

Performanse SC diverziti sistema sa dve grane u prisustvu k - μ fedinga

Selena Vasić¹, Srđan Jovković², Dejan Milić¹, Stefan Panić³, Danijel Đošić³

¹Katedra za telekomunikacije,
Elektronski fakultet, Niš, R Srbija
selena1@ptt.rs; dejanmilic@elfak.ni.ac.rs

²Katedra za komunikacione tehnologije
Visoka tehnička škola strukovnih studija, Niš, R Srbija
srdjansms11@gmail.com

³Katedra za informatiku
Fakultet prirodnih nauka i matematike, Kosovska Mitrovica, R Srbija
stefanpnc@yahoo.com; daniieldjosic@gmail.com

Sadržaj — U ovom radu su određene statističke karakteristike signala kada se koristi diverziti tehnika za smanjenje uticaja k - μ fedinga na performanse sistema. Razmatra se diverziti sistem sa dve grane. Analizira se slučaj SC kombinovanja. k - μ feding je opšti tip fedinga koji se primenjuje za opisivanje promena amplitude u sredinama u kojima se signal prostire po više puteva i u kojima postoji jedna, dve ili više dominantnih komponenta. Za dati slučaj su određene funkcija gustine verovatnoće, kumulativna funkcija verovatnoće, momenti i srednji broj osnih preseka signala, i dat je grafički prikaz dobijenih rezultata.

Ključne reči- k - μ feding; SC diverziti; pdf; cdf; momenti; LCR;

I. UVOD

Ubrzani razvoj različitih servisa u bežičnim telekomunikacijama intenzivira potrebu za unapređenjem performansi ovakvih sistema. Poseban akcenat se stavlja na postizanje većih brzina prenosa, unapređenje kapaciteta kanala i dodatno povećanje dometa veze sa istovremenim minimiziranjem verovatnoće greške [1].

Prostiranje signala kroz bežični medijum praćeno je različitim vrstama smetnji. Smetnje mogu u manjoj ili većoj meri da utiču na snagu signala, a u određenim uslovima, naročito u urbanim sredinama, zbog značajnog pojačanja višeputajnog (multipath) fedinga, odnosno pojave prenošenja signala po više puteva, mogu izazvati čak i potpuni nestanak signala. Jedna od najčešćih smetnji je slabljenje nivoa korisnog signala u vremenu, odnosno feding [2].

U zavisnosti od mehanizma nastajanja, razlikujemo brzi i spori feding [3]. Brzi feding nastaje zbog prostiranja signala po više puteva i ima uticaj na anvelopu korisnog signala koji stiže na ulaz u prijemnik sistema. Spori feding nastaje zbog efekta senke i ima uticaj na promenu snage korisnog signala, odnosno na promenu srednje kvadratne vrednosti korisnog signala.

Pod brzim (višeputajnim) fedingom podrazumevaju se kratke promene amplitude signala usled višeputajnosti. Naime, kao posledica refleksije, difrakcije i rasejanja signala po objektima koji se nalaze na putu između predajnika i prijemnika, signal se kroz atmosferu prostire po više putanja. Usled superpozicije kopija ovih signala i kao posledica kretanja predajnika i prijemnika, dobija se signal čija se amplitude menja u vremenu. Zbog toga dolazi do pojačanja ili slabljenja signala na prijemu i tada smatramo da je signal pod uticajem brzog fedinga.

Brzi feding se može modelovati sa više raspodela: Vejbulovom, Nakagami- m , Hoftovom, Rejljevom i Rajsovom. Sve ove raspodele podrazumevaju rasejanje u homogenom difuznom polju.

Uzimajući u obzir dva fizička parametra k i μ , gde μ opisuje višeputajni klastering dok k predstavlja količnik ukupne snage dominantnih komponenta i ukupne snage rasejanih talasa, moguće je razviti k - μ model raspodele. Ova raspodela je veoma realna u poređenju sa drugim raspodelama, s obzirom na to da je njeno izvođenje u potpunosti bazirano na sredinama sa nehomogenim rasejanjem talasa. Razmatranje statističkih karakteristika k - μ modela raspodele je veoma aktuelno sa aspekta potreba projektovanja bežičnih telekomunikacionih sistema i unapređenja njihovih performansi jer je to opšti fizički model fedinga koji uključuje Rejljev, Rajsov i Nakagami- m modele kao svoje specijalne slučajeve [1]. Kada je $\mu=1$, k - μ slučajna promenljiva postaje Rajsova. Ako je $\mu=1$, i srednje vrednosti Gausovih slučajnih promenljivih su nula, tada k - μ slučajna promenljiva prelazi u Rejljevu, dok u slučaju kada su srednje vrednosti Gausovih slučajnih promenljivih nula, k - μ slučajna promenljiva postaje Nakagami- m slučajna promenljiva. Za $k=0$, $\mu=0$, raspodela se svodi na Rajsovu.

U ovom radu će biti razmotrena primena SC diverziti tehnike na smanjenje uticaja k - μ fedinga na performanse bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema. Kod selektivnog kombinovanja (SC-selection combining) sa dve

grane, kombiner bira granu sa većim odnosom signal-šum (SNR, signal-to-noise ratio), odnosno granu sa većim signalom, pod pretpostavkom da je snaga smetnji ravnomerno raspoređena po granama.

U ovom radu je određena statistika prvog reda signala na izlazu SC diverziti sistema sa dve grane, kada je prisutan k - μ feding. Predstavljani su analitički izrazi za funkciju raspodele gustine verovatnoće i kumulativnu funkciju raspodele verovatnoće, karakterističnu funkciju kao i momente prvog, drugog i trećeg reda za dati slučaj. Takođe, određen je i srednji broj osnih preseka signala.

I. MODEL SISTEMA

A. Osnovne karakteristike k - μ slučajnog procesa

Feding model k - μ raspodele podrazumeva signal koji se sastoji od klastera višeputajnih talasa koji se prostiru u nehomogenoj sredini. U okviru svakog klastera, faze rasejanih talasa su slučajne i imaju slična, relativno velika, vremena kašnjenja. Pretpostavlja se da su snage rasejanih komponenata u okviru klastera jednake, dok je snaga dominantne komponente proizvoljna.

Amplituda ovakvog slučajnog procesa se modeluje k - μ slučajnom promenljivoj [4].

U literaturi [5] se funkcija gustine verovatnoće k - μ slučajne promenljive sreće u obliku:

$$p_r(r) = \frac{2\mu(1+k)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} \exp(\mu k) \cdot \bar{r}} \left(\frac{r}{\bar{r}}\right)^{\mu} e^{-\mu(1+k)\left(\frac{r}{\bar{r}}\right)^2} I_{\mu-1}\left(2\mu\sqrt{k(1+k)}\frac{r}{\bar{r}}\right), r \geq 0 \quad (1)$$

U prethodnom izrazu $I_n(\cdot)$ predstavlja modifikovanu Beselovu funkciju prve vrste [6]. Parametar k predstavlja odnos između ukupne snage dominantnih komponenata i ukupne snage rasejanih komponenata, dok parametar μ ukazuje na višeputajni klastering.

Prethodni izraz možemo predstaviti u jednostavnijem obliku:

$$p_r(r) = ar^{\mu} e^{-ar^2} I_{\mu-1}(2\beta r), r \geq 0 \quad (2)$$

gde su odgovarajući koeficijenti dati sledećim izrazima:

$$a = \frac{2\mu(1+k)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} (\exp(\mu k)) \cdot \bar{r}} \cdot \frac{1}{\bar{r}^{\mu}}, \alpha = \frac{\mu(1+k)}{\bar{r}}$$

$$\beta = \frac{\mu}{\bar{r}} \sqrt{k(1+k)}. \quad (3)$$

Konačno imamo:

$$p_r(r) = ar^{\mu} e^{-ar^2} \sum_{i=0}^{\infty} \beta^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} r^{2i+\mu-1} = ar^{\mu} e^{-ar^2} \sum_{i=0}^{\infty} b(i) r^{2i+\mu-1} \quad (4)$$

Zamenom odgovarajućeg izraza za funkciju gustine verovatnoće možemo odrediti n -ti moment slučajne promenljive r na sledeći način:

$$m_n = \int_0^{\infty} r^n p_r(r) dr = \overline{r^n} = \int_0^{\infty} dr r^n \cdot ar^{\mu} e^{-ar^2} \sum_{i=0}^{\infty} b_i r^{2i+\mu-1} = a \sum_{i=0}^{\infty} b_i \int_0^{\infty} dr r^{n+2i+2\mu-1} e^{-ar^2} = \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_i \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{i+\mu+n/2} \Gamma(i+\mu+n/2) \quad (5)$$

Konkretno, prvi, drugi i treći moment su:

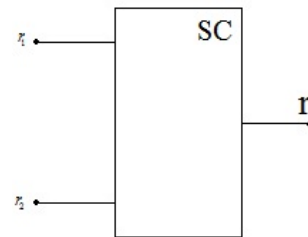
$$m_1 = \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_i \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{\mu+i+1/2} \Gamma(\mu+i+1/2);$$

$$m_2 = \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_i \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{\mu+i+1} \Gamma(\mu+i+1);$$

$$m_3 = \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{\infty} b_i \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{\mu+i+3/2} \Gamma(\mu+i+3/2)$$

II. SC DIVERZITI SISTEM SA DVE GRANE

Selektivno kombinovanje (SC) podrazumeva da se procesira samo jedna od ulaznih diverziti grana. U opštem slučaju kombiner bira granu sa najvećim odnosom signal-šum (SNR), odnosno granu sa najvećim signalom, pod pretpostavkom da je snaga smetnji ravnomerno raspoređena po granama. Na slici 1 prikazan je model diverziti sistema sa dve grane za slučaj predetekcionog kombinovanja kada je prisutan k - μ feding. Signali na ulazu u diverziti sistem su r_1 i r_2 , a na izlazu je signal r .



Slika 1. SC diverziti sistem sa dve grane

Signali na ulazu u kombiner podložni su k - μ fedingu i dati sa [5]:

$$p_{r_1}(r_1) = ar_1^{\mu} e^{-ar_1^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{i_1} r_1^{2i_1+\mu-1} \quad (6)$$

$$p_{r_2}(r_2) = ar_2^{\mu} e^{-ar_2^2} \sum_{i_2=0}^{\infty} b_{i_2} r_2^{2i_2+\mu-1} \quad (7)$$

Sada ćemo odrediti kumulativne verovatnoće signala r_1 i r_2 . Integracijom funkcije gustine verovatnoće signala na prvom i drugom ulazu dobijamo odgovarajuće kumulativne verovatnoće.

Kumulativna verovatnoća signala sa prvog ulaza je:

$$F_{r_1}(r_1) = \frac{a}{2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{c_{i_1}}{\alpha^{i_1+1}} \gamma(i_1+1, \alpha r_1^2) \quad (8)$$

Kumulativna verovatnoća signala sa drugog ulaza je:

$$F_{r_2}(r_2) = \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{c_{i_2}}{\alpha^{i_2+1}} \gamma(i_2+1, \alpha r_2^2) \quad (9)$$

SC kombiner propušta signal sa grane koja ima veći odnos signal-šum, tako da je signal na izlazu iz SC kombiner jednaka većem od ulaznih signala, odnosno: $r = \max(r_1, r_2)$.

Gustina verovatnoće signala na izlazu može se odrediti na sledeći način:

$$p_r(r) = p_{r_1}(r)F_{r_2}(r) + p_{r_2}(r)F_{r_1}(r) \quad (10)$$

Zamenom odgovarajućih izraza i nakon određenih matematičkih transformacija dobija se izraz za gustinu verovatnoće signala na izlazu:

$$p_r(r) = 2ar^\mu e^{-2r^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{i_1} r^{2i_1+\mu-1} \cdot \left(\frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{c_{i_2}}{\alpha^{i_2+1}} \gamma(i_2+1, \alpha r^2) \right)^2 \quad (11)$$

Sada treba odrediti kumulativnu verovatnoću signala r na izlazu. Ona je jednaka proizvodu kumulativnih verovatnoća ulaznih signala [6]. Odgovarajućim transformacijama i uprošćavanjem izraza dobijamo:

$$F_r(r) = F_{r_1}(r)F_{r_2}(r) = \left(\frac{a}{2} \sum_{i_1=0}^{\infty} \frac{c_{i_1}}{\alpha^{i_1+1}} \gamma(i_1+1, \alpha r^2) \right)^2 \quad (12)$$

Koristeći izraz za funkciju gustine verovatnoće odredićemo i momente signala r . n -ti moment signala r je:

$$m_n = \overline{r^n} = \int_0^{\infty} r^n p_r(r) dr = \int_0^{\infty} dr \cdot 2ar^{n+\mu} e^{-2r^2} \sum_{i_1=0}^{\infty} b_{i_1} r^{2i_1+\mu-1} \cdot \frac{a}{2} \sum_{i_2=0}^{\infty} \frac{c_{i_2}}{\alpha^{i_2+1}} \gamma(i_2+1, \alpha r^2) \quad (13)$$

Na kraju, odredićemo i jednu od najvažnijih statističkih karakteristika drugog reda a to je srednji broj osnih preseka (Level Crossing Rate –LCR) anvelope signala za SC sistem sa dve grane.

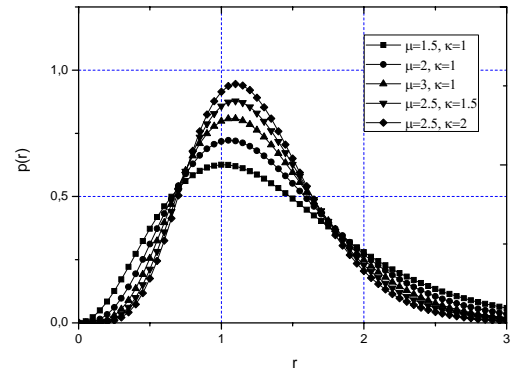
Neka je R anvelopa prijemnog signala, a neka je dat njen prvi izvod po vremenu. Srednji broj osnih preseka (LCR) za anvelopu R se definiše kao brzina kojom anvelopa signala sa fedingom prolazi R u pozitivnom ili negativnom smeru, i matematički je određen na sledeći način [7]:

$$N_R(R) = \int_0^{\infty} \dot{R} p_{R,\dot{R}}(R, \dot{R}) d\dot{R} \quad (14)$$

Grafički prikaz srednjeg broja osnih preseka za ovaj slučaj dat je u sledećem odeljku.

III. NUMERIČKI REZULTATI

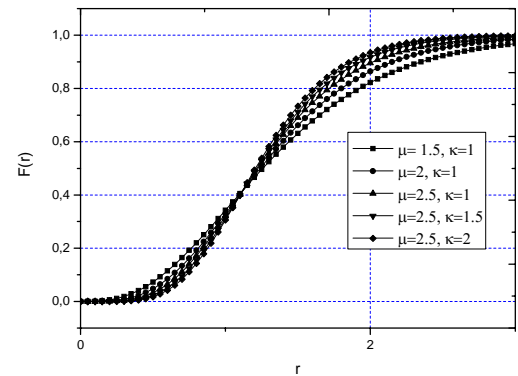
Na sl. 2 je prikazana funkcija gustine verovatnoće za slučaj SC kombiner sa dve grane i u prisustvu k - μ fedinga. Dat je prikaz funkcije gustine verovatnoće za različite vrednosti parametara fedinga:



Slika 2. Funkcija gustine verovatnoće za SC sistem sa dve grane u prisustvu k - μ fedinga

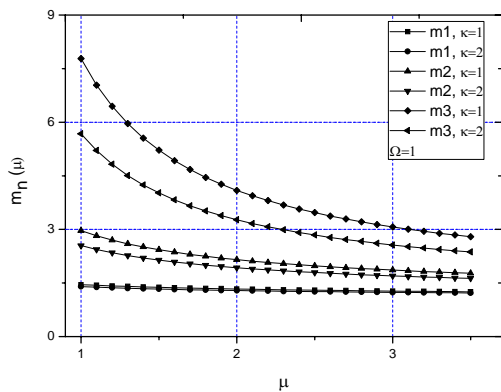
Sa slike se može videti da se najbolje vrednosti pdf dobijaju za najveće vrednosti parametara fedinga k i μ .

Na sl. 3 je prikazana kumulativna raspodela verovatnoća signala u SC sistemu sa dve grane za različite vrednosti parametara fedinga.



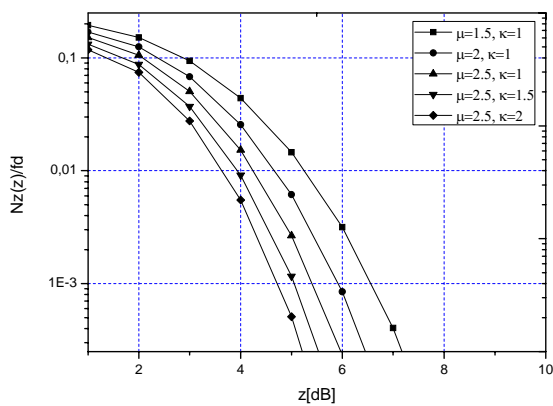
Slika 3. Kumulativna raspodela verovatnoća za SC sistem sa dve grane u prisustvu k - μ fedinga

Na slici 4 je dat grafički prikaz prva tri momenta signala na izlazu iz SC sistema sa dve grane:



Slika 4. Momenti signala za SC sistem sa dve grane za različite vrednosti parametra fedinga

Na sl. 5 je prikazan srednji broj osnih preseka za SC sistem sa dve grane za različite vrednosti parametara fedinga k i μ :



Slika 5. Srednji broj osnih preseka za SC sistem sa dve grane za različite vrednosti parametara k i μ

Može se videti da za veće vrednosti parametara fedinga k i μ LCR vrednosti opadaju, jer je dinamika u kanalu veća za manje vrednosti ovih parametara.

$$= \frac{.}{-8L} \cdot \#$$

U ovom radu su razmatrane statističke karakteristike signala kada se koristi SC diverziti tehnika za smanjenje uticaja k - μ fedinga.

Određeni su funkcija gustine verovatnoće, kumulativna raspodela verovatnoće i momenti kao i srednji broj osnih preseka signala.

Analitički rezultati su prikazani grafički i opisan je uticaj parametara fedinga na performanse sistema. Pomoću gustine verovatnoće signala na izlazu iz kombinera mogu se izračunati verovatnoća greške sistema i verovatnoća otkaza ovog sistema.

LITERATURA

- [1] M. K. Simon and M. S. Alouini, "Digital communications over fading channels", New York: Wiley, 2nd ed., 2005
- [2] A. Goldsmith, Wireless communications, Cambridge University press, 2005
- [3] Stefanović M., Stojanović N., Milić D. and Petrović D., *Optimal Bandwidth in Optical FSK System Interferenced by Laser Phase Noise*, Israel, 1998, Vol. II, 1423-1426.
- [4] Selena Z. Stanojic, Mihajlo C. Stefanovic, Stefan R. Panic, Sabahudin Mekic, Goran Popovic, "Second-order statistics of the MIMO k - μ keyhole fading channels", Revue Roumaine des Sciences Techniques. Ser. Electrotechnique, ISSN: 0035-4066, accepted for publication in November 2011
- [5] Stefanović, M., S. R. Panić, D. Stefanović, B. Nikolić, and A. Cvetković (2012), "Second order statistics of selection combining receiver over k - μ fading channels subject to co-channel interferences", Radio Sci., 47, RS6001, doi:10.1029/2012RS004997
- [6] M Stefanović, D. Krstić, D. Pavlović, N. Kapetanović, Statistic Characteristics of M-ary FSK Signal in the Presence of Gaussian Noise, Impulse Noise and Variable Signal Amplitude, Information Technologz and Control, 2007, Vol. 36, No.1, 53-57.
- [7] Iskander, C.D., Mathiopoulos P.T.: „Analytical level crossing rate and average fade duration in Nakagami fading channels“, IEEE Transactions on Communications, 2002, 50 (8), 1301-1309

§ 675 § 7 #

In this paper statistical characteristics of a signal undergoing k - μ fading is analyzed, when SC diversity combining techniques are implemented to mitigate the fading effects to the performances of the system. Dual branch SC diversity system is considered. k - μ (kappa-mu) fading is a general fading model used to describe the amplitude changes in a scenarios where multipath occurs and when one or more dominant components are present.

For this case probability density function, cumulative distribution function, moments and level crossing rate of the signal are obtained, and graphical representation of the analytical results is provided.

PERFORMANCES OF A DUAL-BRANCH SC DIVERSITY SYSTEM IN A k - μ FADING ENVIRONMENT

Selena Vasić, Srđan Jovković, Dejan Milić, Stefan Panić, Danijel Došić