

Performanse SC prijemnika u Rajsovom feding kanalu sa Nakagami- m interferencom

Hana Stefanović, Ivana Stefanović

Elektronika i telekomunikacije

Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija

Beograd, Srbija

e-mail adresa: hanapopstefanovic@yahoo.com

ivanas@viser.edu.rs

Dejan Milić, Dimitrije Stefanović

Telekomunikacije

Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu

Niš, Srbija

e-mail adresa: dejan.milic@elfak.ni.ac.rs

vule@elfak.ni.ac.rs

Sadržaj—U ovom radu predložena je optimizacija Rajsovog feding kanala za slučaj delovanja interferirajućih signala na liniji direktne optičke vidljivosti (LoS), koji su modelovani Nakagami- m raspodelom. U cilju poboljšanja performansi sistema korišćena je diverziti tehnika se selektivnim kombinovanjem (SC) signala na prijemu. Analiziran je sistem sa dve diverziti grane, a kao mera performansi opisanog sistema određena je srednja vrednost izlaznog odnosa signal-interferenca (SIR), u zavisnosti od relevantnih parametara, kao što su dubina fedinga i odnos snaga direktne i reflektovanih komponenti, uz odgovarajuće grafičke prezentacije. Posebna pažnja posvećena je slučaju kada se dubina fedinga i snaga interferirajućih signala u diverziti granama razlikuju, što je slučaj koji se češće sreće u praksi.

Ključne reči—Rajsov feding kanal; Nakagami- m raspodela; odnos signal-interferenca (SIR); selektivno kombinovanje (SC) signala; diverziti prijemnik; funkcija gustine verovatnoće (pdf); kumulativna funkcija verovatnoće (cdf)

I. UVOD

Kvalitet prenosa i pouzdanost veze u bežičnim mobilnim telekomunikacionim sistemima uslovljeni su u velikoj meri pojavom fedinga [1]. U višepropagacionim okruženjima analiza statističkih karakteristika anvelope prijemnog signala vrlo je važna u procesu razvoja i planiranja mobilnih radio mreža, kao i u cilju izbora odgovarajuće tehnike prenosa [2]. Za modelovanje prenosa signala u višepropagacionim okruženjima najčešće se koriste: Rejljeva, Rajsova, Nakagami- m , Nakagami- q i Vejbulova raspodela [3]. Primena konkretnog modela uslovljena je specifičnostima propagacionog okruženja. Rejljev model kanala koristi se u situacijama kada ne postoji direktna linija optičke vidljivosti (line of sight – LoS) između predajnika i prijemnika, što je tipično za urbana okruženja. U međugradskim zonama i prigradskim oblastima koristi se Rajsov model, koji uključuje postojanje LoS komponente. Variranja trenutne snage prijemnog signala u urbanim sredinama mogu se dosta dobro opisati i Nakagami- m raspodelom [4], [5]. Vejbulov model takođe daje dosta dobre rezultate, naročito prilikom propagacije u urbanim sredinama u situacijama kada Rejljev model ne daje zadovoljavajuće rezultate. Efekat senke u feding kanalima podrazumeva fluktuacije nivoa srednje snage signala, što je karakteristično za veće propagacione oblasti [6]. Ovakve fluktuacije najčešće se modeluju log-normalnom ili gama raspodelom [7].

U cilju poboljšanja performansi sistema u slučaju delovanja fedinga koriste se različite metode, a najčešće upotrebljavane su diverziti tehnike [1], [3]. Diverziti prenos zasnovan je na principu korišćenja većeg broja kopija poslatog signala, koje su statistički nezavisne. Najčešće korišćene tehnike kombinovanja signala nakon primene diverziti tehnike su: Selection Combining (SC) – selektivno kombinovanje koje podrezumeva izbor grane sa najpovoljnijim odnosom signal-šum, Maximum Ratio Combining (MRC) – kombinovanje sa maksimalnim odnosom snaga signal-šum, Equal Gain Combining (EGC) – kombinovanje sa jednakim doprinosom svih grana, Switch and Stay Combining (SSC) – prosto preklapničko kombinovanje, kao i različite hibridne tehnike kombinovanja signala koje podrazumevaju upotrebu više prethodno navedenih tehnika kombinovanja.

U bežičnim komunikacionim sistemima interferirajući signal često predstavlja vrlo značajnu smetnju, tako da se u nekim slučajevima uticaj ostalih smetnji, u poređenju sa uticajem interference, može zanemariti [8]. Uticaj interferirajućeg signala takođe može biti redukovano upotrebom diverziti tehnike [9], [10]. U takvom okruženju selekcija diverziti prijemnika zavisna je, ne od odnosa signal-šum (SNR), nego od odnosa signal-interferenca (SIR). Osim optimizacije u slučaju delovanja interference, diverziti tehnika daje dosta dobre rezultate i u slučaju kada je osim efekta višestrukih propagacija prisutan i efekat senke [11], [12].

Najčešće korišćeni pokazatelji performansi diverziti prijemnika u feding okruženjima su srednja vrednost izlaznog SNR ili SIR odnosa, kao i verovatnoća otkaza sistema (P_{out}) i verovatnoća greške po bitu (BER). Pošto je proračun svih pokazatelja performansi zavistan od funkcije gustine verovatnoće prijemnog signala (pdf), važno je odrediti specifičnosti ove funkcije za dato propagaciono okruženje. Integracijom pdf izračunava se kumulativna funkcija verovatnoće (cdf), kojom je, za određenu vrednost praga, definisana verovatnoća otkaza sistema.

U ovom radu analiziran je Rajsov feding kanal u prisustvu interferirajućih signala opisanih Nakagami- m raspodelom, što odgovara situaciji kada između predajnika i prijemnika osim reflektovanih postoji i izražena direktna LoS komponenta, koja je dodatno ometana interferirajućim signalima, statistički opisanim Nakagami- m raspodelom. Posle uvodnog poglavlja,

opisan je model ovakvog komunikacionog sistema i ukratko iznete opšte karakteristike, zatim su analitički određeni izrazi koji opisuju anvelopu signala na prijemu, što je prezentovano u drugom poglavlju rada. U trećem poglavlju su razmotreni aspekti poboljšanja performansi sistema primenom diverziteti prenosa, uz upotrebu SC tehnike kombinovanja signala na prijemu. Tehnika selektivnog kombinovanja primenjena je iz razloga što je najjednostavnija za praktičnu implementaciju, iako su performanse postignute primenom ove tehnike nešto lošije nego u slučaju upotrebe drugih tehnika kombinovanja signala. Statističke karakteristike signala na izlazu SC prijemnika određene su analitički, a takođe je dat i grafički prikaz ovih rezultata. Kao mera performansi opisanog sistema određena je srednja vrednost izlaznog odnosa signal-interferenca (SIR), u zavisnosti od relevantnih parametara, uz odgovarajuće grafičke prezentacije. Zaključna razmatranja izneta u četvrtom poglavlju, a na kraju rada dat je pregled korišćene literature.

II. MODEL KOMUNIKACIONOG SISTEMA

Komunikacioni sistem analiziran u ovom radu odgovara situaciji kada između predajnika i prijemnika, osim reflektovanih, postoji i dominantan direktni radio talas, s tim što su na LoS putanji prisutni interferirajući signali koji ometaju prijem. Slučaj prenosa signala direktnim radio talasom koji je u većoj ili manjoj meri dominantan u odnosu na reflektovane komponente opisan je Rajsovim modelom kanala. Smetnje na liniji direktne optičke vidljivosti u predloženom radio-komunikacionom sistemu, modelovane Nakagami- m raspodelom.

Anvelopa signala r opisana Rajsovim modelom ima raspodelu određenu pdf funkcijom [1]:

$$p_r(r/b) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{r^2+b^2}{2\sigma^2}\right) \cdot I_0\left(\frac{r \cdot b}{\sigma^2}\right) \quad (1)$$

pri čemu je σ standardna devijacija, Rajsov K parametar predstavlja odnos snaga direktne i reflektovanih komponenti $b^2/(2\sigma^2)$, a $I_0(\cdot)$ je Beselova funkcija nultog reda prve vrste.

Anvelopa interferirajućeg signala na direktnoj LoS liniji opisana je Nakagami- m raspodelom, čija je pdf [4]:

$$p_b(b) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m b^{2m-1} \cdot \exp\left(-\frac{m}{\Omega} b^2\right), m \geq \frac{1}{2} \quad (2)$$

pri čemu je $\Gamma(\cdot)$ gama funkcija, parametar m određuje dubinu fedinga (fading figure) i definisan je kao:

$$m = E^2[b^2] / \text{Var}[b^2] \quad (3)$$

dok parametar Ω predstavlja snagu signala i definisan je kao:

$$\Omega = E[b^2] \quad (4)$$

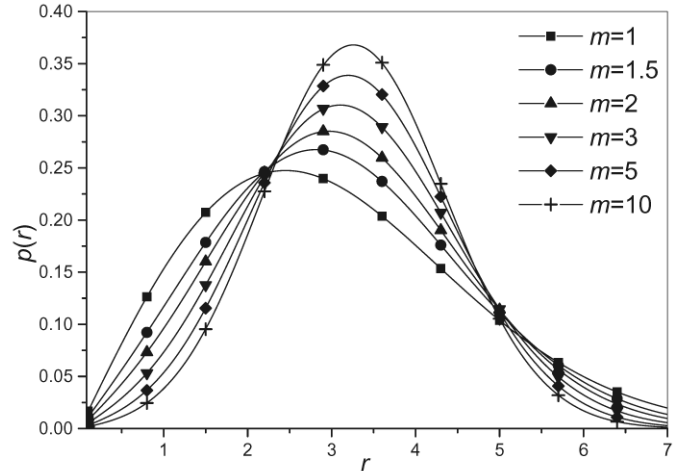
Na osnovu toga, pdf anvelope prijemnog signala za slučaj ovako modelovanog sistema, izračunava se kao:

$$p_r(r) = \int_0^\infty p_r(r/b) p_b(b) db \quad (5)$$

Analički izraz za pdf anvelope prijemnog signala dobijen je integracijom (5) nakon razvoja Beselove funkcije u red [13]:

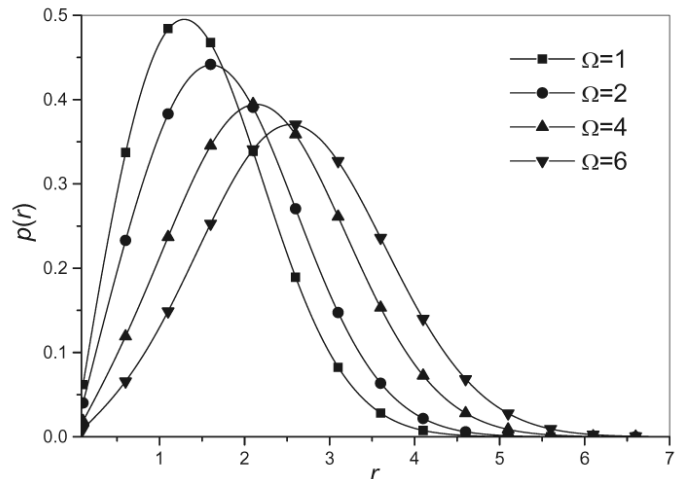
$$p_r(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \cdot \int_0^\infty b^{2m-1} e^{-b^2\left(\frac{1}{2\sigma^2} + \frac{m}{\Omega}\right)} \sum_{i=0}^\infty \frac{(r \cdot b)^{2i}}{\sigma^{4i} 2^{2i} i! \Gamma(i+1)} db = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \sum_{i=0}^\infty \frac{r^{2i} \Gamma(m+i)}{\sigma^{4i} 2^{2i} i! \Gamma(i+1) \left(\frac{1}{2\sigma^2} + \frac{m}{\Omega}\right)^{m+i}} \quad (6)$$

Uticaj parametra m na pdf anvelope prijemnog signala prezentovan je na Sl.1. Može se zaključiti da povećanje parametara m rezultuje povećanjem vrednosti maksimuma pdf funkcije, kao i da se ti maksimumi dostižu za veće vrednosti nivoa signala, što je praćeno sužavanjem opsega krive.



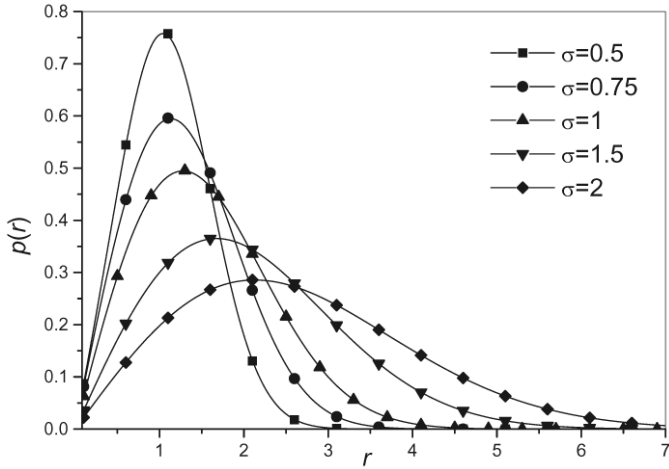
Slika 1. Pdf anvelope prijemnog signala za različite vrednosti parametra m

Uticaj srednje snage signala smetnji na liniji optičke vidljivosti prikazan je na Sl.2. Zaključak je da povećanje parametra snage rezultuje smanjenjem vrednosti maksimuma pdf funkcije, kao i da se ti maksimumi dostižu za veće vrednosti nivoa signala, što je praćeno širenjem opsega krive.



Slika 2. Pdf anvelope prijemnog signala za različite vrednosti parametra Ω

Uticaoj vrednosti odnosa snage direktne i reflektovanih komponenti talasa razmotren je variranjem parametra σ , što je grafički prezentovano na Sl.3. Može se zaključiti da povećanje parametra σ rezultuje smanjivanjem vrednosti maksimuma pdf funkcije, kao i da se ti maksimumi dostižu za veće vrednosti nivoa signala, što takođe rezultuje širenjem opsega krive.



Slika 3. Pdf anvelope signala na izlazu SC prijemnika za različite vrednosti parametra σ

Analitički izraz za cdf anvelope prijemnog signala određen je integracijom pdf date sa (6):

$$F_r(r) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\Gamma(m+i) \cdot \gamma\left(i+1, \frac{r^2}{2\sigma^2}\right)}{\sigma^{2i} 2^i i! \Gamma(i+1) \left(\frac{1}{2\sigma^2} + \frac{m}{\Omega}\right)^{m+i}} \quad (7)$$

pri čemu je $\gamma(\cdot)$ nekompletna gama funkcija [13].

III. PRIMENA DIVERZITI TEHNIKE SA SC KOMBINOVANJEM

U cilju poboljšanja performansi sistema primenjena je tehnika diverziti prenosa [1], uz selektivno kombinovanje signala na prijemu, što podrazumeva izbor diverziti grane sa trenutno najvećom vrednošću odnosa SNR ili SIR. Uz pretpostavku da je snaga šuma i/ili interference ulaznih grana diverziti sistema ista, izraz za anvelopu izlaznog signala određuje se kao:

$$r = \max(r_1, r_2, \dots, r_L) \quad (8)$$

pri čemu su $r_i, i=1,2,\dots,L$ anvelope signala na ulazu u SC prijemnik. a L je broj diverziti grana. Pdf anvelope signala na izlazu iz SC kombinera se izračunava kao [1]:

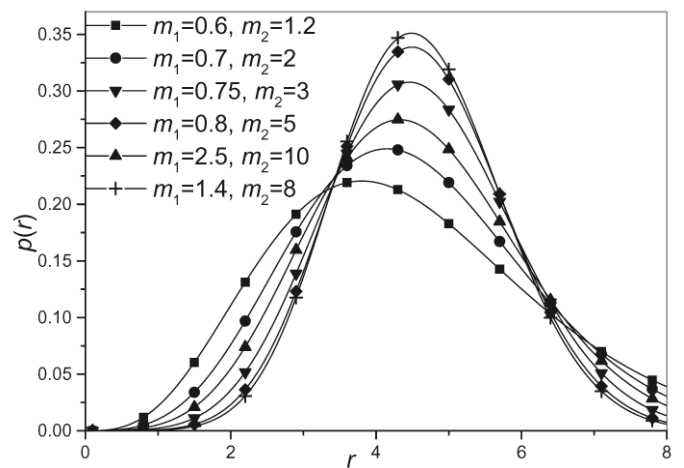
$$p_r(r) = \sum_{i=1}^L p_{r_i}(r) \prod_{j=1, j \neq i}^L F_{r_j}(r) \quad (9)$$

U radu je analiziran SC kombinera sa dve grane, pri čemu su anvelope signala r_1 i r_2 na ulazu u kombinera određene sa (6). Standardna devijacija, srednja snaga signala i parametar dubine fedinga za ove signale su σ_1, Ω_1 i m_1 i σ_2, Ω_2 i m_2 , respektivno. Anvelopa signala na izlazu iz kombinera određena je funkcijom gustine verovatnoće:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= p_{r_1}(r) F_{r_2}(r) + p_{r_2}(r) F_{r_1}(r) = \\ &= \frac{r}{\sigma_1^2} \cdot e^{-\frac{r^2}{2\sigma_1^2}} \cdot \frac{1}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{r^{2i} \Gamma(m_1+i)}{\sigma_1^{2i} 2^i i! \Gamma(i+1) \left(\frac{1}{2\sigma_1^2} + \frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1+i}} \\ &\quad + \frac{1}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\Gamma(m_2+i) \cdot \gamma\left(i+1, \frac{r^2}{2\sigma_2^2}\right)}{\sigma_2^{2i} 2^i i! \Gamma(i+1) \left(\frac{1}{2\sigma_2^2} + \frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2+i}} + \\ &\quad + \frac{r}{\sigma_2^2} \cdot e^{-\frac{r^2}{2\sigma_2^2}} \cdot \frac{1}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{r^{2i} \Gamma(m_2+i)}{\sigma_2^{2i} 2^i i! \Gamma(i+1) \left(\frac{1}{2\sigma_2^2} + \frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2+i}} \\ &\quad + \frac{1}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\Gamma(m_1+i) \cdot \gamma\left(i+1, \frac{r^2}{2\sigma_1^2}\right)}{\sigma_1^{2i} 2^i i! \Gamma(i+1) \left(\frac{1}{2\sigma_1^2} + \frac{m_1}{\Omega_1}\right)^{m_1+i}} \end{aligned} \quad (10)$$

Integracijom (10) dobija se cdf anvelope signala na izlazu iz kombinera, kojom je, za određenu vrednost praga, definisana verovatnoća otkaza sistema.

Grafički prikaz pdf anvelope signala na izlazu iz SC kombinera dat je na Sl.4, za različite vrednosti parametra dubine fedinga u diverziti granama. Može se zaključiti da povećanje, odnosno smanjenje parametara dubine fedinga m_1 i m_2 u diverziti granama, rezultuje povećanjem, odnosno smanjenjem vrednosti maksimuma pdf anvelope signala na izlazu iz kombinera. Najveće vrednosti maksimuma ostvarene su za najveće vrednosti m_1 i m_2 , što je praćeno sužavanjem opsega funkcije i porastom nivoa signala koji odgovara maksimumu funkcije.



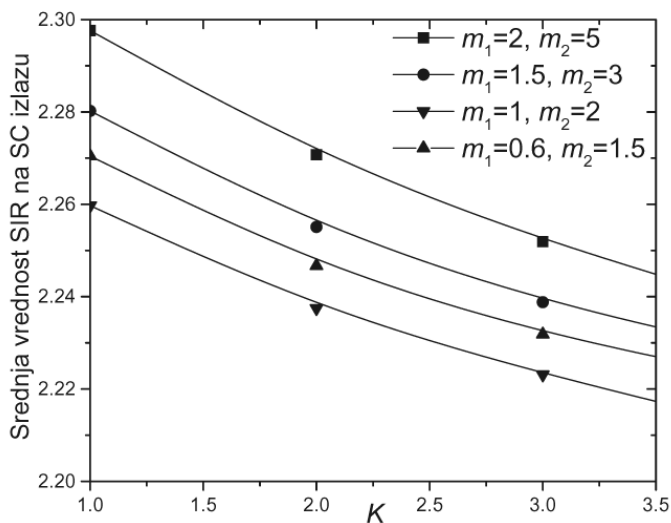
Slika 4. Pdf anvelope signala na izlazu SC prijemnika za različite vrednosti parametra m

Uticao srednje snage signala smetnji na direktnoj liniji optičke vidljivosti izraženiji je kada se vrednosti Ω_1 i Ω_2 značajno razlikuju, a povećanje razlike u vrednostima parametara σ_1 i σ_2 rezultuje izraženijom nesimetričnošću krivih.

Kao pokazatelj performansi određena je srednja vrednost izlaznog odnosa signal-inferenca (SIR) definisana kao:

$$\bar{\mu}_{SC} = \int_0^{\infty} \mu p_r(\mu) d\mu \quad (11)$$

Normalizovana srednja vrednost izlaznog odnosa signal-interferenca u zavisnosti od parametra K , određena je numerički i grafički je prikazana na Sl.5, pri čemu je normalizacija izvršena srednjom vrednošću ulaznog odnosa signal-interferenca. Može se zaključiti da značajnija razlika u odnosu snaga u diverziti granama degradira performanse sistema, kao i da se bolje performanse postižu za veće vrednosti parametara m_1 i m_2 u diverziti granama.



Slika 5. Srednja vrednost SIR na izlazu SC prijemnika u funkciji parametra K , za za različite vrednosti parametra m

ZAKLJUČAK

Unapređivanje i proširivanje postojećih modela prostiranja radio signala, kao i primena različitih tehnika u cilju poboljšanja performansi u slučaju delovanja fedinga ima veliki značaj u procesu planiranja i razvoja bežičnih komunikacija. U ovom radu dat je prilog optimizaciji Rajsovog modela kanala, za slučaj delovanja interferirajućih signala na liniji direktne optičke vidljivosti, koje je modelovano Nakagami- m raspodelom.

Na osnovu analitički određenih statističkih karakteristika signala na prijemu opisanog telekomunikacionog sistema određena je srednja vrednost izlaznog odnosa signal-inferenca (SIR), kao pokazatelj performansi sistema. Korišćena je diverziti tehnika sa selektivnim (SC) kombinovanjem signala na prijemu.

Posebna pažnja posvećena je slučaju kada se dubina fedinga i jačina interference u diverziti granama razlikuju, uz

zaključak da značajnija razlika u odnosu snaga korisnog signala i interference u diverziti granama degradira performanse sistema, kao i da se bolje performanse postižu za veće vrednosti feding parametara m u diverziti granama.

LITERATURA

- [1] J. Proakis, Digital Communications, 3rd ed., McGraw-Hill, 1999.
- [2] W. Y. C. Lee, Mobile Cellular Communications, McGraw-Hill Book Co., New York, 1989.
- [3] M. K. Simon, M. S. Alouini, Digital Communications over Fading Channels, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 2005.
- [4] M. Nakagami, The m -distribution, a General Formula of Intensity Distribution of Rapid Fading in Statistical Methods in Radio Wave Propagation, W. G. Hoffman, Ed. Oxford, England: Pergamon, 1960.
- [5] H. Popović, D. Stefanović, A. Mitić, I. Stefanović, D. Stefanović, "Some statistical characteristics of Nakagami- m distribution", TELSIKS 2007, Proceedings of papers, vol. 2, pp. 509-512, Niš, Serbia, September 26-28, 2007.
- [6] Wang Li.-C., Lea C.-T., "Co-channel interference analysis of shadowed Rician channels", Proc. IEEE Electronic Letters, vol. 2, no. 3, pp. 67-69, March, 1998.
- [7] S. Hossein, "Approximate outage analysis of land mobile satellite systems in lognormally shadowed Rician channels", Wireless Personal Communications, vol. 61, no. 2, pp. 477-490, 2011.
- [8] S. Okui, "Effects of CIR selection diversity with two correlated branches in the m -fading channel," IEEE Trans. Commun., vol. COM-48, no. 10, pp. 1631-1633, Oct. 2000.
- [9] H. C. Yang, M. S. Alouini, "Outage probability of dual-branch diversity systems in presence of co-channel interference", IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 2, pp. 310-319, March 2003.
- [10] L. Yang, M. S. Alouini, "Performance comparison of different selection combining algorithms in presence of co-channel interference", IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 55, pp. 559-571, 2006.
- [11] P. M. Shanakar, "Performance analysis of diversity combining algorithms in shadowed fading channels", Wireless Personal Communications, vol. 37, no. 1-2, pp. 61-72, 2006.
- [12] H. Stefanovic, V. Stefanovic, A. Cvetkovic, J. Anastasov, D. Stefanovic, "Some statistical characteristics of a new shadowed Rician fading channel model", The Fourth Int. Conf. on Wireless and Mobile Communications (ICWMC 2008), Proceedings of Papers, pp. 235-240, 27 July-1 August, Athens, Greece, 2008.
- [13] M. Abramovitz, I. A. Stegun, Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables, Dover publications, Inc. New York, 1970.

ABSTRACT

In this paper the Rician fading channel in the presence of co-channel interference is presented. The received signal envelope is modelled as Rician random variable, while the blockage of the line-of-sight (LoS) component is described by Nakagami- m model. Analytical expressions and graphical representations of the received signal signal statistical characteristics in the case of dual selection combining (SC) reception are given. For the performance analysis the average value of output signal-to-interference ratio (SIR) is calculated, and the case of unbalanced diversity branches is especially analyzed.

PERFORMANCE ANALYSIS OF SC RECEIVER OVER RICIAN FADING CHANNEL IN THE PRESENCE OF CO-CHANNEL INTERFERENCE

Hana Stefanović, Ivana Stefanović, Dejan Milić, Dimitrije Stefanović

