

ANALITIČKI MODEL ZA ODREĐIVANJE PERFORMANSI OFDM DIVERSITY SISTEMA U USLOVIMA RICE-OVOG FEDINGA

Maja Ilić, Enis Kočan, Milica Pejanović-Đurišić, *Elektrotehnički fakultet u Podgorici*

Sadržaj - U radu je dat analitički model za detaljno izvođenje izraza za vjerovatnoću greške po bitu (BER – Bit Error Rate) OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing) sistema sa prijemnim prostornim diversity-jem i kombinovanjem sa maksimalnim odnosom (MRC – Maximal Ratio Combining) na nivou podnosilaca. Pretpostavljeno je indoor okruženje koje karakteriše prenosni kanal sa Rice-ovim fedingom. Sprovedena analiza podrazumijeva određene aproksimacije, pa su posebno razmatrane performanse sistema u oblasti manjih i većih vrijednosti srednjeg odnosa signal/šum (SNR – Signal-to-Noise Ratio). Simulacijom je potvrđena validnost predloženog analitičkog modela.

1. UVOD

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) predstavlja modulacionu tehniku kojom se ostvaruje prenos podataka preko više paralelnih grana. Upotrebom ortogonalnih podnosilaca izbjegava se ICI (Inter Carrier Interference) i ostvaruje veća spektralna efikasnost. Međutim, prilikom prostiranja signala kanalom sa frekvencijski selektivnim fedingom, dolazi do povećanja nivoa kako ICI, tako i ISI (Inter Symbol Interference) [1]. Jedan od načina za poboljšanje kvaliteta uspostavljene veze i u takvim uslovima je implementacija diversity tehnika. Suština tog rješenja je u formiranju većeg broja prenosnih puteva sa nezavisnim (nekoreliranim) fedinzima kojima se prenosi ista poruka. U slučaju implementacije diversity sistema na strani prijema, na signale prenete različitim prenosnim putevima primjenjuje se odgovarajuće kombinovanje. Na taj način se formira izlazni signal sa znatno manjim varijacijama nivoa anvelope, čime se smanjuje i vjerovatnoća donošenja pogrešne odluke.

U ovom radu se razmatra OFDM sistem sa prijemnim prostornim diversity-jem i MRC (Maximal Ratio Combining) kombinovanjem. Pri tome je dato kompletno izvođenje analitičkog modela kojim se mogu definisati performanse analiziranog sistema, izražene vrijednošću vjerovatnoće greške na njegovom izlazu. Pretpostavljeno je indoor okruženje u kome je ostvarena direktna vidljivost predajne i prijemne antene, tako da je multipath efekat okarakterisan varijacijama anvelope primljenog signala koje se statistički opisuju Rice-ovom raspodjelom. Pokazuje se da u tim uslovima prostiranja signala, kada je konkretan sistem razmatran u ovom radu u pitanju, nije moguće definisati analitički izraz za BER u zatvorenoj formi. Polazeći od toga, predstavljen je model za određivanje BER koji je zasnovan na određenim aproksimacijama karakteristika kanala, definisanim u zavisnosti od nivoa ostvarenog srednjeg odnosa signal/šum (SNR) na izlazu sistema. Tako je najprije, uz određene uslove, kanal sa Rice-ovim fedingom aproksimiran kanalom sa Nakagami- m fedingom. Međutim, upoređenjem sa rezultatima dobijenim primjenom samostalno razvijenog simulacionog modela, pokazano je da se takva aproksimacija može zadovoljavajuće primijeniti samo u opsegu manjih vrijednosti SNR-a. Polazeći od takvog

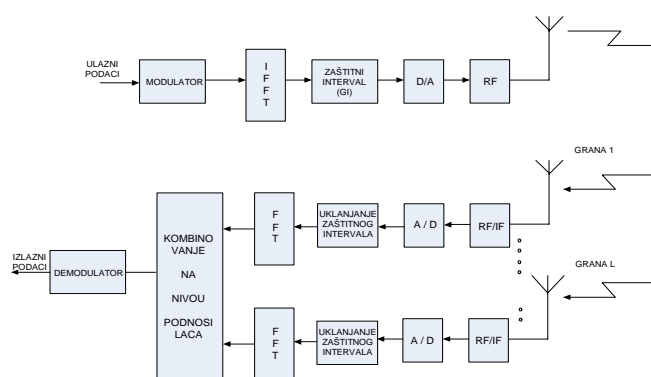
zaključka, u radu je predložen pristup zasnovan na određivanju asimptotskih vrijednosti BER. U odnosu na rješenje koje postoji u literaturi [2], prezentirani model omogućava značajno jednostavnije analitičko izračunavanje BER-a za razmatrane OFDM sisteme sa prijemnim prostornim diversity-jem i MRC kombinovanjem u uslovima velikog SNR-a. Validnost predloženog modela je verifikovana upoređenjem sa vrijednostima dobijenim simulacionim modelom za sistem sa 2 i 3 diversity grane.

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnih razmatranja, u drugom poglavlju je opisan razmatrani OFDM sistem sa prijemnim diversity-jem i MRC kombinovanjem, kao i model korišćen za njegovu simulaciju. Analitički postupak za izračunavanje BER-a na izlazu analiziranog sistema je dat u trećem poglavlju. Nakon toga su opisane performanse sistema pri velikim odnosima signal/šum i predstavljen je novi pristup izračunavanju asimptotske vrijednosti BER-a. Peto poglavlje sadrži zaključna razmatranja.

2. MODEL SISTEMA

Pri implementaciji prijemnog diversity-ja, kombinovanje primljenih signala kod OFDM sistema može da se vrši na nivou podnosilaca (uskopojasno) ili na nivou čitavog OFDM simbola (širokopojasno). Primjenom širokopojasnog kombinovanja dobijaju se nešto lošiji rezultati [3], jer se odlučivanje vrši na osnovu primljene snage čitavog OFDM simbola, pri čemu svi podnosioci ne moraju biti optimalni. U analizi predstavljenoj u ovom radu, pretpostavljeno je uskopojasno kombinovanje.

Principska šema razmatranog OFDM prijemnog prostornog diversity sistema sa MRC kombinovanjem na nivou podnosilaca data je na slici 1.



Slika 1. Šema OFDM sistema sa prostornim prijemnim diversity-jem (L -broj nezavisnih diversity grana na prijemu)

Model za simulaciju sistema ilustrovanog na slici je realizovan u osnovnom opsegu učestanosti, tako da su zanemareni sklopovi koji vrše digitalno/analognu konverziju i transliranje u opseg RF učestanosti kod predajnika. Na strani prijema su izostavljeni sklopovi za RF/IF translaciju kao i analogno digitalni konvertor. FFT (Fast Fourier

Transform) sklopom je ostvarena brza Fourier-ova transformacija u prijemniku, dok se IFFT (*Inverse FFT*) sklopom realizuje inverzna operacija u predajniku. Generisane su potpuno nezavisne putanje, čime je ispunjen osnovni preduslov za ostvarivanje efikasnog diversity sistema. U predajniku je implementiran M-arni PSK modulator. Šum koji unosi kanal je realizovan kao aditivni bijeli Gausov šum, a sam kanal je opisan Rice-ovim fedingom. Pretpostavljeno je da je feding dovoljno spor tako da se karakteristike kanala ne mijenjaju u toku prenosa jednog OFDM simbola. Razmatran je slučaj kada postoji samo jedan korisnik, odnosno ne dolazi do pojave near-far efekta. Dužina zaštitnog intervala OFDM simbola je definisana tako da bude veća od trajanja impulsnog odziva kanala, kako bi se minimizirala pojava intersimbolske interferencije u sistemu. U analiziranom i simuliranom OFDM sistemu dodatno je, u cilju povećanja otpornosti na ICI i ISI, implementiran prostorni prijemni diversity sistem sa L grana. Pretpostavljeno je kombinovanje sa maksimalnim odnosom, koje podrazumijeva faznu ekvilizaciju i množenje signala iz svake od l grana, $l = 1, 2, \dots, L$, faktorom proporcionalnim njegovoj amplitudi. Nakon toga je vršeno sumiranje tako dobijenih signala.

Smatrano je da je ostvarena idealna sinhronizacija između predajnika i prijemnika. Podrazumijevano je idealno poznavanje kanala, čime je omogućena fazna ekvilizacija i određivanje težinskih koeficijenata prilikom kombinovanja signala. Vrijednosti parametara korišćenih u simulaciji su navedeni u Tabeli 1.

Tabela 1: *Parametri simulacije*

Modulacija	BPSK
Brzina prenosa	50 Mb/s
Broj podnosilaca	256
Max delay spread	250 ns
Ukupno trajanje OFDM simbola	6,144 μ s
Rice-ov faktor K	2,5 (4 dB)
Broj diversity grana L	2 i 3

3. BER ZA OFDM PRIJEMNI DIVERSITY SISTEM SA MRC

U postupku izvođenja izraza za vjerovatnoću greške po bitu na izlazu iz prikazanog sistema, pretpostavljen je dovoljno spor feding tako da se može smatrati da se karakteristike kanala ne mijenjaju u toku prenosa jednog OFDM simbola. Razmatranje se odnosi na kanal sa ravnim fedingom, što je u slučaju OFDM-a u potpunosti primjenjivo i kad je u pitanju frekvencijski selektivan kanal, pod uslovom da se kombinovanje obavlja na nivou podnosilaca [3]. Uz navedeni uslov, za analizirani OFDM sistem sa koherentnom PSK modulacijom validna je standardna relacija za uslovnu vjerovatnoću greške za PSK signale. Ako se trenutna vrijednost prijemnog odnosa signal/šum označi sa γ_b , tada je uslovna vjerovatnoća greške definisana izrazom:

$$P_{e|\gamma_b}(\gamma_b) = Q(\sqrt{2a\gamma_b}) \quad (1)$$

gdje je sa a označen parametar koji zavisi od primijenjene modulacije/ demodulacije, i za MPSK signale ima vrijednost $a = \sin^2 \pi/M$. $Q(x)$ je Gauss-ova Q -funkcija. Kako je u prisustvu fedinga γ_b slučajna promjenjiva, za dobijanje BER-a potrebno je izvršiti odgovarajuće usrednjavanje (1):

$$P_e = \int_0^\infty P_{e|\gamma_b}(\gamma_b) p(\gamma_b) d\gamma_b \quad (2)$$

Sa $p(\gamma_b)$ je označena funkcija gustine vjerovatnoće primljenog SNR-a čiji oblik zavisi od tipa propagacionog okruženja.

U slučaju koherentne MPSK modulacije izraz (2) se može napisati u obliku:

$$P_e = \int_0^\infty \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \exp\left(-\frac{\sin^2 \pi/M \gamma_b}{\sin^2 \theta}\right) d\theta p(\gamma_b) d\gamma_b \quad (3)$$

Kako je već rečeno, analiza data u ovom radu se odnosi na indoor okruženje u kome primljeni signal sadrži dominantnu direktnu komponentu i više slabijih, reflektovanih. Multipath efekat se karakteriše varijacijama u anvelopi primljenog signala koje se statistički opisuju Rice-ovom raspodjelom, tako da je izraz za funkciju gustine vjerovatnoće primljenog SNR-a po bitu:

$$p(\gamma_b) = \frac{(1+K)}{\log_2 M \cdot \gamma_b} e^{-K} \exp\left(-\frac{(1+K)\gamma_b}{\gamma_b}\right) I_0\left(2\sqrt{\frac{K(1+K)}{\gamma_b}}\right) \quad (4)$$

gdje je sa K označen Rice-ov faktor koji predstavlja odnos snage direktne komponente signala i ukupne snage reflektovanih komponenti. $I_0(\cdot)$ je Bessel-ova funkcija nulgot reda prve vrste, a $\bar{\gamma}_b$ je srednja vrijednost SNR-a po bitu.

Na izlazu sistema prikazanog na slici 1, ukupni trenutni SNR po bitu, γ_b , dobija se nakon MRC kombajnera i dat je izrazom:

$$\gamma_b = \sum_{l=1}^L \gamma_l \quad (5)$$

Pretpostavljajući da su $\gamma_l |_{l=1,2,\dots,L}$ nezavisne slučajne promjenjive, združena funkcija gustine vjerovatnoće ukupnog trenutnog SNR-a $p(\gamma_b)$ je:

$$p(\gamma_b) = p(\gamma_1, \dots, \gamma_L) = \prod_{l=1}^L p(\gamma_l) \quad (6)$$

Uvrštavanjem (6) u (3), BER na izlazu sistema sa implementiranim diversity-jem sa L grana postaje:

$$P_e = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \exp\left(-\frac{\sin^2 \pi/M \gamma_l}{\sin^2 \theta}\right) \prod_{l=1}^L p(\gamma_l) d\theta \cdot d\gamma_1 \dots d\gamma_L \quad (7)$$

Mijenjajući redoslijed integracije, i imajući u vidu da je MGF (*Moment Generating Function*) definisana kao Laplace-ova transformacija funkcije gustine vjerovatnoće:

$$M_{\gamma_l}(s) = \int_0^\infty e^{-s\gamma_l} p(\gamma_l) d\gamma_l \quad (8)$$

izraz (8) može da se zapiše i u obliku:

$$P_e = \frac{1}{\pi} \frac{1}{(\log_2 M)^L} \int_0^{(M-1)\pi/M} \prod_{l=1}^L M_{\gamma_l}\left(-\frac{\sin^2 \pi/M}{\sin^2 \theta}\right) d\theta \quad (9)$$

U cilju nalaženja analitičkog rješenja integrala u gornjoj relaciji potrebno je raspolagati izrazom za MGF u zatvorenoj formi. U ovoj analizi to je postignuto aproksimiranjem razmatranog kanala sa Rice-ovim fedingom kanalom sa Nakagami- m fedingom [4], čija je funkcija gustine vjerovatnoće data izrazom:

$$p(\gamma_b) = \frac{m^m \gamma_b^{m-1}}{\log_2 M \gamma_b \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{m\gamma_b}{\gamma_b}\right), \quad \gamma_b \geq 0 \quad (10)$$

Pri tome, uvedena aproksimacija važi pod uslovom da je

$$m = \frac{(1+K)^2}{1+2K} \quad \text{tj.} \quad K = \frac{\sqrt{m^2 - m}}{m - \sqrt{m^2 - m}}, \quad m \geq 1$$

gdje m označava parametar Nakagami- m fedinga, dok je $\Gamma(\cdot)$ gama funkcija. Uvođenjem opisane aproksimacije, dobija se MGF za Nakagami- m raspodjelu:

$$M_{\gamma_l}(s) = \left(\frac{m_l}{m_l - s\gamma_l} \right)^{m_l} \quad (11)$$

m_l je parametar Nakagami- m fedinga l -te diversity grane, dok je γ_l srednja vrijednost SNR-a l -te grane.

Ako se uzme da su srednje vrijednosti SNR-a u svim granama jednake, $\bar{\gamma}_l = \bar{\gamma}$, $l=1, \dots, L$, ostvareno MRC kombinovanje postaje optimalno. Uz dodatnu pretpostavku da sve grane imaju isti parametar fedinga $m_l = m$, $l=1, \dots, L$, dobija se sledeći izraz za BER na izlazu analiziranog MPSK OFDM sistema sa diversity-jem:

$$P_e = \frac{1}{\log_2 M} \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \left(\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta + c} \right)^{mL} d\theta, \quad c = \frac{\bar{\gamma}}{m} \sin^2 \pi/M \quad (12)$$

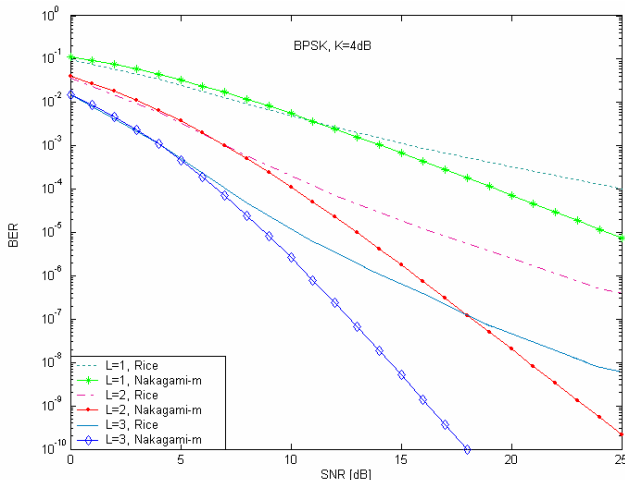
U slučaju BPSK modulacije, izraz (12) se svodi na:

$$P_e = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left(\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta + \bar{\gamma}/m} \right)^{mL} d\theta \quad (13)$$

pri čemu se za slučaj kad je m cijeli broj, rješenje za BER dobija u zatvorenoj analitičkoj formi:

$$P_e = \left(\frac{1-\mu}{2} \right)^{mL} \sum_{k=0}^{mL-1} \binom{mL-1+k}{k} \left(\frac{1+\mu}{2} \right)^k, \quad \mu = \sqrt{\bar{\gamma}/(m+\bar{\gamma})} \quad (14)$$

Validnost izvedenog izraza (14), odnosno uvedene Nakagami- m aproksimacije kanala sa Rice-ovim fedingom, provjerena je upoređivanjem sa performansama analiziranog sistema dobijenim primjenom modela simulacije opisanog u poglavlju 2. Slika 2 ilustruje dobijene rezultate za BER u slučaju BPSK modulacije i $L=2$ i 3 diversity grane, kao i BER za osnovni sistem bez primijenjenog diversity-ja. Uzeto je da Rice-ov faktor ima vrijednost $K=4$ dB.



Slika 2. Poređenje vrijednosti BER-a za Nakagami- m kanal i simulirani Rice-ov kanal

Očigledno je da uvedena aproksimacija Rice-ove funkcije gustine vjerovatnoće Nakagami- m funkcijom omogućava značajno pojednostavljenje izračunavanja BER. Međutim rezultati prikazani na slici 2 pokazuju da se za vrijednosti SNR-a veće od oko 10 dB pojavljuje značajno odstupanje između simuliranih i izračunatih vrijednosti BER-a, što je u skladu i sa rezultatima datim u [5]. Drugim riječima, predstavljeni model se može smatrati validnim samo za niže vrijednosti srednjeg SNR-a, što uslovljava potrebu njegove korekcije.

4. ASIMPTOTSKE VRIJEDNOSTI BER

Za određivanje performansi analiziranog sistema i u uslovima srednjeg SNR iznad vrijednosti od oko 10dB, može se poći od pojednostavljene MGF za Rice-ovu raspodjelu u obliku:

$$M_{\gamma_l}(s) = \frac{(1+K_l)}{1+K_l - s\gamma_l} \exp\left(\frac{K_l \bar{\gamma}_l}{1+K_l - s\gamma_l} \right) \quad (15)$$

gdje je K_l Rice-ov faktor za granu l . Izraz za vjerovatnoću greške po bitu na izlazu iz MRC kombajnera, shodno izrazima (9) i (15) postaje:

$$P_e = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{M-1}{M}\pi} \prod_{l=1}^L \frac{(\log_2 M)^{-1} \sin^2 \theta}{\sin^2 \theta + \frac{\sin^2 \pi/M}{1+K_l} \bar{\gamma}_l} \exp\left(-\frac{\frac{K_l}{1+K_l} \bar{\gamma}_l \sin^2 \pi/M}{\sin^2 \theta + \frac{\sin^2 \pi/M}{1+K_l} \bar{\gamma}_l} \right) d\theta \quad (16)$$

Vrijednost integrala (16) nije moguće naći u zatvorenoj formi, ali se, u uslovima velikih vrijednosti srednjeg SNR-a ($\bar{\gamma}_l \geq 10$ dB), može odrediti njegova asimptota. Ako se pretpostavi da je:

$$\frac{\sin^2 \pi/M}{1+K_l} \bar{\gamma}_l \gg \sin^2 \theta \quad (17)$$

izraz (16) može da se vrlo približno svede na oblik:

$$P_{e,asimpt} \approx \frac{1}{(\log_2 M)^L} \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{M-1}{M}\pi} \prod_{l=1}^L \frac{(1+K_l) \sin^2 \theta}{\sin^2 \pi/M \bar{\gamma}_l} \exp(-K_l) d\theta \quad (18)$$

Koristeći razvoj:

$$\sin^{2L} \theta = \frac{1}{2^{2L}} \left[\binom{2L}{L} + 2 \sum_{l=1}^L \binom{2L}{L-l} (-1)^l \cos 2l\theta \right] \quad (19)$$

izraz (18) postaje:

$$P_{e,asimpt} \approx \frac{\prod_{l=1}^L (1+K_l)}{2^{2L} (\log_2 M)^L} \prod_{l=1}^L \frac{\exp(-K_l)}{\bar{\gamma}_l} \cdot \left[\frac{M-1}{M} \binom{2L}{L} + \sum_{l=1}^L \binom{2L}{L-l} (-1)^l \frac{\sin\left(2l \frac{M-1}{M} \pi\right)}{l\pi} \right] \quad (20)$$

Konačno, dobija se da BER za MPSK OFDM sisteme sa prijemnim diversity-jem sa L nezavisnih grana i MRC kombinovanjem, u uslovima velikih vrijednosti srednjeg SNR-a teži vrijednosti:

$$P_{\text{easimpt}} \approx \frac{\prod_{l=1}^L (1 + K_l)}{2^{2L} (\log_2 M \sin^2 \pi/M)^L} \exp\left(-\sum_{l=1}^L K_l\right) \cdot \left[\frac{M-1}{M} \binom{2L}{L} - \sum_{l=1}^L \binom{2L}{L-l} (-1)^l \frac{\sin \frac{2l\pi}{M}}{l\pi} \right] \quad (21)$$

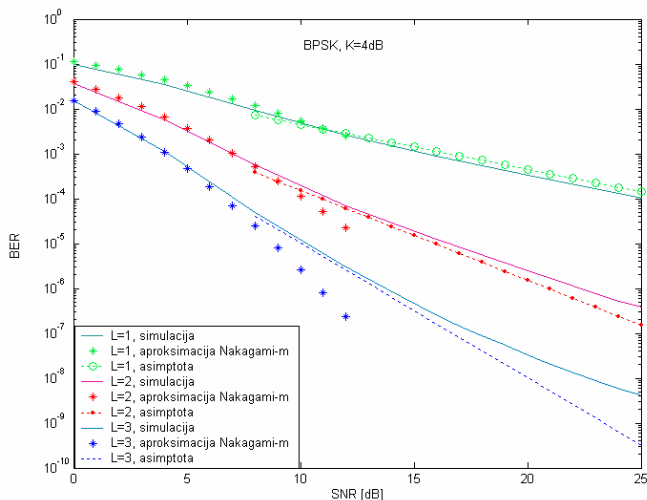
Uz pretpostavku da sve diversity grane imaju iste karakteristike, tj. $K_l=K$, i $\bar{\gamma}_l=\bar{\gamma}$, $l=1, \dots, L$ izraz (21) se svodi na:

$$P_{\text{easimpt}} \approx \frac{(1+K)^L \exp(-LK)}{2^{2L} (\bar{\gamma} \log_2 M \sin^2 \pi/M)^L} \cdot \left[\frac{M-1}{M} \binom{2L}{L} - \sum_{l=1}^L \binom{2L}{L-l} (-1)^l \frac{\sin \frac{2l\pi}{M}}{l\pi} \right] \quad (22)$$

Za BPSK modulirani signal ($M=2$) izraz (22) se dalje pojednostavljuje:

$$P_{\text{easimpt}} \approx \binom{2L}{L} \frac{(1+K)^L \exp(-LK)}{2^{2L+1} \bar{\gamma}^L} \quad (23)$$

Slika 3 prikazuje, za BPSK modulaciju i $L=2$ i 3 diversity grane, odnos BER vrijednosti u simuliranom modelu i vrijednosti dobijenih na osnovu izraza (23). Istovremeno su dati i rezultati dobijeni na osnovu izraza (14) za vrijednosti srednjeg SNR manje od 10dB.



Slika 3: Poređenje analitičkih i simuliranih vrijednosti BER za OFDM sa prijemnim MRC diversity sistemom, $K=4$ dB

Očigledno je, da pri srednjem SNR većem od 10dB, izračunate asimptotske vrijednosti za BER vrlo malo odstupaju od simuliranih rezultata. Drugim riječima, predloženi analitički model za utvrđivanje asimptotske vrijednosti BER-a razmatranog sistema može se smatrati validnim. Prednost usvojenog pristupa je prije svega u činjenici da značajno pojednostavljuje određivanje performansi analiziranog sistema. Pored toga, njegovim kombinovanjem sa pristupom zasnovanim na uvođenju

Nakagami- m aproksimacije za karakteristike kanala, dobija se model za određivanje performansi konkretnog sistema koji se može primijeniti u cjelokupnom opsegu ostvarenih vrijednosti izlaznog SNR-a.

5. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran postupak definisanja analitičkog modela za izračunavanje BER-a na izlazu OFDM sistema sa primijenjenim prostornim diversity-jem na mjestu prijema i MRC kombinovanjem, za MPSK modulaciju. Pretpostavljeno je indoor okruženje, odnosno kanal sa Rice-ovim fedingom. U cilju dobijanja analitičkih izraza za BER u zatvorenoj formi, u zavisnosti od opsega vrijednosti srednjeg SNR na izlazu analiziranog sistema, predložen je model zasnovan na dva različita pristupa: aproksimaciji kanala Nakagami- m raspodjelom i određivanju asimptotske vrijednosti BER-a. Upoređivanjem numeričkih rezultata dobijenih na taj način, za BPSK modulaciju u OFDM predajniku, sa vrijednostima BER realizovanim sopstveno razvijenim simulacionim modelom, potvrđena je validnost predloženog modela.

LITERATURA

- [1] Pejanović M, Veljović Z, "The Impact of Antenna Diversity on Performance of OFDMA Systems in a Time-Selective Fading Channel", *Int. Conf. WPMC 2004*, September 2004
- [2] Hisham S. Abdel-Ghaffar, Subbarayan Pasupathy, "Asymptotical Performance of M -ary and Binary signals over Multipath/Multichannel Rayleigh and Rician Fading", *IEEE Trans. on Comm.* vol. 43, NO. 11, pp. 2721-2730, November 1995.
- [3] Dennis Lee, Gary J. Saulnier, Zhong Ye, Michael J. Medley, "Antenna Diversity for an OFDM System in a Fading Channel", *IEEE MILCOM*, 1999.
- [4] Marvin K. Simon, Mohamed-Slim Alouini, "Digital Communication over Fading Channels", *Wiley-Interscience*, 2000.
- [5] Zhengdao Wang, Georgios B. Giannakis, "A Simple and General Parameterization Quantifying Performance in Fading Channels", *IEEE Trans. on Communications*, vol. 51, NO. 8, pp. 1389-1398, August 2003.

Abstract – In this paper, OFDM system with MRC diversity at its receiver is analyzed. Assuming communication channel with Rice distributed fading, an analytical model for BER determination is proposed. It is validated through the comparisons with the simulated performance parameters.

ANALYTICAL MODEL FOR OFDM DIVERSITY SYSTEM BER IN RICE FADING CHANNEL

Maja Ilić, Enis Kočan, Milica Pejanović-Đurišić