

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Na 743. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu održanoj 07.02.2012. godine, određeni smo za članove Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije mr Vesne Blagojević pod naslovom "Optimizacija kognitivnih sistema sa kontrolisanim nivoom interferencije primenom višeantenskih tehnika sa adaptivnom kontrolom snage". Nakon pregleda dobijenog materijala, Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta podnosimo sledeći

I Z V E Š T A J

PODACI O KANDIDATU

Vesna Blagojević rođena je 1976. godine u Beogradu, gde je završila osnovnu školu i "Matematičku gimnaziju". Studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu započela je 1994. godine a diplomirala je 2001. godine, na smeru za Telekomunikacije, sa opštim uspehom 9.0 u toku studija. Magistarsku tezu pod nazivom „Modeli nisko-naponskih elektrodistributivnih vodova kao kanala za prenos telekomunikacionih signala“ odbranila je aprila 2007. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu.

U periodu od diplomiranja do januara 2003. godine, Vesna Blagojević bila je stipendista Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije i angažovana kao saradnik pri Katedri za telekomunikacije Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. U radni odnos u zvanju asistent-pripravnika primljena je januara 2003. godine. U zvanje asistent na Katedri za telekomunikacije izabrana je novembra 2007. godine.

U toku dosadašnjeg rada mr Vesna Blagojević objavila je 11 radova na međunarodnim konferencijama, 1 rad u časopisu nacionalnog značaja i 6 radova na domaćim konferencijama. Iz oblasti kojoj pripada predložena doktorska disertacija Vesna Blagojević je objavila sledeće radove u vodećim međunarodnim časopisima sa SCI liste:

1. Vesna Blagojević, Predrag Ivaniš, "Ergodic Capacity for TAS/MRC Spectrum Sharing Cognitive Radio," *IEEE Communication Letters*, accepted for publication DOI: 10.1109/LCOMM.2012.011312.111488. Rad je dostupan u *Early Access* delu *IEEE Xplore* sajta: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=6134707.
2. Predrag Ivaniš, Vesna Blagojević, Dušan Drajić, Branka Vučetić, "Second-order statistics of a maximum ratio combiner with unbalanced and unequally distributed Nakagami branches," *IET Communications*, No. 13, Vol. 5, pp. 1829-1835, September 2011.
3. Predrag Ivaniš, Vesna Blagojević, Dušan Drajić, Branka Vučetić, "Closed-Form Level Crossing Rates Expressions of Orthogonalized Correlated MIMO Channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, No. 5, Vol. 60, pp. 1910-1916, May 2011.

Doprinosi objavljeni u pomenutim radovima predstavljaju rezultate istraživanja koji će biti izloženi u doktorskoj disertaciji kandidata.

PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja u okviru predložene doktorske disertacije je primena višeantenskih tehnika (*Multiple Input Multiple Output*, MIMO) sa adaptivnom kontrolom snage u cilju optimizacije kognitivnih sistema sa kontrolisanim nivoom interferencije. Kognitivnost podrazumeva sposobnost prilagođenja radio sistema promenama u okruženju sa ciljem maksimiziranja iskorišćenosti spektralnih resursa. Osnovna ideja je da se kognitivnim (sekundarnim) korisnicima omogući da koriste licencirane delove spektra, pri čemu se primenom sofisticiranih tehnika prenosa i obrade signala obezbeđuje da njihov rad ne ugrožava performanse licenciranih (primarnih) korisnika.

U kognitivnim radio sistemima sa kontrolisanim nivoom interferencije, primarni i kognitivni radio sistemi mogu koegzistirati u istom opsegu učestanosti, pri čemu se ne ugrožava rad licenciranih korisnika sistema. Korišćenjem adaptivne kontrole snage sekundarnog predajnika omogućava se da interferencija na ulazu u primarni prijemnik koju generiše sekundarni predajnik, bude manja od unapred definisanog praga, pri čemu se navedenim postupkom ograničava i kapacitet sekundarnog linka. Osnovni cilj istraživanja u okviru ove disertacije je analiza i identifikacija višeantenskih tehnika kojima se omogućava značajno povećanje kapaciteta sekundarnog linka i poboljšanje performansi sistema uz nisku kompleksnost realizacije.

Osvrt na relevantne bibliografske izvore

Koncept kognitivnog radio sistema predložen je u [1]. Pregled i analiza postojećih istraživanja sa aspekta teorije informacija dati su u [2]. U referencama [3-5] određen je kapacitet sekundarnog linka u kognitivnom radio sistemu sa kontrolisanim nivoom interferencije za sistem sa jednom predajnom i jednom prijemnom antenom. Analiza višeantenskih tehnika sa relativno malom kompleksnošću realizacije data je u [6-9]. Primena višeantenskih tehnika u kognitivnom radio sistemu sa kontrolisanim nivoom interferencije razmatrana je u [10-12].

- [1] J. Mitola, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio," PhD Dissertation, KTH Stockholm, Sweden, December 2000.
- [2] A. Goldsmith, S. A. Jafar, I. Maric, S. Srinivasa, "Breaking Spectrum Gridlock with Cognitive Radios: An Information Theoretic Perspective," *Proceedings of IEEE*, Vol. 97, No. 5, pp. 894–914, May 2009.
- [3] A. Ghasemi, E. S. Sousa, "Fundamental Limits of Spectrum-Sharing in Fading Environments," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 6, No. 2, pp. 649–658, February 2007.
- [4] L. Musavian, S. Aissa, "Capacity and Power Allocation for Spectrum Sharing Communications in Fading Channels," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 8, No. 1, pp. 148–156, January 2009.
- [5] H. A. Suraweera, P. J. Smith, M. Shafi, "Capacity Limits and Performance Analysis of Cognitive Radio with Imperfect Channel Knowledge," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 59, No. 4, pp. 1811–1822, May 2010.
- [6] S. M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 16, No. 8, pp. 1451–1458, October 1998.
- [7] V. Tarokh, H. Jafarkhani, A. R. Calderbank, "Space Time Block Codes from Orthogonal Design," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 45, No. 5, pp. 1456–1467, July 1999.

- [8] Z. Chen, Z. Chi, Y. Li, B. Vucetic, "Error Performance of Maximal-Ratio Combining with Transmit Antenna Selection in Flat Nakagami- m Fading Channels," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 8, No. 1, pp. 424–431, January 2009.
- [9] J.M.R.-Jerez, A. J. Goldsmith, "Performance of multiantenna reception with transmit antenna selection in arbitrarily distributed Nakagami fading channels," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 8, No. 4, pp. 2006–2013, April 2009.
- [10] R. Duan, M. Elmusrati, R. Jantti, R. Virrankoski, "Capacity for Spectrum Sharing Cognitive Radios with MRC Diversity at the Secondary Receiver under Asymmetric Fading", *Proceedings of IEEE Globecom 2010*, Miami, USA, 2010.
- [11] H. Wang, J. Lee, S. Kim and D. Hong, "Capacity Enhancement of Secondary Links through Spatial Diversity in Spectrum Sharing," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 9, No. 2, pp. 494–499, February 2010.
- [12] A. H. Y. Kong, "Ergodic and Outage Capacity of Interference Temperature-Limited Cognitive Radio Multi-input multi-output channel," *IET Communications*, Vol. 5, Iss. 5, pp. 652–659, 2011.

POLAZNE HIPOTEZE

U radu se polazi od hipoteze da se primenom sofisticiranih višenantenskih tehnika može znatno uvećati kapacitet kognitivnog sistema sa kontrolisanim nivoom interferencije. U slučaju primene razmatranih višenantenskih tehnika na sekundarnom linku, na osnovu poznatih parametara raspodele fedinga u propagacionom kanalu moguće je izvesti izraz za funkciju gustine verovatnoće odnosa srednje snage signala i srednje snage šuma na ulazu u sekundarni prijemnik. Koristeći izvedene izraze, primenom teorije slučajnih procesa moguće je odrediti izraze koji direktno pokazuju zavisnost kapaciteta i verovatnoće greške kognitivnog radio sistema od karakteristika propagacionog okruženja, broja antena na predajniku i prijemniku sekundarnog linka, granične vrednosti nivoa interferencije na ulazu primarnog prijemnika na poznatoj lokaciji i parametara geometrije mreže.

NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja u okviru predložene doktorske disertacije sastojaće se u sledećem:

- pregled postojećih rezultata u oblasti kognitivnih radio sistema sa kontrolisanim nivoom interferencije, sa posebnim osvrtom na aspekte koji još uvek nisu analizirani;
- određivanje originalnih analitičkih izraza koji pokazuju zavisnost kapaciteta i performansi sistema od parametara propagacionog okruženja i parametara sistema;
- razvoj algoritma koji omogućava optimizaciju performansi kognitivnog sistema sa kontrolisanim nivoom interferencije;
- verifikacija numeričkih rezultata dobijenih analitičkim pristupom, primenom Monte Karlo simulacionih eksperimenata.

OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

Ključni zahtev koji se postavlja pri dizajnu kognitivnog radio sistema sa kontrolisanim nivoom interferencije je zadovoljenje dva oprečna zahteva: povećanje kapaciteta kognitivnog sistema uz ispunjenje uslova da je interferencija na strani primarnog prijemnika ispod dozvoljenog praga. U ovoj disertaciji će biti izvršena analiza primene nekoliko višenantenskih tehnika na linku kognitivnog radio korisnika u cilju povećanja kapaciteta i poboljšanja performansi sistema uz mali utrošak sistemskih resursa.

U okviru predložene doktorske disertacije očekuju se sledeći naučni doprinosi:

- analiza adaptivne kontrole snage u sekundarnom linku, sa posebnim osvrtom na uticaj ograničenja predajne snage sekundarnog korisnika na ostvarivi kapacitet sistema;
- izvođenje originalnih analitičkih izraza za kapacitet sekundarnog linka, za slučajeve razmatranih višeantenskih tehnika sa proizvoljnim brojem antena na predaji i prijemu, i definisani prag interferencije na ulazu primarnog predajnika;
- izvođenje originalnih analitičkih izraza za prosečnu verovatnoću greške po bitu, za slučajeve primene različitih modulacionih postupaka i razmatranih višeantenskih tehnika;
- razvoj algoritma za primenu adaptivne modulacione tehnike na linku sekundarnog korisnika u zavisnosti od definisanih parametara sistema i propagacionih karakteristika na linku ka sekundarnom i primarnom prijemniku;
- razvoj fleksibilnog Monte Karlo simulacionog modela koji omogućava procenu performansi sistema za složene uslove propagacije.

PLAN ISTRAŽIVANJA I STRUKTURA RADA

Plan istraživanja obuhvatiće teorijsku analizu primena višeantenskih tehnika u sekundarnom linku kognitivnog radio sistema sa kontrolisanim nivoom interferencije. Biće razmatrana primena diverzitija zasnovanog na kombinovanju sa maksimalnim odnosom (*Maximal Ratio Combining*, MRC) na strani sekundarnog prijemnika, a zatim i primena tehnike optimalne selekcije predajne antene (*Transmit Antenna Selection*, TAS) u sekundarnom radio sistemu. Kombinovanjem dva navedena postupka moguće je realizovati tehniku združene selekcije predajne antene i prijemnog diverzitija (*Transmit Antenna Selection/Maximal Ratio Combining*, TAS/MRC), koju odlikuju mala kompleksnost realizacije i veoma skromni zahtevi za kapacitetom povratnog linka. Osim toga, biće analizirana i mogućnost primene ortogonalnih prostorno vremenskih blok kodova (*Orthogonal Space Time Block Codes*, OSTBC).

Za slučaj primene svake od navedenih tehnika biće izveden analitički izraz za kapacitet sekundarnog linka kada je snaga interferencije na ulazu primarnog prijemnika ograničena. Detaljno će biti opisan postupak određivanja optimalne vrednosti trenutne snage na predaji sekundarnog korisnika, kojom se maksimizira kapacitet sekundarnog linka, u zavisnosti od stanja u kanalu ka sekundarnom i primarnom prijemniku. Posebna pažnja biće posvećena analizi slučaja kada je snaga interferencije ograničena po vršnoj, kao i kada je snaga interferencije ograničena po prosečnoj vrednosti. Da bi se u obzir uzeli samo dozvoljeni nivoi snage, biće razmatran i uticaj ograničenja emisije snage sekundarnog predajnika na kapacitet linka. Kako kapacitet linka direktno zavisi od uslova za prenos signala, navedeni scenariji će biti razmotreni za različita propagaciona okruženja. U radu će biti izvedeni originalni izrazi koji pokazuju zavisnost ergodičnog kapaciteta sekundarnog linka od parametara sistema. Izrazi će biti izvedeni za svaku od razmatranih višeantenskih tehnika i to za proizvoljan broj antena na predaji i prijemu.

Posebna pažnja biće posvećena izvođenju analitičkih izraza za verovatnoću greške po bitu, koja predstavlja osnovnu meru procene performansi bežičnih telekomunikacionih sistema. Biće razmotren uticaj izabrane višeantenske tehnike na srednju vrednost verovatnoće greške. Performanse sistema će biti određene za slučajeve primene različitih modulacionih postupaka.

Značajan doprinos disertacije će biti razvijeni fleksibilni Monte Karlo simulacioni model koji će omogućiti procenu performansi sistema za složene uslove propagacije. Ovaj model će biti iskorišćen za verifikaciju numeričkih rezultata dobijenih analitičkim pristupom, za razne vrednosti parametara sistema.

U okviru predložene doktorske disertacije, nakon uvodnog poglavlja sa pregledom oblasti, biće detaljno razmotreni sistemi sa kontrolisanim nivoom interferencije i tehnika adaptivne kontrole snage koja se standardno primenjuje radi povećanja kapaciteta sekundarnog linka. U narednom delu rada će biti izvršen pregled višeantenskih tehnika čijom primenom je moguće ostvariti povećanje kapaciteta kognitivnog radio sistema uz relativno mali utrošak sistemskih resursa. Zatim će biti izložen analitički postupak korišćen za izvođenje originalnih izraza za kapacitet sekundarnog linka kada je snaga interferencije na ulazu primarnog prijemnika ograničena. U delu koji sledi biće detaljno izložen postupak izvođenja izraza za prosečnu verovatnoću greške po bitu, koja predstavlja osnovnu meru procene performansi bežičnih telekomunikacionih sistema. Nakon toga će biti predložen algoritam za primenu adaptivne modulacione tehnike na linku sekundarnog korisnika. Analiza predloženog algoritma će biti izvršena za slučaj kada anvelopa fedinga u kanalu ima Nakagamijevu raspodelu, a biće razmotren i uticaj prostorne korelacije na performanse sistema. Zaključna razmatranja će biti izložena u završnom poglavlju.

ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu izloženog, Komisija konstatuje da kandidat ispunjava sve formalne i suštinske uslove za pristupanje izradi doktorske disertacije, kao i da je predložena tema “Optimizacija kognitivnih sistema sa kontrolisanim nivoom interferencije primenom višeantenskih tehnika sa adaptivnom kontrolom snage” naučno aktuelna u domenu bežičnih telekomunikacija i teorije informacija. Zato Komisija predlaže Naučno-nastavnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da kandidatu Vesni Blagojević odobri izradu doktorske disertacije pod gore navedenim naslovom.

U Beogradu, 20.02.2012. godine

Komisija:

Doc. dr Predrag N. Ivaniš

Prof. dr Miroslav L. Dukić

Prof. dr Goran T. Đorđević
(Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu)

Doc. dr Mirjana I. Simić

Doc. dr Miljko M. Erić