Analiza uticaja ko-kanalne interferencije na performanse sistema u η-μ feding kanalu

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

Goran Stamenović, Srboljub Zdravković
Katedra za Telekomunikacije
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
goran.stamenovic@tigar.com srba82@gmail.com

Dejan Jakšić
Sektor Tehnika
JP Emisiona Tehnika i Veze, Beograd
Beograd, Srbija
dejan.jaksic@etv.rs

Siniša Ninković
Prenos i emitovanje programa
Radio Televizija Republike Srpske
Banja Luka, Bosna i Hercegovina
sinisa.ninkovic@rtrs.tv

Sadržaj— **U ovom radu će biti razmatrana analiza uticaja ko-kanalne interferencije na standardne mere performansi bežičnih telekomunikacionih sistema u η-μ feding okruženju. Biće određeni izrazi u zatvorenom obliku za verovatnoću otkaza i srednju verovatnoću greške po bitu na prijemu prilikom upotrebe različitih koherentnih i nekoherentnih modulacionih tehnika prenosa (NCFSK, DPSK, CPSK, CFSK) u sistemu gde ko-kanalna interferencija predstavlja dominantni tip smetnje. Razmatraće se uticaj višeantenskog SC diverziti prijema na poboljšanje performansi prenosa (smanjenje vrednosti srednjih verovatnoća grešaka po bitu) za različite vrednosti parametara sistema (tip modulacije, srednja vrednost odnosa signal-interferencija, oštrina uticaja fedinga i broj propagacionih klastera).**

Ključne riječi- η-μ feding; ko-kanalna interferencija; višeantenski diverziti SC prijem

I. UVOD

Pojava brzog (multipath) fedinga u komunikacionim kanalima atmosfere, predstavlja glavni izvor pogoršanja performansi bežičnog prenosa. Promena amplitude signala pod uticajem brzog fedinga se najčešće modeluje pomoću nekoliko modela raspodele gustine verovatnoće, uključujući Vejbulovu, Nakagami-*m*, Hojtovu i Rajsovu raspodelu [1-4]. Nedavno je u literaturi predstavljen novi η-μ model brzog fedinga [5]. Ovaj generalni model fedinga se koristi za modelovanje propagacije u nehomogenom okruženju, za slučaj odsustva dominantne komponente signala. Pretpostavljeno je da su komponente signala u fazi i komponente signala u kvadraturi, unutar svakog propagacionog kalstera nezavisne i sa različitim srednjim snagama. Modeluje se pomoću dva parametara: μ, koji se grubo govoreći, odnosi na broj propagacionih klastera kroz koje se prostire signal i η, koji je srazmeran odnosu srednjih snaga komponenata u fazi i kvadraturi. Kao specijalne slučajeve, unutar sebe ovaj model fedinga uključuje i druge feding modele, kao što su Hojtov, Nakagami-*m* i jednostrani Gausov [6].

Jedan od načina za povećanje spektralne efikasnosti sistema je ponovna dodela pojedinih frekvencijskih kanala u oblastima koje su geografski udaljene. Međutim, dolazi do ko-kanalne interferencije (CCI) od signala iz dva ili više kanala i sa različitih lokacija, koje rade na istoj frekvenciji. Signal ko-kanalne interferencije je prilikom bežičnog prenosa izložen uticaju brzog fedinga, i neophodno je uključiti i ovu permisu prilikom analiza performansi bežičnog prenosa [7]. U sredinama gde je ko-kanalna interferencija dominantna smetnja u odnosu na termalni Gausov šum, odnos signal-interferencija (SIR), predstavlja ključni parametar za analizu performansi sistema, jer ova veličina može biti merena u realnom vremenu, upotrebom specifičih SIR estimatora u baznim i mobilnim stanicama [8].

Verovatnoća otkaza i srednja verovatnoća greške po bitu predstavljaju standardne mere performansi pri bežičnom prenosu. Teorijski dobijene i izmerene vrednosti za srednju verovatnoću greške po bitu na prijemu, za slučajeve upotrebe različitih modulacionih tehnika prenosa, predstavljaju neophodan prateći deo dokumentacije pri projektovanju svakog sistema bežičnog prenosa. Do sada su u literaturi razmatrane perfromanse bežičnog prenosa pod uticajem η-μ fedinga, međutim ne postoji studija koja razmatra uticaj ko-kanalne interferencije, koja kao što je poznato predstavlja dominantnu smetnju u ćelijskim sistemima infrastrukture bežičnog prenosa.

Prilog analizi uticaja ko-kanalne interferencije na standardne mere performansi bežičnog prenosa, koji se odvija u prisustvu η-μ fedinga će biti predstavljen u ovom radu. Izrazi za određivanje verovatnoće otkaza i srednje verovatnoće greške po bitu pri prenosu određenim modulacionim formatima će biti predstavljeni u zatvorenom obliku. Poboljšanje performansi na prijemu je razmatrano kroz primenu tehnika prostornog diverzitija za različite vrednosti parametara sistema (balansiranost prijemnih grana, dubina uticaja fedinga, tip

upotrebljene modulacije, srednja vrednost odnosa SIR, vrednost praga prijema).

II. MODEL SISTEMA

Neka je korisni signal na prijemnoj anteni izložen uticaju η-μ fedinga. Gustina verovatnoće njegove ekvivalentne amplitude onda može biti modelovana na način [6]:

$$p_R(R)=\frac{4\sqrt{\pi}\mu_d^{\mu_d+1/2}h_d^{\mu_d}R^{2\mu_d}}{\Gamma(\mu_d)H_d^{\mu_d-1/2}\Omega_d^{\mu_d+1/2}}e^{-\frac{2\mu_d h_d R^2}{\Omega_d}}\times I_{\mu_d-1/2}\left[\frac{2\mu_d H_d R^2}{\Omega_d}\right] \tag{1}$$

gde Ω_d=E(R^2)označava srednju snagu željenog signala, I_n (.) predstavlja modifikovana Beselova funkcija prve vrste *n*-tog reda, dok Γ(*a*) predstavlja Gama funkciju. H_d i h_d su parametri u funkciji η_d, definisani na sledeći način [6]:

$$H_d=\frac{\eta_d^{-1}-\eta_d}{4};\quad h_d=\frac{2+\eta_d^{-1}+\eta_d}{4}; \tag{2}$$

Parametar η_d je u ovom slučaju srazmeran odnosu srednjih snaga komponenata u fazi unutar pojedinačnog klastera propagacije za željeni signal. Parametar μ_d, koji se odnosi na broj klastera propagacije željenog signala se može predstaviti pomoću sledeće relacije [6]:

$$\mu_d=\frac{E^2(R^2)}{2\,\mathrm{var}(R^2)}\left[1+\left(\frac{H}{h}\right)^2\right]; \tag{3}$$

Generalnost ovog modela se ogleda u tome što, kao specijalne slučajeve, unutar sebe ovaj model fedinga uključuje i druge feding modele, kao što su Hojtov, Nakagami-m i jednostrani Gausov [5]. Naime za vrednost parametara μ_d = 0.5, dati model se svodi na Hojtov, gde je parameter *q* Hojtovog fedinga ekvivalentan sa $\eta_d^{1/2}$. Nakagami-*m* model se dobro aproksimira pri vrednostima $\eta_d \to 0$ i $\eta_d \to \infty$, sa parametrom *m* ekvivalentnim μ_d.

Modelujmo i anvelopu signala ko-kanalne interferencije takođe η-μ modelom sa odgovarajućim parametrima:

$$p_r(r)=\frac{4\sqrt{\pi}\mu_c^{\mu_c+1/2}h_c^{\mu_c}r^{2\mu_c}}{\Gamma(\mu_c)H_c^{\mu_c-1/2}\Omega_c^{\mu_c+1/2}}e^{-\frac{2\mu_c h_c R^2}{\Omega_c}}\times I_{\mu_c-1/2}\left[\frac{2\mu_c H_c r^2}{\Omega_c}\right] \tag{4}$$

U celularnim sistemima, gde je ko-kanalna interferencija dominanatna smetnja, uticaj šuma se može zanemariti. Gustina verovatnoće trenutne vrednosti odnosa signal–interferencija (SIR), $\lambda=R^2/r^2$, se može odrediti na osnovu [9]:

$$p_\lambda(t)=\frac{1}{2\sqrt{t}}\int_0^\infty\int_0^\infty p_R(r\sqrt{t})p_r(r)r\,dr \tag{5}$$

Posle zamene (1) i (4) u (5), dobijamo:

$$p_\lambda(\lambda)=\sum_{k=0}^{\infty}\sum_{l=0}^{\infty}\frac{\pi S^{2k+2\mu_c}\mu_c^{2k+2\mu_c}\mu_d^{2l+2\mu_d}h_d^{\mu_d}h_c^{\mu_c}H_d^{2l}H_c^{2k}}{2^{2k+2l+2\mu_c+2\mu_d-2}\Gamma(\mu_d)\Gamma(\mu_c)\Gamma(\mu_d+k+1/2)}\cdot\frac{\Gamma(2k+2l+2\mu_c+2\mu_d)\lambda^{2l+2\mu_d-1}}{\Gamma(\mu_c+l+1/2)k!l!(\lambda\mu_d h_d+S\mu_c h_c)^{2k+2l+2\mu_c+2\mu_d}} \tag{6}$$

U prethodnoj relaciji je sa $S=\Omega_d/\Omega_c$ označena srednja vrednost odnosa SIR.

Kumulativna funkcija raspodele (CDF) od λ se može odrediti pomoću:

$$F_\lambda(t)=\int_0^t p_\lambda(x)dx \tag{7}$$

posle zamene (6) u (7), možemo je predstaviti u obliku:

$$F_\lambda(t)=\sum_{p=0}^{\infty}\sum_{q=0}^{\infty}\frac{\pi H_d^{2l}H_c^{2k}\Gamma(2k+2l+2\mu_c+2\mu_d)B_z(2l+2\mu_d,2k+2\mu_c)}{2^{2k+2l+2\mu_c+2\mu_d-2}h_d^{2l+\mu_d}h_c^{2k+\mu_c}\Gamma(\mu_d)\Gamma(\mu_c)\Gamma(\mu_d+k+1/2)\Gamma(\mu_c+l+1/2)k!l!};$$
$$z=\frac{\lambda\mu_d h_d}{\lambda\mu_d h_d+S\mu_c h_c} \tag{8}$$

gde je sa $B_z(a,b)$ označena nepotpuna Beta funkcija.

III. STANDARDNE MERE PERFORMANSI SISTEMA

Verovatnoća otkaza (P_{out}) je standardna mera performansi bežičnih sistema koji radi preko feding kanala. Ova mera performansi je veoma značajna u slučajevima kada je prisutna ko-kanalna interferencija. U okruženjima sa ko-kanalnom interferencijom kao dominantnom smetnjom, P_{out} se definiše kao verovatnoća da postignuti nivo SIR-a na prijemu bude manji od vrednosti praga γ dovoljnog za zadovoljavajući prijem. Verovatnoća otkaza pomoću funkcije kumulativne raspodele može biti određena:

$$P_{out}=P_R(\varsigma<\gamma)=\int_0^\gamma p_\varsigma(t)\,dt=P_\varsigma(\gamma) \tag{9}$$

Verovatnoća otkaza je tesno povezana sa drugim merama performansi sistema kao što su redukcioni faktor ko-kanalne interferencije i pokrivenost oblasti ćelijskog sistema. Redukcioni faktor ko-kanalne interferencije predstavlja minimalno rastojanje između bilo koje dve bazne stanice koje u najgorem slučaju obezbeđuju verovatnoću prekida ne veću od zahtevanih vrednosti. Drugi parametar sistema koji se može izračunati na osnovu verovatnoće prekida je oblast pokrivanja, oblast u kojoj će verovatnoća prekida sigurno biti manja od zadatog praga.

U okruženju gde je ko-kanalna interferencija dominantna smetnja, ABER (srednja verovatnoća greške po bitu) se može izračunati usrednjavanjem uslovne verovatnoće greške P_e po gustini verovatnoće raspodele SIR [10-13]:

$$\bar{P}_e=\int_0^\lambda P_e(\lambda)p_\lambda(\lambda)d\lambda \tag{10}$$

Prilikom prenosa upotrebom nekoherentne frekvencijske modulacije (NCFSK) ili diferencijalne nekoherentne fazne modulacije (BPSK), uslovna verovatnoća greške za dati SIR, data je pomoću P_e =1/2 *exp* (-αλ), gde je α=1 za binarnu PSK, i α=1/2 za nekoherentnu FSK. Posle zamene (6) u (10), koristeći [14] prethodni izraz se može napisati kao :

$$\bar{P}_e = \sum_{k=0}^{\infty}\sum_{l=0}^{\infty} \frac{\pi H_d^{2l} H_c^{2k} \Gamma(2k+2l+2\mu_c+2\mu_d)\Gamma(2l+2\mu_d)}{2^{2k+2l+2\mu_c+2\mu_d-1} h_d^{2l+\mu_d} h_c^{2k+\mu_c} \Gamma(\mu_d)\Gamma(\mu_c)} \cdot \frac{\psi\left(2l+2\mu_d; 1-2k+2\mu_c; \frac{\alpha S \mu_c h_c}{\lambda \mu_d h_d}\right)}{\Gamma(\mu_d+k+1/2)\Gamma(\mu_c+l+1/2)k!l!} \quad (11)$$

gde je sa $\psi(a,b,x)$ označena konfluentna hipergeometrijska funkcije druge vrste [14]. Najbolju potvrdu generalnosti ove analize, predstavlja činjenica, da se upotrebom matematičkih transformacija, za odgovarajuće vrednosti parametara sistema, dobijaju izrazi za srednju verovatnoću greške po bitu, koji odgovaraju rezultatima iz [15]. Za slučaj prenosa upotrebom koherentne frekvencijske modulacije (CFSK) ili fazne modulacije (CPSK), uslovna verovatnoća greške za dati SIR, data je pomoću:

$$P_e = \frac{1}{2}\mathrm{e}\,rfc(\sqrt{\alpha\lambda}) = \frac{1}{2}\left(1 - 2\sqrt{\frac{\alpha\lambda}{\pi}}\ {}_1F_1\left(\frac{1}{2};\frac{3}{2};-\alpha\lambda\right)\right) \quad (12)$$

Nakon zamene (6) u (12), uz upotrebu jednakosti:

$$\int_0^{\infty} x^{q-1}\exp(-px)(1+ax)^{-v}\,dx = a^{-q}\,\Gamma(q)\,\Psi(q,q+1-v,\frac{p}{a}) \quad (13)$$

dobijamo:

$$\bar{P}_e = \sum_{k=0}^{\infty}\sum_{l=0}^{\infty} \frac{(S\mu_c)^{2k-2l+2\mu_c-2\mu_d}\mu_d^{2l-2k-2\mu_c+2\mu_d}\pi H_d^{2l}H_c^{2k}}{2^{2k+2l+2\mu_c+2\mu_d-1}h_d^{2l+\mu_d-\mu_c}h_c^{2k+\mu_c-\mu_d}\Gamma(\mu_d)\Gamma(\mu_c)} \cdot \frac{\Gamma(2k+2\mu_c)\Gamma(2l+2\mu_d)}{\Gamma(\mu_d+k+1/2)\Gamma(\mu_c+l+1/2)k!l!} - \sum_{k=0}^{\infty}\sum_{l=0}^{\infty}\sqrt{\pi}(-1)^p g^{2p+1} \frac{(S\mu_c)^{2k-2l+2\mu_c-2\mu_d-2p-1}\mu_d^{2l-2k-2\mu_c+2\mu_d-2p-1}\pi H_d^{2l}H_c^{2k}}{2^{2k+2l+2\mu_c+2\mu_d-2}h_d^{2l+\mu_d-\mu_c+2p+1}h_c^{2k+\mu_c-\mu_d}\Gamma(\mu_d)\Gamma(\mu_c)} \cdot \frac{\Gamma(2k+2\mu_c)\Gamma(2l+2\mu_d)}{\Gamma(\mu_d+k+1/2)\Gamma(\mu_c+l+1/2)k!l!p!} \quad (14)$$

IV. EFEKAT UPOTREBE DIVERZITI PRIJEMA

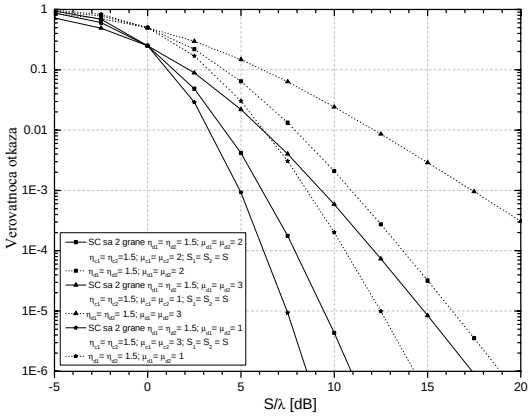
Uticaji fedinga i efekti ko-kanalne interferencije mogu biti ublaženi upotrebom tehnika prijema pomoću prostornih diveziti tehnika. One poboljšavaju pouzdanost prenosa bez povećanja emitovane snage i širine propusnog opsega, a takođe se povećava i kapacitet kanala. Prema kompleksnosti realizacije postoji nekoliko tipova prostornog diverziti prijema, a selektivno kombinovanje (SC) je jedan od najmanje kompleksnih. U feding okruženjima gde je nivo CCI dovoljno visok u odnosu na termalni šum (ćelijskog sistema), višeantenski SC prijemnik selektuje (bira) granu sa najvećim odnosom SIR. U SC diverziti prijemniku sa više grana koje su nekolerisane, gustina verovatnoće odnosa SIR na izlazu prijemne strukture je data sa:

$$p_\lambda(t) = \sum_{j=1}^{N} p_{\lambda_j}(t)\prod_{\substack{k=1\\k\neq j}}^{N} F_{\lambda_k}(t) \quad (15)$$

gde N označava broj grana.

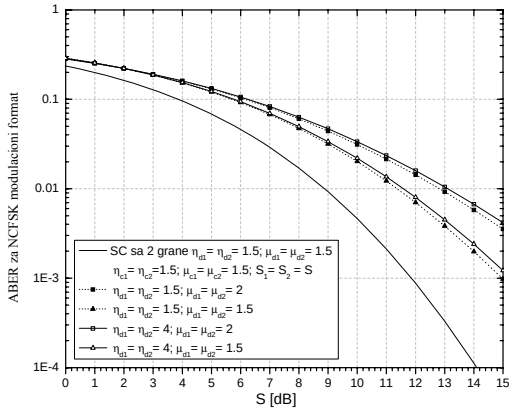
V. NUMERIČKI REZULTATI

Numerički rezultati dobijeni za verovatnoću otkaza u funkciji srednje vrednosti snage SIR na prijemu, su prikazane na Sl. 1, za različite vrednosti parametra sistema i slučaj upotrebe diverziti prijema.



Slika 1. Verovatnoća otkaza za različite vrednosti parametara sistema i slučaj upotrebe diverziti prijema

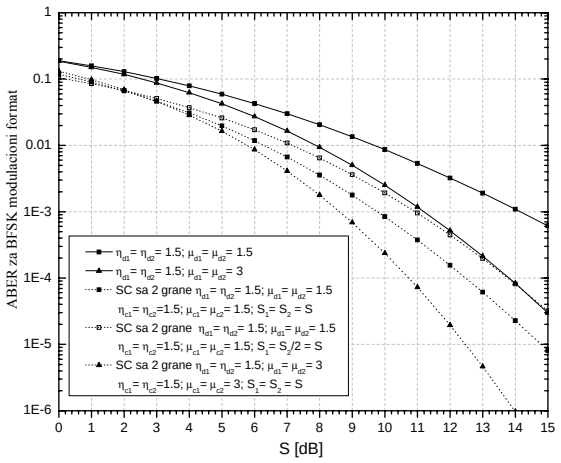
Numerički rezultati dobijeni za verovatnoću otkaza u funkciji normalizovanog praga prekida, su prikazane na Sl. 1, za različite vrednosti parametra sistema i slučaj upotrebe diverziti prijema. Sa slike je vidljivo da se veće vrednosti verovatnoće otkaza dobijaju u oblastima većih vrednosti parametara μ (veći broj propagacionih klastera kroz koji se signal prostire). Vidljiv je uticaj poboljšanja performansi upotrebom diverziti prijema, gde se za iste parametre sistema dobijaju manje vrednosti verovatnoće otkaza za više od jednog reda veličine.



Slika 2. Srednja verovatnoća greške po bitu pri prenosu signala NCFSK modulacionim formatom za različite vrednosti parametara sistema i slučaj upotrebe diverziti prijema

Numerički rezultati dobijeni za srednju verovatnoću greške po bitu u funkciji srednje vrednosti snage SIR na prijemu, su prikazani na Sl. 2 i 3, za različite vrednosti parametara sistema i slučaj upotrebe diverziti prijema, kada se koriste NCFSK i BPSK modulacioni formati pri prenosu. Sa Sl. 2 i 3 možemo videti kako ABER raste u oblastima većih vrednosti parametara η (veća dubina uticaja fedinga). Možemo uočiti da se performanse poboljšavaju za oko 3 dB u širokom opsegu

zahtevanih verovatnoća prekida (P_{out} = 10^{-2} - 10^{-6}) za slučaj upotrebe SC diverziti prijemnika sa 2 grane.



Slika 3. Srednja verovatnoća greške po bitu pri prenosu signala BPSK modulacionim formatom za različite vrednosti parametara sistema i slučaj upotrebe diverziti prijema

Sa Sl. 3 možemo uočiti da je balansiranost SC prijema važna stavka pri poboljšanju performansi, jer dolazi do znatne degradacije vrednosti ABER pri prijemu sa nebalansiranim odnosom SIR na granama. Najzad poređenjem Sl. 2 i 3 zaključujemo da se primenom prenosa signala NCFSK modulacionog formata postižu bolje performance u odnosu na slučaj prenosa BPSK modulacionom tehnikom.

VI. ZAKLJUČAK

Performanse bežičnog prenosa preko kanala sa η-μ fedingom u prisustvu ko-kanalne interferencije kao dominantne smetnje su analizirane u ovom radu. Izvedeni su izrazi u zatvorenom obliku za funkciju gustine verovatnoće (PDF) i kumulativne funkcie raspodele (CDF), odnosa SIR na prijemu. Na osnovu njih predstavljeni su izrazi i izračunate vrednosti verovatnoće otkaza i srednje verovatnoće greške po bitu (ABEP) pri prenosu različitim modulacionim formatima. Zatim je pokazan uticaj SC diverziti prijema na poboljšanje performansi za različite vrednosti parametara sistema. Doprinos rada se ogleda i u generalnosti razmatranog modela, koji kao specijalne slučajeve, unutar sebe uključuje i druge feding modele, kao što su Hojtov, Nakagami-m i jednostrani Gausov.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva za nauku Republike Srbije u okviru projekta III-44006. Takođe se zahvaljujemo i Radio Televiziji Republike Srpske zbog finansiranja učešća na simpozijumu Infoteh 2012.

LITERATURA

[1] J. Proakis, "Digital Communications", 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2001

[2] G. L. Stuber, "Mobile communications", New York: Kluwer, 2nd edn. 2003.

[3] A. Goldsmith, "Wireless communications", Cambrage University press, 2005

[4] M. K. Simon, M. S. Alouini, "Digital Communications Over Fading Channels", New York: Wiley, 2nd edn. 2005

[5] D. B. da Costa and M. D. Yacoub, The η-μ joint phase-envelope distribution, IEEE Ant. and Wirel. Propag. Lett., vol. 6, pp. 195-198, 2007.

[6] M. D. Yacoub, G. Fraindraich, B. T. Hermano, M. T. Cesar" The symmetrical η - κ distribution : A general fading distribution", IEEE Transactions on Brodcasting, 2005, vol. 51, no.4, pp. 504-511.

[7] W.C.Y. Lee, "Mobile communications engineering" (Mc-Graw-Hill, 2001).

[8] D. Austin, L. Stuber, "In-service signal quality estimation for TDMA cellular systems", Sixth IEEE international symposium on personal, indoor and mobile radio communications, PIMRC '95 Toronto, ON, Canada. pp. 836–40 , (1995).

[9] 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

[10] 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.

[11] 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

[12] 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.

[13] 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.

[14] I. Gradshteyn, I. Ryzhik. "Tables of Integrals, Series, and products". Academic Press, New York, 1980

[15] Petar Spalević, Mihajlo Stefanović, Stefan Panić, Borivoje Milošević, Zoran Trajčevski *"The co-channel interference effect on average error rates in Hoyt fading channels",* Revue Roumaine des Sciences Techniques. Ser. Electrotechnique et Energetique, ISSN: 0035-4066, accepted for publication in March 2011

ABSTRACT

In this paper influence of co-channel (CCI) interference on the digital mobile radio systems operating over η-μ fading channels is examined. Useful closed-form expressions will be derived for the outage probability and average bit error probability over coherent and non-coherent frequency and phase-shift keying modulation schemes in interference limited system. The effect of selection diversity on the performance improvement for various values of fading severity, modulation type, input signal-to-interference ratio (SIR) unbalance will be also examined.

THE CO-CHANNEL INTERFERENCE EFFECT ON WIRELESS TRANSMISSIOM PERFORMANCES OVER H-M FADING CHANNELS

Stefan R. Panic, Goran Stamenkovic, Srboljub Zdravkovic, Dejan Jaksic, Sinisa Ninkovic