1 su date uvodne napomene koje sadrže predmet i cilj rada.

U Poglavlju 2 je dat pregled svih raspoloživih metoda za geolociranje izvora RF signala i objašnjen mehanizam njihovog funkcionisanja. Izvršeno je detaljno poređenje AOA (*Angle Of Arrival*) i TDOA metoda i dati argumenti za primenu TDOA metode u eksperimentalnom sistemu.

Poglavlje 3 sadrži pregled komercijalno raspoložive merne opreme za realizaciju sistema za geolociranje zasnovanog na TDOA metodi. Prikazani su kataloški podaci o tehničkim karakteristikama prijemnika i osnovni podaci o softverskim komponentama sistema. Uključena je analiza pogodnosti primene raspoložive opreme.

U Poglavlju 4 je dat kratak pregled TDOA sistema za geolociranje realizovanih od strane civilnih službi u Evropi i svetu.

U Poglavlju 5 su prikazani rezultati provere tehničkih karakteristika raspoloživih mernih prijemnika u laboratorijskim uslovima. Karakteristike prijemnika koji su namenski konstruisani i predviđeni za efikasnu realizaciju TDOA sistema su upoređene sa karakteristikama kompleksnijih mernih prijemnika predviđenih za monitoring RF spektra po ITU normama. Data je analiza rezultata merenja RF parametara posmatranih signala.

U Poglavlju 6 je opisana metodologija i dati rezultati provere primenjenog algoritma za procenu relativnog kašnjenja signala, kao osnovnog parametra kod TDOA metode. Provera je obavljena u laboratorijskim uslovima, sa opremom jednog proizvođača.

U Poglavlju 7 su definisani tehnički zahtevi za realizaciju eksperimentalnog sistema za geolociranje izvora RF signala u zonama Beograda i Novog Sada. Na osnovu ovih zahteva je konfigurisana tipska oprema za formiranje kontrolno-mernih stanica.

U Poglavlju 8 su određene lokacije za postavljanje kontrolno-mernih stanica u zonama Beograda i Novog Sada. Pri određivanju ovih lokacija u obzir su uzete karakteristike izvora RF signala od primarnog interesa, karakteristike izabranog sistema utvrđene laboratorijskim merenjima, uticaj geometrijskog rasporeda RF senzora na performanse TDOA sistema, topografija terena na teritoriji ova dva grada kao i postojeći uslovi u pogledu postojanja adekvatnih objekata, potrebne infrastrukture i mogućnosti povezivanja KMS sa centrom upravljanja.

Poglavlje 9 sadrži rezultate detaljne provere performansi realizovanog sistema. Eksperimentalna provera je obuhvatila geolociranje izvora signala koji se razlikuju po vrsti emisije i efektivno izračenoj snazi predajnika, pri čemu se oni nalaze u zonama poligona oivičenim lokacijama TDOA kontrolno-mernih stanica, ali i u njihovoj bližoj i daljoj okolini.

U Poglavlju 10 su sumirani rezultati eksperimentalne provere performansi realizovanog mernog sistema, uz isticanje prednosti ali i nedostataka i ograničenja u primeni ovako realizovanog sistema.

Poglavlje 11 sadrži zaključak sa sumarno prikazanim rezultatima rada i predlogom za dalja unapređenja sistema za ovu namenu.

## ZAKLJUČAK I PREDLOG

U magistarskom radu Dragoljuba Stefanovića dat je detaljan pregled aktuelnih tehnologija i metoda za geolociranje izvora radio-frekvencijskih signala. Predložen je koncept i način realizacije sistema za geolociranje zasnovanog na formiranju mreže daljinski upravljanih kontrolno-mernih stanica, kojim se u značajnoj meri prevazilaze nedostaci tradicionalnog pristupa ovom problemu. Finalni rezultat predstavlja geografski ograničen, ali potpuno funkcionalan eksperimentalni sistem koji je omogućio proveru svih značajnih performansi u realnim uslovima rada. Pod ovim se podrazumeva provera mogućnosti sistema za precizno određivanje lokacija izvora različitih vrsta uskopojasnih i širokopojasnih analognih i digitalnih emisija, za različite međusobne prostorne rasporede izvora signala i mernih prijemnika, kao i pri različitim vrednostima odnosa signal/šum na ulazima prijemnika.

S obzirom na to da je početak primene tehnike geolociranja izvora RF signala zasnovane na TDOA metodi u civilnim službama koje se bave monitoringom RF spektra skorijeg datuma, kao i da se do sada poznata realizacija svodi uglavnom na eksperimentalne sisteme, efikasnost ovakvih sistema nije šire dokumentovana. Zbog toga smatramo da su dobijeni rezultati i izvedeni zaključci značajni, pogotovo u cilju procene perspektivnosti razvoja sistema za ovu namenu na širem geografskom prostoru.

Osnovni doprinosi izloženi u ovom magistarskom radu su sledeći:

- Dat je detaljan pregled i sistematizacija postojećih metoda za geolociranje izvora RF signala kao i pregled raspoložive opreme za ovu namenu, uz rezultate provere performansi sistema u laboratorijskim uslovima, pre svega onih koje nisu na adekvatan način predstavljene kataloškim podacima;
- Predložena je metoda valorizacije algoritma za procenu relativnog kašnjenja signala u TDOA sistemu u laboratorijskim uslovima i dati su rezultati dobijeni pri prijemu različitih tipova uskopojasnih i širokopojasnih emisija u konkretnom TDOA sistemu;
- Uočeni su nedostaci i dati predlozi za unapređenje primenjenih algoritama za procenu relativnog kašnjenja putem određivanja kros-korelacije prijemnih RF signala i određivanje pozicije izvora RF signala;
- Na osnovu konkretnih rezultata geolociranja izvora različitih tipova uskopojasnih i širokopojasnih RF signala dobijenih u eksperimentalnom radu utvrđene su prednosti i ograničenja sistema zasnovanog na primeni TDOA metode.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije sa zadovoljstvom predlažu Nastavno-naučnom veću ETF u Beogradu da rad Dragoljuba Stefanovića, pod naslovom "**Realizacija sistema daljinski upravljanih kontrolno-mernih stanica za geolociranje izvora radio-frekvencijskih signala**", prihvati kao magistarski rad i da kandidatu odobri usmenu odbranu rada.

U Beogradu, 02.06.2014.

Članovi komisije,

Dr Miroslav L. Dukić, Redovni profesor ETF,

  
Dr Milan Janković, Docent ETF,

Dr Goran Marković, Vanredni profesor Saobraćajnog fakulteta