

Analiza prijema SC makrodiverziti sistema sa tri grane u prisustvu Gama senke i Rajsovog fedinga

Nikola Simić, Marija Veljković, Milan Rakić

Katedra za telekomunikacije
Elektronski fakultet
Niš, Republika Srbija
simicnikola90@gmail.com; marija.elfak@yahoo.com; rakicelfak@gmail.com

Negovan Stamenković

Odsek za Informatiku,
Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Prištini,
Kosovska Mitrovica, Srbija
negovanstamenkovic@gmail.com

Zoran Todorović

Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Prištini,
Kosovska Mitrovica, Srbija
zorantodftn@yahoo.com

Sadržaj— U ovom radu data je analiza makrodiverziti sistema SC (Selection Combining) tipa koji se sastoji iz tri mikrodiverziti sistema MRC (Maximal Ratio Combining) tipa sa proizvoljnim brojem grana na ulazu. Ulazne grane makrodiverziti kombajnera su korelisane u prisustvu senke koja je modelovana Gama modelom, dok je anvelopa signala izložena uticaju fedinga koji se modeluje Rajsovom raspodelom. Dobijeni su izrazi u zatvorenom obliku za funkciju gustine verovatnoće (PDF-Probability Density Function) sistema kao i kumulativnu funkciju raspodele (CDF-Cumulative Distribution Function) na prijemu. Verovatnoća otkaza (Outage Probability) makrodiverziti sistema je razmatrana, u cilju određivanja uticaja različitih parametara sistema, poput nivoa korelisanosti, reda diverzitija i oštine uticaja fedinga i senke na performance prijema.

Ključne riječi- makrodiverziti prijem; Rajsov feding; Gama senka; SC kombinovanje; MRC kombinovanje.

I. UVOD

Propagacija signala u bežičnim komunikacionim kanalima, odvija se u okruženju u kome je prisutan veliki broj prepreka, od kojih mnoge mogu biti pokretne. Pojave refleksije signala kao i refrakcije i difrakcije na raznim objektima u propagacionom okruženju, uzrokuju prostiranje signala po velikom broju različitih putanja. Stoga je na ulazu prijemnika prisutan veliki broj replika poslatog signala, sa različitim faznim pomerajem, slabljenjem i kašnjenjem, čijom se superpozicijom dobija signal vremenski promenljive amplitude. Ova pojava brze fluktuacije anvelope signala na prijemu naziva se brzi feding [1,2]. U bežičnim

komunikacionim sistemima takodje dolazi i do sporijih fluktuacija nivoa srednje snage signala. Ova pojava predstavlja spori feding, odnosno efekat senke, a posledica je uticaja samog propagacionog okruženja signala (vegetacija, visoke zgrade...). Ukupni feding u kanalu predstavlja kompleksnu kombinaciju brzog i sporog fedinga.

Performanse sistema degradirane uticajem fedinga, poboljšavaju se primenom diverziti tehnika, bez povećanja snage prenosa i širine propusnog opsega [3]. Jedan od najefikasnijih načina za poboljšanje pouzdanosti prenosa ostvaruje se primenom tehnika prostornog diverzitija. Za suzbijanje uticaja brzog fedinga, u pojedinačnim baznim stanicama mobilnih komunikacionih sistema primenjuje se mikrodiverziti sistem, koji se realizuje preko niza razdvojenih prijemnih antena. Pri tome za modelovanje prenosa signala se najčešće primenjuje neka od sledećih raspodela: Rejljeva, Rajsova, Nakagami-q, Nakagami-m ili Vejbulova raspodela..

Najčešće korišćene diverziti tehnike kombinovanja su : SC (Selection Combining), MRC (Maximal Ratio Combining) i EGC (Equal Gain Combining). Selektivno kombinovanje je jedna od najjednostavnijih metoda kombinovanja i realizuje se biranjem grane sa najpovoljnijim odnosom signal-šum (SNR, Signal to Noise Ratio). MRC metoda je najsloženija za realizaciju, ali daje najbolje rezultate. Ova metoda se zasniva na kombinovanju sa maksimalnim odnosom snaga signal-šum. EGC je metoda kombinovanja sa jednakim doprinosom svih grana.

U ovom radu razmatra se Rajsov feding, koji se primenjuje kod prenosa signala u prigradskim i međugradskim zonama. Ova vrsta fedinga odnosi se na brze slučajne fluktuacije anvelope prijemnog signala u slučaju kada između predajne i prijemne antene postoji linija optičke vidljivosti (*LoS-Line of Sight*). Značajnu primenu Rajsov model fedinga ima i kod modelovanja kanala kod satelitskih komunikacionih sistema [4], gde se koristi za precizan model mobilnog satelitskog kanala kada je kanal slobodan ili u zauzeću [5, 6]. Efekat senke se najčešće modeluje log-normalnom ili gama raspodelom. U ovom radu se na makro nivou razmatra uticaj Gama senke [7].

Makrodiverziti sistem se primenjuje za otklanjanje uticaja sporog fedinga, pri čemu se primenjuje tehnika simultanog kombinovanja signala sa izlaza iz mikrodiverziti sistema većeg broja prostorno raspoređenih baznih stanica [8].

Biće izložena analiza makrodiverziti sistema SC (Selection Combining) tipa koji se sastoji iz tri mikrodiverziti sistema MRC (Maximal Ratio Combining) tipa sa proizvoljnim brojem grana na ulazu. Odrediće se izrazi u zatvorenom obliku za funkciju gustine verovatnoće (PDF-Probability Density Function) sistema kao i kumulativnu funkciju raspodele (CDF-Cumulative Distribution Function) na prijemu, a zatim na osnovu njih će biti određene neke mere performansi sistema, kao i uticaj različitih parametara sistema, poput nivoa korelisanosti, reda diverzitija i oštine uticaja fedinga i senke na performance prijema.

II. MODEL SISTEMA

Razmatramo bežični komunikacioni sistem koji se sastoji iz tri mikrodiverziti sistema sa proizvoljnim brojem grana L . Diverziti sistemi na mikro nivou su MRC tipa i podvrgnuti su uticaju Rajsovog fedinga dok je makrodiverziti sistem SC tipa. Smatramo da su grane na makro nivou podvrgnute uticaju Gama senke. Rezultujući signal na izlazu MRC kombajnera sa L grana i -te bazne stanice ($i=1,2,3$) je:

$$R_i = \sum_{j=1}^L r_{ij} \quad (1)$$

gde je r_{ij} anvelopa signala j -te grane diverziti sistema i -te bazne stanice. Pretpostavljajući da su anvelope statistički nezavisne u prenosnom medijumu sa dominantnom LoS komponentom, R_i možemo opisati pomoću Rajsove raspodele [9]:

$$p_{R_i}(R_i / y_i) = \frac{K+1}{y_i} \exp\left(-\frac{(K+1)R_i}{y_i} - KL\right) \times \left(\frac{(K+1)R_i}{K \cdot L \cdot y_i}\right)^{\frac{L-1}{2}} I_{L-1}\left(2\sqrt{\frac{KL(K+1)R_i}{y_i}}\right), \quad i=1,2,3. \quad (2)$$

gde je $K = \frac{A^2}{2\sigma^2}$ i predstavlja Rajsov faktor definisan kao

odnos snage dominantne komponente signala i rasejane snage. U prethodnom izrazu y_i srednju snagu signala po grani bazne stanice dok $I_n(x)$ predstavlja modifikovanu Beselovu funkciju prve vrste n -tog reda [10]. Smatrajući da je korelacija između grana na mikro nivou toliko mala da je zanemarljiva uz pretpostavku da su slučajne promenljive y_i podjednako raspodeljene, združena gustina verovatnoće srednjih snaga svih signala na ulazu je [11]:

$$p_{y_1 y_2 \dots y_L}(y_1 y_2 \dots y_L) = \frac{y_1^{\frac{c-1}{2}} y_L^{\frac{c-1}{2}}}{\rho^{\frac{c-1}{2}(L-1)} (1-\rho)^{L-1} y_0^{L+c-1} \Gamma(c)} \times \exp\left(-\frac{y_1 + y_L + (1+\rho)\sum_{i=2}^{L-1} y_i}{y_0(1-\rho)}\right) \times \prod_{i=1}^{L-1} I_{c-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}}{y_0(1-\rho)}\sqrt{y_i y_{i+1}}\right), \quad L=3 \quad (3)$$

gde je ρ koeficijent korelacije između grana na makro nivou, c predstavlja oštrinu uticaja Gama senke a y_i su promenljive snage na ulazu mikro kombajnera. Nakon procesiranja signala na mikro i makro nivou funkcija gustine verovatnoće (PDF) se definiše sa [12]:

$$p_R(R) = \int_0^\infty dy_1 \int_0^{y_1} dy_2 \int_0^{y_2} p_{R_1}(R/y_1) p_{y_1 y_2 y_3}(y_1 y_2 y_3) dy_3 + \int_0^\infty dy_2 \int_0^{y_2} dy_1 \int_0^{y_2} p_{R_2}(R/y_2) p_{y_1 y_2 y_3}(y_1 y_2 y_3) dy_3 + \int_0^\infty dy_3 \int_0^{y_3} dy_1 \int_0^{y_3} p_{R_3}(R/y_3) p_{y_1 y_2 y_3}(y_1 y_2 y_3) dy_3 \quad (4)$$

dok se kumulativna funkcija gustine raspodele signala (CDF) definiše kao [12]:

$$F_R(R) = \int_0^\infty dy_1 \int_0^{y_1} dy_2 \int_0^{y_2} F_{R_1}(R/y_1) p_{y_1 y_2 y_3}(y_1 y_2 y_3) dy_3 + \int_0^\infty dy_2 \int_0^{y_2} dy_1 \int_0^{y_2} F_{R_2}(R/y_2) p_{y_1 y_2 y_3}(y_1 y_2 y_3) dy_3 + \int_0^\infty dy_3 \int_0^{y_3} dy_1 \int_0^{y_3} F_{R_3}(R/y_3) p_{y_1 y_2 y_3}(y_1 y_2 y_3) dy_3 \quad (5)$$

gde je:

$$F_{R_i}(R_i / y_i) = \int_0^{R_i} P_{R_i}(R_i / y_i) dR_i \quad (6)$$

kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz MRC prijemnika.

Zamenom izraza (2) i (3) u (4), uzimajući zbog jednostavnosti da je $K_1=K_2=K_3=K$, $L_1=L_2=L_3=L$, $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho$ i $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c$, dobijamo analitički oblik funkcije gustine verovatnoće signala na izlazu sistema:

$$p_R(R) = 6 \sum_{j=0}^{+\infty} \sum_{s=0}^{+\infty} \sum_{w=0}^{+\infty} \sum_{g=0}^{+\infty} \sum_{t=0}^{+\infty} \frac{\exp(-KL)}{\Gamma(c)\Gamma(j+L)j!\Gamma(s+c)s!} \cdot \frac{1}{\Gamma(w+c)w!(s+w+c)(w+c)(s+w+c+1)_g(w+c+1)_t} \cdot (K+1)^{\frac{1}{2}(6+g+j+2s+t+2w)} \cdot R^{\frac{1}{2}(4+g+j+2s+t+2w)} \cdot (KL)^j \cdot \rho^{s+w} \cdot (1-\rho)^{\frac{1}{2}(-4-g-j-2s-t-2w)} \cdot (y_0)^{\frac{1}{2}(-3g+j-3(2+2s+t+2w))} \cdot (1+\rho)^g \left(\frac{1}{3+\rho}\right)^{\frac{2s+3c+2w+g+t-j-L}{2}} \cdot K_{2s+3c+2w+g+t-j-L} \left(2\sqrt{\frac{(3+\rho)(K+1)R}{(1-\rho)y_0}}\right) \quad (7)$$

gde je $K_\nu(\cdot)$ modifikovana Beselova funkcija druge vrste a $(x)_n$ Pochamerova funkcija [20].

Kumulativnu gustinu raspodele signala na izlazu sistema dobijamo nakon zamene izraza (2), (3) i (6) u (5). Zamenom izraza, smatrajući da je sistem simetričan dobija se:

$$F_R(R) = 6 \sum_{j=0}^{+\infty} \sum_{g=0}^{+\infty} \sum_{s=0}^{+\infty} \sum_{w=0}^{+\infty} \sum_{e=0}^{+\infty} \sum_{z=0}^{+\infty} \exp(-KL) \cdot [R(K+1)]^{\frac{1}{2}(5+e+g+j+2s+2w+z)} (KL)^j \frac{1}{\Gamma(j+L)j!} \cdot \frac{1}{L+j} \cdot \frac{1}{(L+j+1)_g} \cdot \rho^{s+w} \cdot \frac{1}{(1-\rho)^{\frac{1}{2}(3+e+g+j+2s+2w+z)}} \cdot \frac{1}{(y_0)^{\frac{1}{2}(5+e+g+j+2s+2w+z)}} \cdot \frac{1}{\Gamma(c)\Gamma(s+c)s!\Gamma(w+c)w!} \cdot \frac{1}{(s+w+c)(w+c)(s+w+c+1)_e(w+c+1)_z} \cdot (1+\rho)^e$$

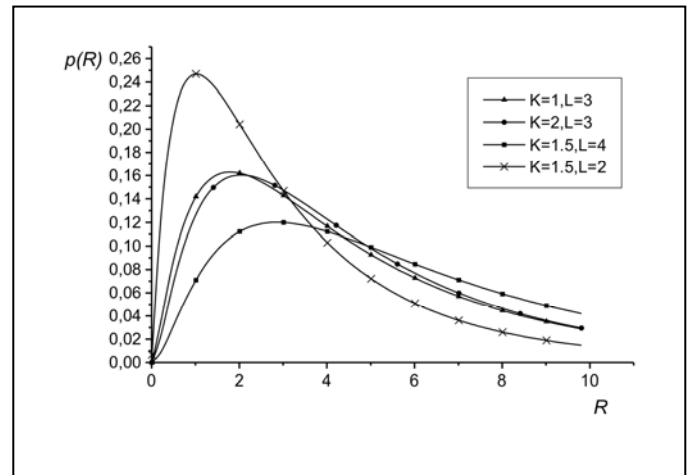
$$\times \left(\frac{1}{\rho+3}\right)^{\frac{2s+3c-j-L-g+2w+e+z-1}{2}} \times K_{2s+3c-j-L-g+2w+e+z-1} \left(2\sqrt{\frac{3+\rho}{y_0(1-\rho)}}(K+1)R\right) \quad (8)$$

Verovatnoća otkaza (*Outage probability, OP, P_{out}*) je standardna mera performansi bežičnih sistema koji radi preko feding kanala. Verovatnoća otkaza, P_{out} se definiše kao verovatnoća da postignuti nivo signala na prijemu bude manji od vrednosti praga γ dovoljnog za zadovoljavajući prijem. Verovatnoća otkaza pomoću funkcije kumulativne raspodele može biti određena:

$$P_{out} = P_R(\zeta < \gamma) = \int_0^\gamma p_\zeta(t) dt = P_\zeta(\gamma) \quad (9)$$

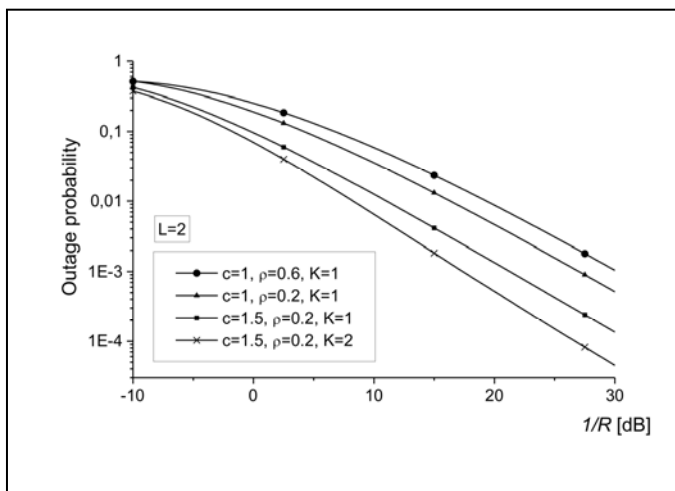
III. NUMERIČKI REZULTATI

Funkcija gustine verovatnoće izlaznog signala prikazana je na Sl.1 za različite vrednosti parametara sistema.



Slika 1. Funkcija gustine verovatnoće na izlazu diverziti sistema

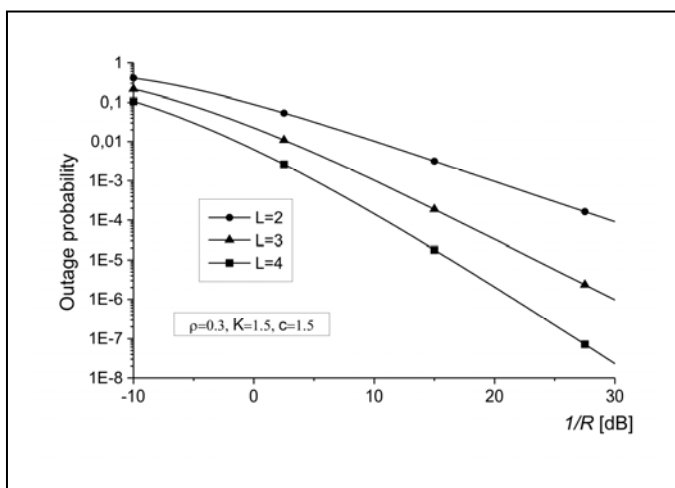
Na Sl. 2 je prikazana verovatnoća otkaza sistema kada na svakom mikrodiverziri kombajneru imamo po dve ulazne grane u zavisnosti od koeficijenta korelacije na mikro nivou i različitih parametara fedinga.



Slika 2. Verovatnoća otkaza (Outage probability) sistema u zavisnosti od koeficijenta korelacije i parametara fedinga

Posmatrajući Sl. 2 jasno se može uočiti da sa povećanjem koeficijenta korelacije ρ između grana na makro nivou dolazi do povećavanja verovatnoće otkaza sistema, tj. do pogoršanja performansi. Pored toga može se uočiti da sa povećavanjem parametra c , tj. smanjenjem oštine senke kao i sa povećanjem parametra K Rajsovog fedinga dolazi do smanjenja verovatnoće otkaza, pa samim tim i do poboljšanja performansi čitavog sistema. Kako je i očekivano, sistem ima bolje performanse za slučaj većih snaga signala na ulazu u MRC prijemnik, međutim evidentno je da i tada verovatnoća otkaza ima relativno visoke vrednosti.

Na Sl. 3 prikazana je verovatnoća otkaza sistema u zavisnosti od broja ulaznih grana L na mikro nivou.



Slika 3. Verovatnoća otkaza (Outage probability) sistema u zavisnosti od broja ulaznih grana na mikro nivou

Sa Sl. 3 se uočava da sa povećanjem broja ulaznih grana na mikro nivou dolazi do značajnog smanjenja verovatnoće otkaza sistema. U slučaju kada na ulazu mikro kombajnera postoje 3,

odnosno 4 antene, dobijaju se vrednosti verovatnoće otkaza reda 10^{-3} , odnosno 10^{-4} pri vrednosti $1/R=15$ dB respektivno.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su karakteristike prijema selektivnog makrodiverziti sistema u prisustvu Rajsovog fedinga na ulaznim granama mikrodiverziti sistema kada je sistem izložen uticaju Gama senke. Razmatran je uticaj različitih parametara sistema na ponašanje njegovih performansi prijema.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva za prosvetu nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije u okviru projekta TR 32009.

LITERATURA

- [1] Stuber, G. Principles of Mobile Communication. Boston, Kluwer Academic Publishers; 2000.
- [2] Simon, MK., & Alouini, M-S. Digital Communication over fading channels. New York, Wiley, 2000.
- [3] Neasmith, EA., & Beaulieu, NC. "New Results in selection diversity." *IEEE Trans Commun* 1998, 46,695-704
- [4] Witrisal, K., Kim, Y.H., & Prasad, R. "A new method to measure parameters of frequency-selective radio channels using power measurements". *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, pp. 1788 - 1800, Oct. 2001.
- [5] Corazza, G. E., & Vatalaro, F. "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.
- [6] Wakana, H. "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.
- [7] 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.
- [8] D. Stefanović, S. Panić, P. Spalević, "Second Order Statistics of SC Macrodiversity System Operating over Gamma Shadowed Nakagami- m fading channels", *International Journal of Electronics and Communications (AEU)*, Volume 65, Issue 5, May 2011, Pages 413-418
- [9] J. Zhang and V. Aalo, "Effect of macrodiversity on average-error probabilities in a Rician fading channel with correlated lognormal shadowing," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, no. 1, pp. 14-18, Jan. 2001.
- [10] I. Gradshteyn, & I. Ryzhik. (1980). *Tables of Integrals, Series, and products*. Academic Press, New York, 1980.
- [11] N. Sekulovic, M. Stefanovic, "Performance Analysis of System with Micro- and Macrodiversity Reception in Correlated Gamma Shadowed Rician Fading Channels", *Wireless Personal Communications*, (2012), vol. 65 no. 1, pp. 143-156
- [12] S. Panić, et al, "Second order statistics of selection macro-diversity system operating over Gamma shadowed $k-\mu$ fading channels", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol 2011, no. 151, pp. 1-7

ABSTRACT

In this paper an analysis of selection combining (SC) macrodiversity system which consists of three maximal ratio combining (MRC) microdiversity systems with an arbitrary number of branches at the entrance will be presented. At macrolevel input branches are correlated in the presence of shadowing modeled by Gamma long-term model, while signal envelope is exposed to short-term fading modeled by Rician model. Closed form results are obtained for the Probability Density Function (PDF) and Cumulative

distribution function (CDF) at the reception. Outage Probability (OP) of macrodiversity system was observed, in order to determine the influence of different parameters such as correlation level, diversity order and fading and shadowing severity on reception performances.

Analysis of the SC macrodiversity reception in the presence of Gamma shadowed Rician fading

Nikola Simić, Marija Veljković, Milan Rakić, Negovan Stamenković, Zoran Todorović