Analiza bežičnog prenosa u Rajsovom feding kanalu u prisustvu višestrukih ko-kanalnih interferencija

Stefan R. Panić
Odsek za Informatiku
Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Prištini
Kosovska Mitrovica, Srbija
stefanpnc@yahoo.com

Ivana Petrović
Visoka škola elektrotehnike i računarstava strukovnih studija, Beograd, Srbija
ivana.petrovic@viser.edu.rs

Petar Spalević, Branimir Jakšić, Boško Radovanović
Katedra za Elektroniku Telekomunikacije
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Prištini
Kosovska Mitrovica, Srbija
branimirjaksic@gmail.com petarspalevic@yahoo.com

Srđan Jovković
Visoka tehnička škola strukovnih studija
Niš, Srbija
srbajovkovic@gmail.com

Sadržaj— **U ovom radu je predstavljena analiza performansi bežičnog prenosa, kroz kanal izložen uticaju Rajsovog fedinga, u prisustvu proizvoljanog broja ko-kanalnih interferencija jednake srednje snage. Predstavljeni su izrazi u zatvorenom obliku za funkciju gustine verovatnoće (PDF) i kumulativne funkcije raspodele (CDF) za signal na prijemu sistema. Na osnovu njih su određeni izrazi za verovatnoću otkaza i srednju verovatnoću greške po bitu (ABEP) pri upotrebi nekih koherentnih i nekoherentnih frekvrencijskih i faznih digitalnih modulacionih tehnika na prijemu. Takođe je razmatran uticaj primene diverziti tehnika prijema na poboljšanje performansi za različite vrednosti parametara sistema poput broja ko-kanalnih interferencija, broja grana višeantenskog terminal na prijemu i jačine uticaja fedinga.**

Ključne riječi- Rajsov feding; višestruke ko-kanalne interferencije; diverziti prijem; verovatnoća otkaza; srednja verovatnoća greške po bitu;

I. UVOD

Povećanje spektralne efikasnosti ssitema uz obezbeđivanje zahtevanog nivoa kvaliteteta servisa (quality of service - QoS) predstavlja jedan od glavnih ciljeva u procesu projektovanja ćelijskih (celularnih) mobilnih zemaljskih, kao i satelitskih komunikacionih sistema. Prisutne su tendencije očuvanja raspoloživog spectra, pomoću ponovnih dodelama istih frekvencijskih kanala u oblastima koje su geografski udaljene. Međutim, signali iz dva ili više kanala i sa različitih lokacija, koje su emitovani na istoj frekvenciji, međusobno interferiraju. Ova pojava se naziva ko-kanalna interferencija (CCI – CoChannel interference)

Analiza uticaja ko-kanalne interferencije na standardne mere performansi bežičnih sistema na prijemu, kao što su verovatnoća otkaza (OP) i srednja verovatnoća greške po bitu (ABER), od ključnog je značaja za implementaciju praktičnih sistema, uz zadovoljavanje unapred predviđenog minimuma QoS [1]. Analiza performansi zasnovana na određivanju odnosa SIR (odnos signal - interferencija) je česta u literaturu, jer je ovaj odnos moguće praktično meriti u realnom vremenu, pomoću specifičnih SIR estimatora, kako u baznim tako i u mobilnim stanicama [2].

U praksi postoje slučajevi kada je željeni signal prilikom prenosa izložen uticaju ko-kanalnih interferencija, koje imaju istu srednju snagu. Ova situacija aproksimira dva graničena slučaja, za značajna za razmatranje kod sistema, gde ko-kanalna interferencija predstavlja dominantnu smetnju u odnosu na termalni šum i ostale tipove smetnji. Prvi scenario je kada su signali ko-kanalnih interferencija na samoj ivici klastera, odnosno geografski najbliži željenom signalu ćelije, tj. scenario najgoreg uticaja interferencije. Drugi, odgovara slučaju kada su najudaljeniji od ivica klastera, tj. scenario najmanjeg uticaja interferencija. Takođe, ukupna ko-kanalna interferencija unutar klastera, ili na pojedinačnoj anteni MIMO sistema, može biti adekvatno modelirana koristeći ove modele, kao i nekoliko drugih implementacija bežičnih sistema u praksi [3-4].

Razmatranjem amplitudskih i faznih slabljenja pri prenosu signala, pored ko-kanalne interferencije, kao najznačajnija smetnja u mobilnom bežičnom okruženju, mora biti analiziran i uticaj brzog fedinga [5]. U zavisnosti od prirode propagacionog okruženja postoje različiti modeli koji opisuju statističko ponašanje anvelope brzog fedinga, odnosno, Nakagami-*m*, Rejlijev, Rajsov, Hojtov, Veibulov.

Model Rajsovog fedinga se koristi za modeliranje propagacionih puteva, koji se sastoji od jedne dominantne komponente signala (line-of-sight, LoS) za koju postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika, i mnogo slučajno reflektovanih komponenata signala, koje su obično manjih snaga. Ovaj model fedinga služi i za modelovanje fedinga u frekvrencijskom domenu [6]. Značajnu primenu Rajsov model fedinga ima kod sateleitskih komunikacionih

sistema, gde se koristi za precizan model mobilnog satelitskog kanala, kada je kanal slobodan [7], ili u zauzeću [8]. Signali CCI su takođe izloženi uticaju brzog feding, pa je neophodno da se prilikom procene performansi datog sistema i ovaj uticaj uzme u razmatranje.

Diverziti prijem, zasnovan na upotrebi više antena na prijemniku (prostorni diverziti) predstavlja veoma efikasno rešenje za smanjenje fluktuacija nivoa signala u kanalima izloženim uticaju brzog fedinga [2]. Višestruke kopije primljenog signala se mogu kombinovati na više načina. Kod tehnike selektivnog kombinovanja (SC selection combining) procesiranje signala se na prijemu, vrši samo sa jedne diverziti grane, koja je prethodno odabrana, i nikakva bočna informacija nije neophodna u ovom procesu. Zato je SC najjednostavnija tehnika za praktičnu realizaciju. U feding okruženjima gde je nivo CCI prestavlja dominantnu smetnju, višeantenski SC prijemnik selektuje (bira) granu sa najvećim odnosom SIR.

Pristup analizi performansi bežičnog prenosa u kanalu sa Rajsovim fedingom, kada je prisutan uticaj proizvoljnog broja ko-kanalnih interferencija biće predstavljen u ovom radu. Biće predstavljeni izrazi u zatvorenom obliku za funkcije gustine verovatnoće (PDF) i kumulativne funkcie raspodele (CDF) signala na prijemu, kao i za verovatnoću otkaza i srednju verovatnoću greške po bitu. Uticaj SC diverziti prijema na poboljšanje performansi za različite vrednosti parametara sistema biće takođe ispitan.

II. MODEL SISTEMA

Pretpostavimo da na željeni signal pod uticajem Rajsovog fedinga, deluje M nezavisnih signala ko-kanalne interferencije, koji imaju istu srednju snagu. Ova pretpostavka je validna za slučaj kada se su svi signali interferencije na približno istom rastojanju od prijemnika. Pretpostavka o jednakoj srednjoj snazi interferencija pogodna je za razmatranje dva granična slučaja u celularnim sistemima. Ova dva granična slučaja odgovaraju scenariju kada su signali interferencije na najbližoj ivici klastera korisnika (scenario najgoreg uticaja interferencije) ili kada su najudaljeniji od ivice (scenario najmanjeg uticaja interferencija). Takođe, kod MIMO sistema, sa blisko raspoređenim antenama jedne u odnosu na drugu, signali interferencija koji dolaze sa različitih antena, mogu biti aproksimirani pomoću jedne ko-kanalne interferencije, koja podleže statistički identičnim procesima.

Nekorelisani signali ko-kanalnih interferencija se sabiraju kako bi dali u datom trenutku rezultirajući signal interferencije na prijemnoj grani:

$$r = \sum_{j=1}^{M} I_j \tag{1}$$

Kako je model svakog interfirujućeg signala sa izložen uticaju Rajsovog fedinga, anvelopa funkcije gustene verovatnoće za zbir M signala ko-kanalnih interferncija (PDF anvelope totalnog interfirujućeg signala) data je aproksimativno [9]:

$$p_r(r) = \frac{2M\left(1+K_c\right)^{\frac{M+1}{2}} r^M}{K_c^{\frac{M-1}{2}} e^{MK_c} \Omega_c^{\frac{M+1}{2}}} e^{-\frac{M(1+K_c)r^2}{\Omega_c}} \; I_{M-1}\left[2M\sqrt{\frac{K_c\left(1+K_c\right)r^2}{\Omega_c}}\right] \tag{2}$$

gde Ω_c označava ukupnu snagu signala interferencije, a $I_{\mathrm{M}}(\,.\,)$ predstavlja modifikovanu Beselovu funkciju prve vrste M-1 reda. K_c je Rajsov faktor signala interferencije, kojim se definiše odnos snage signala dominantne komponente ukupne interferencije signala i rasejane snage interferencije.

Pretpostavimo da anvelopa željenog signala takođe prati raspodelu Rajsovog fedinga, tako da je funkcija gustene verovatnoće data sa:

$$p_R(R) = \frac{2\left(1+K_d\right)R}{e^{K_d}\Omega_d} e^{-\frac{(1+K_d)R^2}{\Omega_d}} \times I_0\left[2\sqrt{\frac{K_d\left(1+K_d\right)R^2}{\Omega_d}}\right] \tag{3}$$

gde je sa $\Omega_d = \mathrm{E}[R^2]$ označena srednja snaga željenog signala, $I_0(x)$ je modifikovane Beselove funkcije prve vrste nultog reda, K_d je Rajsov faktor signala željenog signala, kojim se definiše odnos snage signala u dominantnoj komponenti željenog signala i snage rasejanih komponenti.

Pošto razmatramo celuluarne sisteme, uticaj šuma se može zanemariti. Tako će trenutni odnos signal– interferencija (SIR), označen sa $\lambda = R^2/r^2$, imati PDF u obliku [10]:

$$p_\lambda(t) = \frac{1}{2\sqrt{t}} \int_0^\infty \int_0^\infty p_R(r\sqrt{t})\, p_r(r)\, r\, dr \tag{4}$$

Posle zamene (2) i (3) u (4), dobijamo:

$$p_\lambda(\lambda) = \sum_{p=0}^{\infty}\sum_{q=0}^{\infty} \frac{\lambda^p S^{M+q} M^{2q+M} K_d^p K_c^q \left(1+K_d\right)^{p+1}\left(1+K_c\right)^{M+q}\Gamma(p+q+M+1)}{e^{K_d+K_cM}\Gamma(p+1)\,p!\,\Gamma(q+M)\,q!\left(\lambda\left(1+K_d\right)+S\left(1+K_c\right)M\right)^{p+q+M+1}} \tag{5}$$

pomoću $S = \Omega_d/\Omega_c$ biće predstavljen odnos srednje snage željenog signala i srednje snage ukupne interferencije (SIR), koja je korisna u određivanju redukcionog faktora ko-kanalne interferencije i oblasti pokrivenosti ćelijskog sistema., $\Gamma(x)$ označava gama funkciju [10]

Na osnovu [11], kumulativna funkcija raspodela (CDF) od λ se računa kao:

$$F_\lambda(t) = \int_0^t p_\lambda(x)\,dx \tag{6}$$

nakon zamene (5) u (6), dobijamo sledeći izraz:

$$F_\lambda(t) = \sum_{p=0}^{\infty}\sum_{q=0}^{\infty}\left[\frac{M^q K_d^p K_c^q \Gamma(p+q+M+1)}{e^{K_d+K_cM}\Gamma(p+1)\,p!\,\Gamma(q+M)\,q!} \times \frac{\left(\dfrac{\lambda\left(1+K_d\right)}{\left(\lambda\left(1+K_d\right)+S\left(1+K_c\right)M\right)}\right)^{p+1}}{p+1} \times {}_2F_1\left(p+1, 1-q-M; p+2; \frac{\lambda\left(1+K_d\right)}{\left(\lambda\left(1+K_d\right)+S\left(1+K_c\right)M\right)}\right)\right] \tag{7}$$

gde je sa ${}_2\mathrm{F}_1(a,b;c;\mathrm{x})$ je označena Gausova hipergeometrijska funkcija.

III. MERE PERFORMANSI

OP – verovatnoća otkaza (P_{out}) je važna mera performanse diverziti sistema u prisustvu fedinga. Naročito je značajna za razmatranje u celularnim sistemima, gde je CCI dominantna smetnja. Tada se definiše kao verovatnoća da primljeni nivo SIR-a ne dostigne vrednost praga γ dovoljnu za zadovoljavajući prijem. Pomoću kumulativne funkcije raspodele može biti određena kao:

$$P_{out} = P_R(\varsigma < \gamma) = \int_0^{\gamma} p_{\varsigma}(t)\,dt = P_{\varsigma}(\gamma) \tag{8}$$

Niz drugih mera performansi sistema se mogu odrediti na osnovu verovatnoće otkaza, poput redukcionog faktora ko-kanalne interferencije i oblasti pokrivenosti ćelijskog sistema.

U celularnim sistemima, ABER se može odrediti usrednjavanjem uslovne verovatnoće greške P_e po gustini verovanoće odnosa SIR [12-15]:

$$\bar{P}_e = \int_0^{\lambda} P_e(\lambda) p_{\lambda}(\lambda) d\lambda \tag{9}$$

Za prenose pomoću nekoherentne frekvencijske modulacije (NCFSK) ili diferencijalne koherentne modulacije (DPSK), uslovna verovatnoća greške za dati SIR, data je pomoću P_e =1/2 *exp* (-αλ), gde je α=1 za binarnu PSK, dok je α=1/2 za binarnu FSK. Posle zamene (5) u (9), koristeći [10] prethodni izraz se može napisati kao :

$$\bar{P}_e = \sum_{k=0}^{\infty}\sum_{l=0}^{\infty}\left[\frac{M^q K_d^p K_c^q \Gamma(p+q+M+1)}{2e^{K_d+K_c M}\, p!\,\Gamma(q+M)\,q!}\psi\left(p+1;-q-M;\frac{\alpha S(1+K_c)M}{\lambda(1+K_d)}\right)\right] \tag{10}$$

gde je pomoću ψ (*a*,*b*,*x*) označena konfluentna hipergeometrijske funkcije druge vrste [10].

IV. PRIMENA DIVERZITI TEHNIKA PRIJEMA

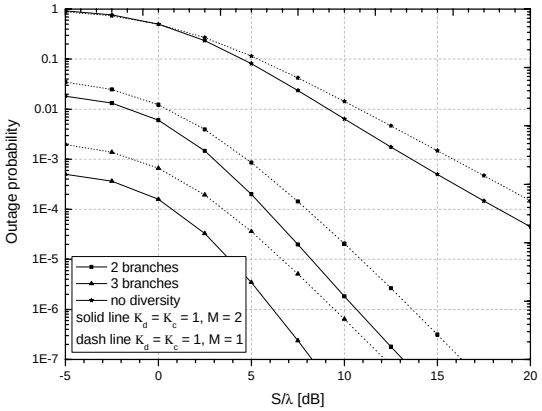
Upotrebom tehnika prostornog diveziti prijema postiže se smanjene štetnog uticaja fedinga i ko-kanalne interferencije na performase signala na prijemu. Prostorne diverziti tehnike poboljšavaju pouzdanost prenosa i kapacitet kanala bez povećanja snage prenosa i propusnog opsega. SC predstavlja prostornu diverziti tehniku sa najmanje kompleksnom praktičnom realizacijom. U celularnim sistemima gde je kok-kanalna interferencija dominantna smetnja, SC selektuju (odabira) granu sa najvećom trenutnom vrednošću odnosa SIR. Za slučaj kada razmatramo SC diverziti sistemu sa više nekorelisanih grana, PDF odnosa SIR na izlazu prijemnika se može odrediti pomoću:

$$p_{\lambda}(t) = \sum_{j=1}^{N} p_{\lambda_j}(t) \prod_{\substack{k=1 \\ k\neq j}}^{N} F_{\lambda_k}(t) \tag{11}$$

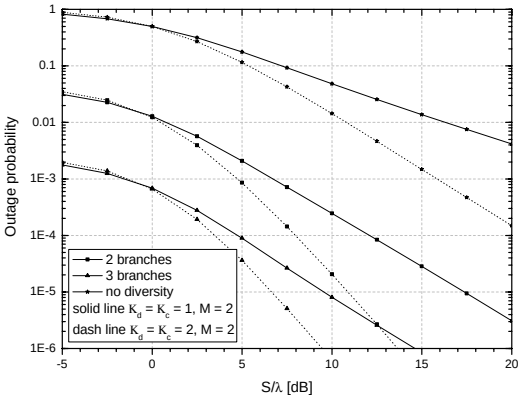
gde *N* označava broj grana.

V. NUMERIČKI REZULTATI

Verovatnoće otkaza u funkciji normalizovanog parametara S_1/γ za različite vrednosti broja ko-kanalnih interferencija, reda diverzitija i oštrine uticaja fedinga (Rajsovih faktora) su prikazane na Slici 1 i Slici 2.

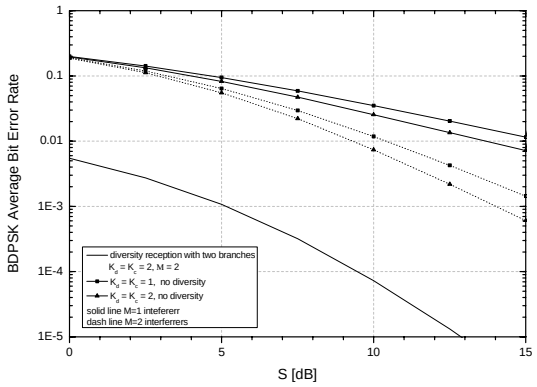


Slika 1. Verovatnoća otkaz u funkciji normalizovanog parametara S_1/γ za različite vrednosti reda diverzitija i broja ko-kanalnih interferencija



Slika 2. Verovatnoća otkaz u funkciji normalizovanog parametara S_1/γ za različite vrednosti reda diverzitija i oštrine uticaja fedinga (Rajsov *K* faktor)

Sa slika 1-2 možemo videti kako verovatnoća otkaza raste kada se broj višestrukih ko-kanalnih interferencija povećava zbog porasta uticaja interferencije. Evidentno je kako se verovatnoća otkaza opada sa smanjenjem jačine uticaja fedinga i porastom broja diverziti grana. Posmatrajući slučaj kada vrednosti Rajsovih faktora za željeni i totalni signal interferencije K_d i K_c porastu od $K_d = K_c = 1$ do $K_d = K_c = 2$ možemo uočiti da se performanse poboljšavaju za oko 2.5 dB u širokom opsegu zahtevanih verovatnoći prekida ($P_{out} = 10^{-1}$ - 10^{-4}). Sa Slike 1 možemo videti kako verovatnoća otkaza pri porastu ukupnog uticaja interferencija. Na primer, za slučaj prijema pomoću dve grane, uz prisustvo dva signala ko-kanalnih interferencija umesto jednog, degradiranje performansi je više od 3 dB. Slike 1-2 takođe prikazuju poboljšanje verovatnoće prekida sa povećenjem reda prijemnog diverzitija (broja grana). Slični zaključci se mogu izvesti za ABER prilikom prenosa upotrebom BDPSK modulacione tehnike, sa Slike 3.



Slika 3. ABEP u funkciji srednjeg odnosa SIR na prijemu pri prenosu BDPSK modulacijom za različite vrednosti parametara sistema

VI. ZAKLJUČAK

Analizirane su performanse bežičnog prenosa preko kanala sa Rajsovim fedingom, izloženog uticaju proizvoljnom broja Rajsovih ko-kanalnih interferencija. Izrazi u zatvorenom obliku su određeni za statističke karakteristike prvog reda signala na prijemu. Zatim su određeni izrazi u zatvorenom obliku za verovatnoću otkaza i srednju verovatnoće greška po bitu za slučajeve upotrebe nekih koherentnih i nekoherentnih frekvrencijskih i faznih digitalnih modulacionih tehnika. Razmatran je i uticaj SC diverziti prijema na poboljšanje performansi za različite vrednosti parametara sistema. Numerički dobijeni rezultati su grafički prikazani u cilju određivanja optimalnih vrednosti parametara sistema za postizanje zahtevanih nivoa kvaliteta servisa u parktičnim bežičnim aplikacijama.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva za nauku Republike Srbije u okviru projekta III-44006 i TR 32023

LITERATURA

[1] Stavroulakis, P. (2003). *Interference analysis and reduction for wireless systems*, Artech House, INC, London

[2] Brandao, A., Lopez, L., McLernon, C. (1994). Co-channel interference estimation for M ary PSK modulated signals. *IEEE Wireless Pers Commun*. 1(1), pp.23–32.

[3] Trigui, I. et.al. (2009). Performance Analysis of Mobile Radio Systems over Composite Fading/Shadowing Channels with Co-located Interferences. *IEEE Trans. on Wireless. Comm.*, vol. 8, no. 7 pp. 3449-53.

[4] Trigui, I. et.al. (2009). Outage Analysis of wireless Systems over Composite Fading/Shadowing Channels with Co-channel Interferences, *In Proceedings IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2009)*, Budapest, Hungary 5-8 April 2009.

[5] Simon, M. K., Alouini, M. S. (2005). *Digital communication over fading channels*. Wiley, New York, 2nd edn.

[6] Witrisal, K., Kim, Y.H., & Prasad, R. (2001). A new method to measure parameters of frequency-selective radio channels using power measurements. IEEE Trans. Commun., vol. 49, pp. 1788 – 1800, Oct. 2001.

[7] Corazza, G. E., & Vatalaro, F. (1994). A statistical model for land mobile satellite channels and its application to no geostationary orbit systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 43, no. 3, part 2, pp. 738–742, 1994.

[8] Wakana, H. (1991). A propagation model for land mobile satellite communications. In Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, vol. 3, pp. 1526–1529, London, Ont, Canada, June 1991.

[9] M. Milisic, M. Hamza, M. Hadzialic, "BEP/SEP and Outage Performance Analysis of L-BranchMaximal-Ratio Combiner for κ-μ Fading",International Journal of Digital Multimedia Broadcasting,2009,Volume 2009, Article ID 573404, pp 1-8.

[10] I. Gradshteyn, & I, Ryzhik. (1980). *Tables of Integrals, Series, and products*. Academic Press, New York, 1980.

[11] M. Stefanović, D. Drača, A. Panajotović, N. Sekulović, "Performance analysis of system with L-branch selection combining over correlated Weibull fading channels in the presence of cochannel interference", *International Journal of Communication Systems*, vol. 23, no. 2, pp. 139-150, Feb. 2010

[12] V. Milenković, N. Sekulović, M.Stefanović, M. Petrović, "Effect of Microdiversity and Macrodiversity on Average Bit Error Probability in Gamma Shadowed Rician Fading Channels", *ETRI Journal*, vol. 32, no. 3, pp. 464-467, Jun. 2010

[13] N. Sekulović, M. Stefanović, D. Denić, D. Aleksić, "Performance Analysis of SINR-Based Selection Diversity Over Correlated Rayleigh Fading Channels", *IET Communications*, vol. 5, no. 2, pp. 127-134, Jan. 2011.

[14] M. Stefanović, D. Milović, A. Mitić, M. Jakovljević, "Performance analysis of system with selection combining over correlated Weibull fading channels in the presence of cochannel interference", *AEU - International Journal of Electronics and Communications,* Vol. 62, Issue 9, pp. 695-700, October 2008.

[15] A.Cvetković, M. Stefanović, N.Sekulović, D. Milić, D. Stefanović, Z.Popović, "Second-order statistics of dual SC macrodiversity system over channels affected by Nakagami-*m* fading and correlated gamma shadowing", *Electrical Review* vol. 87, no. 6, pp. 284-288, Jun. 2011.

ABSTRACT

In this paper an approach to the performance analysis of wireless transmission over the Ricean fading channels experiencing an arbitrary number of multiple Ricean co-channel interferers is presented. Useful closed form expressions are derived for the probability density function (PDF) and cumulative distribution function (CDF), average error probabalities (ABEP) over some coherent and non-coherent frequency and phase- shift keying modulation schemes in interference limited system. Selection diversity reception effect on the performance improvement for various values of fading severity is also investigated.

Wireless transmissiom performance analysis over Ricean fading channels in the presence of multiple CCI

Stefan R. Panić, Petar Spalević, Branimir Jakšić, Ivana Petrović, Srdjan Jovković, Boško Radovanovic