

Analiza verovatnoće prekida neregenerativnog kooperativnog linka u prisustvu α - μ fedinga

Aleksandra M. Cvetković, Mihajlo Č. Stefanović, Dejan N. Milić, Jelena A. Anastasov

Sadržaj - U ovom radu data je analiza verovatnoće prekida linka sa dve deonice u kanalu sa α - μ fedingom i selektivnim kombinovanjem na prijemu. Feding je opisan α - μ raspodelom što analizu čini opštijom u odnosu na ostale modele fedinga. Razmatrana je verovatnoća prekida oba modela prenosa neregenerativnog sistema: prenosa na osnovu informacije o stanju kanala (CSI) i prenosa sa fiksnim pojačanjem. Prikazani su numerički rezultati za različite parametre praga u funkciji srednje vrednosti odnosa signal-šum i izvršeno je poređenje performansi oba modela prenosa neregenerativnog linka.

Ključne reči – feding, α - μ raspodela, kooperativni link, neregenerativni prenos, verovatnoća prekida.

I UVOD

Prenos sa više deonica je tehnika koja se sve češće koristi u bežičnim i *ad-hoc* komunikacionim sistemima. Kada su smetnje u kanalu direktnog linka velike, između izvornog i odredišnog terminala linka obično se postavlja još jedan relejni terminal [1], [2]. Korišćenje linka sa dve deonice omogućava mnogo bolju komunikaciju čvorova i ne zahteva veliku snagu na predaji u cilju smanjivanja fedinga i efekta senke. Zbog toga interesovanja za istraživanja u ovoj oblasti postaju sve intenzivnija.

U zavisnosti od tipa prenosa, postoje dva osnovna modela prenosa sa dve deonice: regenerativni i neregenerativni. Kod neregenerativnog prenosa signal se prosto pojačava i ponovo šalje. Nasuprot njemu, pri regenerativnom prenosu signal se dekoduje, pojačava, a zatim ponovo šalje do sledećeg čvora. Neregenerativni model prenosa se dodatno deli na sistem sa prenosom zasnovanim na informaciji o trenutnom stanju kanala (CSI- *channel state information*) i sistem sa fiksnim pojačanjem. Prva potkategorija predstavlja sistem koji koristi informaciju o stanju kanala sa prve deonice u cilju

Ovaj rad je delom finansiran od strane Ministarstva nauke Republike Srbije u okviru projekta "Razvoj i realizacija nove generacije softvera, hardvera i usluga na bazi softverskog radija za namenske aplikacije" (evid.br. 11030).

Aleksandra M. Cvetković, Mihajlo Č. Stefanović, Dejan N. Milić, and Jelena A. Anastasov are with the Faculty of Electronic Engineering, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Nis, Serbia, e-mails: aleksandra.cvetkovic@elfak.ni.ac.yu, mihajlo.stefanovic@elfak.ni.ac.yu, dejan.milic@elfak.ni.ac.yu, anastasovjelena@gmail.com

kontrolisanja snage signala na drugoj deonici. Druga potkategorija neregenerativnog prenosa je korišćenje releja sa fiksnim pojačanjem. Praktična realizacija sistema sa ovim prenosom je znatno jednostavnija od CSI baziranog prenosa [2-4].

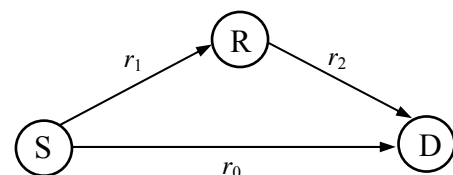
U bežičnom kanalu zbog interakcija talasa sa objektima na putanji prostiranja, na ulaz prijemnika stiže veliki broj kopija poslatog signala sa različitim slabljenjem, faznim pomerajem i kašnjenjem. Superpozicijom ovih kopija signala na prijemu, usled kretanja predajnika i/ili prijemnika, dobija se signal čija se amplituda menja u vremenu. Zbog toga na prijemu dolazi do pojačanja ili slabljenja signala, tj. signal je pod uticajem fedinga [5, 6]. U ovom radu feding je modelovan α - μ raspodelom.

Veliki broj raspodela opisuje statistiku prenosnog signala pri bežičnom prenosu (Hojtova, Rejljjeva, Rajsova, Nakagami-*m* i Vejbulova). Takođe, veliki broj raspodela se koristi za modelovanje fedinga uz pretpostavku da je polje rasejanja difuzno i homogeno. Generalizovana α - μ raspodela je predložena radi opisivanja nelinearnosti propagacionog medijuma [7]. Ovaj model fedinga može zamenom odgovarajućih parametara da se svede na ostale dobro poznate modele fedinga (Gama, Nakagami-*m*, eksponencijalni, Vejbulov, Rejljjev) u čemu se i ogleda njegova opštost.

U ovom radu su dati analitički i numerički rezultati verovatnoće prekida u sistemu sa neregenerativnim prenosom kada se feding modeluje α - μ raspodelom. Verovatnoća prekida je određena za obe kategorije neregenerativnog prenosa i selektivnog kombinovanja (*SC-selection combining*) signala u odredišnom terminalu. Rezultati su prikazani za različite parametre praga u funkciji srednje vrednosti odnosa signal-šum (SNR- signal to noise ratio) direktnog linka. Takođe, razmatran je uticaj parametra fedinga na performanse sistema sa neregenerativnim kooperativnim relejem.

II MODEL SISTEMA

Na slici 1 prikazan je model bežičnog komunikacionog kooperativnog sistema.



Sl. 1. Model bežičnog komunikacionog sistema sa kooperativnim linkom

Izvorni terminal S komunicira sa određišnim D direktno i preko kooperativnog neregenerativnog linka odnosno preko terminala R , koji je postavljen između izvornog i određišnog terminala (slika 1). Transmisioni period je podeljen na dva vremenska intervala. U toku prvog prenosnog intervala, terminal S komunicira sa terminalom R i određišnim terminalom D . U toku drugog intervala samo relejni terminal R komunicira sa određišnim [2]. Prijemni signali se šalju u SC kombajner gde se vrši selektivno kombinovanje. S obzirom na to da S šalje signal sa nekom srednjom vrednošću prilagođenu standardima, trenutna ekvivalentna vrednost SNR-a putanje sa dve deonice je data izrazom [2]:

$$\gamma_{end} = \frac{\left(\frac{r_1^2}{N_{0,1}}\right)\left(\frac{r_2^2}{N_{0,2}}\right)}{\left(\frac{r_2^2}{N_{0,2}}\right) + \left(\frac{1}{g^2 N_{0,1}}\right)} \quad (1)$$

U jednačini (1), r_i predstavlja amplitudu fedinga i -tog puta, $i=0, 1, 2$ (r_0 je amplituda fedinga na direktnoj putanji). $N_{0,i}$ predstavlja spektralnu gustinu snage aditivnog belog Gausovog šuma na ulazu terminala R i D , respektivno. Sa g je označeno pojačanje pri prenosu. S obzirom na to da je r_i slučajna promenljiva koja ima α - μ raspodelu, trenutni SNR $\gamma_i=r_i^2/N_{0,i}$ ima sledeću funkciju gustine verovatnoće [9]:

$$f_{\gamma_i}(\gamma) = \frac{\alpha_i \mu_i^{\mu_i}}{2\Omega_i^{\mu_i} \Gamma(\mu_i)} \gamma^{\alpha_i \mu_i / 2 - 1} \exp\left\{-\frac{\mu_i \gamma^{\alpha_i / 2}}{\Omega_i}\right\} \quad (2)$$

gde α_i, μ_i predstavljaju parametre α - μ fedinga, a $\Omega_i = E[r_i^{\alpha_i}]$. Zamenom parametra $\mu=1$, α - μ raspodela se svodi na Weibulovu raspodelu. Slično, za $\alpha=2$ dobija se izraz za Nakagami- m raspodelu. Kako je

$$\bar{\gamma}_i = \left(\frac{\Omega_i}{\mu_i}\right)^{2/\alpha_i} \frac{\Gamma(\mu_i + 2/\alpha_i)}{\Gamma(\mu_i)} \quad (3)$$

funkciju gustine verovatnoće može se pisati i kao:

$$f_{\gamma_i}(\gamma) = \frac{\alpha_i}{2(\varepsilon_i \bar{\gamma}_i)^{\mu_i \alpha_i / 2} \Gamma(\mu_i)} \gamma^{\alpha_i \mu_i / 2 - 1} \exp\left\{-\left(\frac{\gamma}{\varepsilon_i \bar{\gamma}_i}\right)^{\alpha_i / 2}\right\} \quad (4)$$

gde je $\varepsilon_i = \Gamma(\mu_i) / \Gamma(\mu_i / \alpha_i)$. Odgovarajuća kumulativna funkcija raspodele je [8]:

$$F_{\gamma_i}(\gamma) = 1 - \frac{\Gamma\left(\mu_i, \left(\gamma / \varepsilon_i \bar{\gamma}_i\right)^{\alpha_i / 2}\right)}{\Gamma(\mu_i)} \quad (5)$$

Kada se razmatra prenos sa informacijom o stanju kanala (CSI), pojačanje koje ograničava izlaznu snagu signala dato je izrazom [9]:

$$g_1^2 = \frac{1}{r_1^2 + N_{0,1}} \quad (6)$$

Na osnovu toga trenutna ekvivalentna vrednost SNR-a prenosa sa dve deonice ima oblik:

$$\gamma_{eq1} = \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2 + 1} \quad (7)$$

Kada je terminal R sa fiksnim pojačanjem oblika [10]:

$$g_2^2 = \frac{1}{CN_{0,1}} \quad (8)$$

trenutna vrednost SNR-a prenosa sa dve deonice je data izrazom:

$$\gamma_{eq2} = \frac{\gamma_1 \gamma_2}{C + \gamma_2} \quad (9)$$

III VEROVATNOĆA PREKIDA

U terminalu D se vrši selektivno kombinovanje pristiglih signala, tako da se rezultujući SNR izračunava kao $\gamma_{eq,sc} = \max(\gamma_{eq1}, \gamma_0)$. Verovatnoća prekida za nezavisne signale predstavlja verovatnoću kada je vrednost rezultujućeg SNR-a ispod zadatog praga i ima oblik [11]:

$$P_{out} = P_r[\gamma_{eq,sc} \leq \gamma_{th}] = F_{\gamma_0}(\gamma_{th}) F_{eq1}(\gamma_{th}) \quad (10)$$

U prethodnom izrazu F_{γ_0} je kumulativna funkcija raspodele SNR-a na direktnom linku i izračunava se na osnovu jednačine (5), dok se kumulativna funkcija raspodele rezultujućeg SNR-a na kooperativnom linku dodatno izračunava. U daljim izvođenjima smatra se da su parametri fedinga na direktnom linku α_0 i μ_0 i da su oni manji od parametra fedinga α_1, α_2 i μ_1, μ_2 na linku sa dve deonice. To odgovara slučaju da je jačina fedinga na deonicama sa relejom manja od one na direktnom putu.

Kada se razmatra neregenerativni link sa informacijom o stanju kanala, kumulativna funkcija raspodele za prenos signala preko dve deonice se izračunava kao:

$$\begin{aligned} F_{eq1}(\gamma) &= \int_0^\infty P_r\left(\frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2 + 1} \leq \gamma | \gamma_2\right) f_{\gamma_2}(\gamma_2) d\gamma_2 \\ &= \int_0^\gamma P_r\left(\gamma_1 \geq \frac{\gamma(\gamma_2 + 1)}{\gamma_2 - \gamma} | \gamma_2\right) f_{\gamma_2}(\gamma_2) d\gamma_2 \\ &\quad + \int_\gamma^\infty P_r\left(\gamma_1 \leq \frac{\gamma(\gamma_2 + 1)}{\gamma_2 - \gamma} | \gamma_2\right) f_{\gamma_2}(\gamma_2) d\gamma_2 \end{aligned} \quad (11)$$

Korišćenjem prethodnog izraza kao i jednačina (4) i (5) dobija se:

$$\begin{aligned} F_{eq1}(\gamma) &= 1 - \frac{\alpha_2}{2\Gamma(\mu_1)\Gamma(\mu_2)(\varepsilon_2 \bar{\gamma}_2)^{\mu_2 \alpha_2 / 2}} \\ &\quad \cdot \int_\gamma^\infty \Gamma\left(\mu_1, \left(\frac{\gamma}{\varepsilon_1 \bar{\gamma}_1} \left(\frac{\gamma_2 + 1}{\gamma_2 - \gamma}\right)\right)^{\alpha_1 / 2}\right) \cdot \gamma_2^{\alpha_2 \mu_2 / 2 - 1} \\ &\quad \cdot \exp\left\{-\left(\frac{\gamma_2}{\varepsilon_2 \bar{\gamma}_2}\right)^{\alpha_2 / 2}\right\} d\gamma_2 \end{aligned} \quad (12)$$

Zamenom jednačine (12) i (5) u jednačinu (10) dobija se verovatnoća prekida, odnosno kumulativna funkcija raspodele, za sistem prikazan na slici 1 kada je pojačanje releja promenljivo i zavisi od informacije o stanju kanala.

Za slučaj neregenerativnog linka sa fiksnim pojačanjem kumulativna funkcija raspodele data je izrazom:

$$\begin{aligned} F_{eq2}(\gamma) &= \int_0^\infty P_r\left(\frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_2 + C} \leq \gamma | \gamma_2\right) f_{\gamma_2}(\gamma_2) d\gamma_2 \\ &= \int_0^\infty P_r\left(\gamma_1 \leq \frac{\gamma(\gamma_2 + C)}{\gamma_2}\right) f_{\gamma_2}(\gamma_2) d\gamma_2 \end{aligned} \quad (13)$$

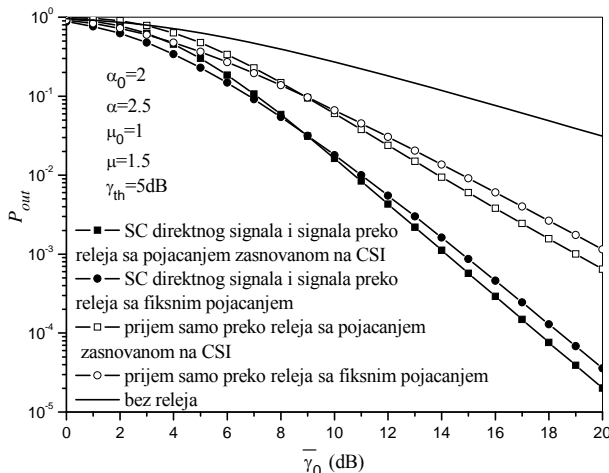
Za posmatrani model sistema sa α - μ fedingom dobija se:

$$F_{eq1}(\gamma) = 1 - \frac{\alpha_2}{2\Gamma(\mu_1)\Gamma(\mu_2)(\varepsilon_2\gamma_2)^{\alpha_2\mu_2/2}} \cdot \int_0^{\infty} \Gamma\left(\mu_1, \left(\frac{\gamma}{\varepsilon_1\gamma_1} \left(\frac{\gamma_2 + C}{\gamma_2}\right)^{\alpha_1/2}\right)\right) \cdot \gamma_2^{\alpha_2\mu_2/2-1} \cdot \exp\left\{-\left(\frac{\gamma_2}{\varepsilon_2\gamma_2}\right)^{\alpha_2/2}\right\} d\gamma_2 \quad (14)$$

Zamenom jednačine (14) i (5) u jednačinu (10) dobija se verovatnoća prekida za sistem prikazan na slici 1 kada se koristi relej sa fiksnim pojačanjem.

IV NUMERIČKI REZULTATI

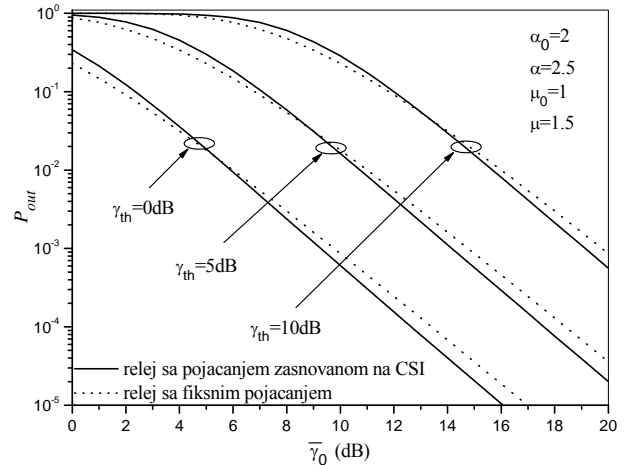
Na osnovu analitičkih izraza za verovatnoću prekida grafički su prikazani numerički rezultati za kooperativni neregenerativni sistem. Na slici 2 prikazana je verovatnoća prekida u funkciji srednje vrednosti odnosa signal-šum na direktnom linku, $\bar{\gamma}_0$, i to kada ne postoji kooperativni relej kao i za slučaj kada se na prijemu vrši samo obrada signala preko linka sa relejem. Na istoj slici prikazana je verovatnoća prekida kada se na prijemu vrši selektivno kombinovanje signala sa direktnog puta i puta preko releja. Pri tome razmatran je neregenerativni prenos sa fiksnim pojačanjem i sa pojačanjem zasnovanim na informaciji o stanju kanala pri čemu su parametri fedinga na direktnom linku α_0 i μ_0 i oni manji od parametara fedinga α_1, α_2 ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$) i μ_1, μ_2 ($\mu_1 = \mu_2 = \mu$) na linku sa dve deonice. To odgovara slučaju da je jačina fedinga na deonicama sa relejom manja od one na direktnom putu. Za oba tipa kooperativnog prenosa verovatnoća prekida je manja u odnosu na prenos bez releja, tj. preko direktnog linka. Najbolje performanse se postižu selektivnim kombinovanjem signala direktnog puta i onog preko releja.



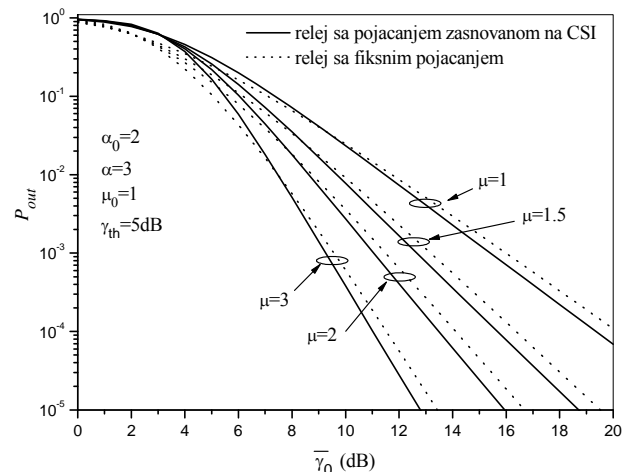
Sl. 2. Verovatnoća prekida za direktni i kooperativni link u funkciji SNR-a na direktnom linku, ($\bar{\gamma}_1 = 2\bar{\gamma}_0, \bar{\gamma}_2 = 5\bar{\gamma}_0$)

Upoređivanjem performansi sistema sa slike 1 kada je prenos baziran na informaciji o stanju kanala (CSI) i njemu ekvivalenti prenos sa fiksnim pojačanjem u kanalu (sa istim parametrima), može se primetiti da su za srednje i velike vrednosti odnosa SNR-a performanse CSI-prenosa bolje od performansi prenosa sa fiksnim pojačanjem (slika

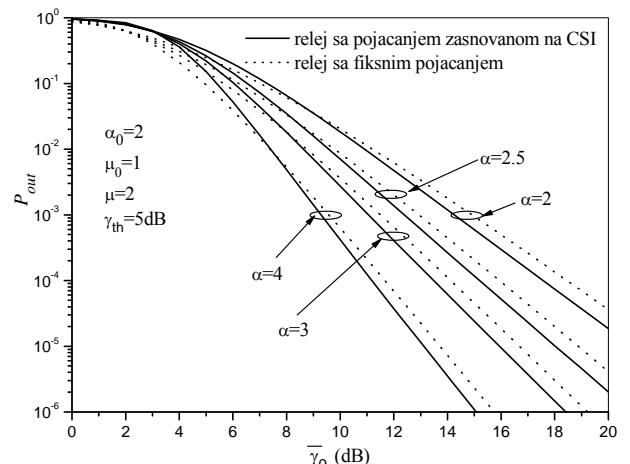
3). Ipak, za male vrednosti SNR-a, sistem sa fiksnim pojačanjem ima bolje performanse od sistema sa CSI-prenosom (promenljivim pojačanjem). S obzirom na visoku kompleksnost CSI-prenosa, rezultati pokazuju da je i prenos sa fiksnim pojačanjem pogodan za korišćenje. Takođe se može primetiti da sa porastom praga γ_{th} , opseg SNR-a u kome su performanse prenosa sa fiksnim pojačanjem bolje od performansi CSI-sistema, takođe raste.



Sl. 3. Verovatnoća prekida kooperativnog linka sa dve deonice za različite vrednosti praga γ_{th}



Sl. 4. Verovatnoća prekida kooperativnog linka sa dve deonice za različite vrednosti parametra μ



Sl. 5. Verovatnoća prekida kooperativnog linka sa dve deonice za različite vrednosti parametra α

Na slici 4 i 5 razmatran je uticaj jačine fedinga na verovatnoću prekida za sistem prikazan na slici 1. Sa smanjenjem jačine fedinga, tj. sa povećanjem parametra α i μ , poboljšavaju se performanse sistema. Smanjenje jačine fedinga postiže se postavljanjem releja tako da na putu izvorni terminal–relej i relej–odredište uticaj fedinga bude manji. Takođe, znatno jednostavniji neregenerativni relej sa fiksnim pojačanjem daje približno iste, pa i bolje performanse od sistema kod koga se zahteva informacija o stanju kanala za manje vrednosti SNR-a.

V ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršena je analiza performansi kooperativnog sistema sa dve deonice i selektivnim kombinovanjem na određinom terminalu. Prikazani su analitički i numerički rezultati za verovatnoću prekida neregenerativnih linkova sa generalizovanim α - μ fadingom. Analizom dobijenih rezultata može se zaključiti da postoji veliko poboljšanje performansi sistema kada se pored direktnog linka koristi i dodatni link sa relejem. Na osnovu prikazanih rezultata može se doneti zaključak da se prenos sa fiksnim pojačanjem može koristiti kao dobra zamena kompleksnijeg prenosa zasnovanog na informaciji o stanju kanala. Smanjenje jačine fedinga, koje zavisi od mesta postavljanja releja, doprinosi poboljšanju performansi sistema.

LITERATURA

- [1] L.Yang, M.O.Hasna, M.-S. Alouini, "Average Outage Duration of Multihop Communication Systems With Regenerative Relays", *IEEE Transactions on Wireless Communication*, Vol. 4, No. 4, pp. 1366–1371, July 2005.
- [2] T. A. Tsiftsis, G. K. Karagiannidis, P. T. Mathiopoulos, S. A. Kotsopoulos, "Nonregenerative Dual-Hop Cooperative Links with Selection Diversity", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 2006.
- [3] M. O. Hasna, M.-S. Alouini, "Outage probability of multihop transmissions over Nakagami fading channels," *Proc. IEEE Int. Symp. Advances Wireless Communications (ISWC)*, Canada, Sep. 2002, pp. 207–208
- [4] V. Emamian, P. Anghel, M. Kaveh, "Outage probability of a multiuser spatial diversity system in a wireless networks," *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC'Fall)*, Canada, Sep. 2002, pp. 573–576.
- [5] W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, John Wiley & Sons, New York 1974.
- [6] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, McGraw-Hill, New York 1992.
- [7] M. D. Yacoub, "The α - μ distribution: A general fading distribution," in *Proc. IEEE Int. Symp. PIMRC*, Sep. 2002, vol. 2, pp. 629–633.
- [8] G.Fraidenraich, M.Yacoub, J.Filho, "Second – order statistics of maximal – ratio and equal – gain combining in Weibull fading", *IEEE Communication Letters*, Vol. 9, No. 6, pp. 499–501, Jun 2005.
- [9] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Energy-efficient antenna sharing and relaying for wireless networks," in *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '00)*, pp. 7–12, Chicago, Ill, USA, September 2000.
- [10] M.O.Hasna and M.-S. Alouini, "A performance study of dualhop transmissions with fixed gain relays," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 3, no. 6, pp. 1963–1968, 2004.
- [11] X. Dong, and N. Beaulieu, "Average Level Crossing Rate and Average Fade Duration of Selection Diversity", *IEEE Communications Letters*, Vol. 5. No.10, October 2001.

V ABSTRACT

In this paper analysis for outage probability of dual-hop cooperative link in α - μ fading channels and a selection combining receiver is presented. Fading is α - μ distributed so our analysis has high level of generality. The outage probability for both nonregenerative relays: channel state information (CSI) and fixed gain relay is observed. Numerical results for variety of average signal-to-noise ratio threshold parameters on direct path are presented and comparison of the both models of nonregenerative relays is conducted.

THE OUTAGE PROBABILITY ANALYSIS OF NONREGENERATIVE COOPERATIVE LINK IN THE PRESENCE OF α - μ FADING

Aleksandra M. Cvetković, Mihajlo Č. Stefanović,
Dejan N. Milić, Jelena A. Anastasov