

Uticaj faznog šuma na detekciju BPSK signala u mobilnom satelitskom kanalu

Aleksandra D. Cvetković¹

Sadržaj — U ovom radu određene su performanse prijemnika binarnog digitalnog fazno modulisanog (BPSK binary phase-shift keying) signala koji se prostire kroz mobilni satelitski telekomunikacioni kanal. Određen je uticaj dubine fedinga, inteziteta zasenčavanja i srednjeg odnosa signal-šum u kanalu na vrednosti verovatnoće greške. Izvršena je analiza uticaja neidealne procene faze dolazećeg signala na performanse prijemnika.

Cljučne reči — Efekat senke, Kompozitni feding, Mobilni satelitski telekomunikacioni kanal, PSK.

I. UVOD

Iako su razvijene u cilju omogućavanja osnovne komunikacije sa nepristupačnih predela na Zemlji i kao sigurno komunikaciono sredstvo u slučaju katastrofa, mobilne satelitske komunikacije su se razvile mnogo izvan granica prvobitnih očekivanja postavši nezaobilazni deo treće i četvrte generacije bežičnih sistema za komunikacije [1].

Kvalitet usluge jednog mobilnog satelitskog telekomunikacionog sistema zavisi od uslova u prenosnom kanalu između satelita i mobilnog korisnika. Prilikom prenosa signala bežičnim putem, usled međusobnog kombinovanja više komponenti signala koje se prostiru po različitim putanjama, dolazi do fluktuacija amplitude signala u vremenu, odnosno do pojave fedinga. Takođe, osim efekta fedinga dolazi i do pojave efekta senke, odnosno slabljenje signala usled specifičnosti propagacionog okruženja (vegetacija, stambeni objekti...). Pošto su mesto, veličina i dielektrične karakteristike objekata, koji se nalaze na putu signala, kao i promene na reflektujućim površinama i objektima koji rasipaju i prouzrokuju slučajno slabljenje signala, uglavnom nepoznati, moraju se koristiti statistički modeli da bi se okarakterisalo ovo slabljenje. Najčešći model za varijaciju srednje snage je lognormalna raspodela.

Kako se različita stanja u kanalu, u zavisnosti od uslova, različito i opisuju, modeli kombinuju više raspodela. U dosadašnjoj literaturi razvijeno je više modela satelitskog telekomunikacionog kanala i oni se mogu podeliti u dve grupe: pojedinačni i kombinovani. Kod pojedinačnih modela, kanal je određen jednom odgovarajućom raspodelom. Takav model kanala je dao Suzuki 1977. godine pri čemu je signal modelovao proizvodom Rejijevog i lognormalnog procesa [2]. Za mobilni satelitski kanal postoje različiti modeli, a jedan od

najčešće korišćenih je predložio Loo i u njemu se kombinuje Rajsova i lognormalna raspodela [3].

Generalno, kod kombinovanih modela kanal se opisuje kombinacijom dve ili više statističke raspodele, uz odgovarajuće težinsko sabiranje. Jedan takav model sa dva stanja predložio je Lutz [4]. U njemu se stanje kanala opisuje kominovanjem Rajsovog i Suzukijevog modela. Ostali modeli sa više stanja su Bartz-Stutzman-ov model koji kombinuje Rice-ovu i Loo-ovu (kombinacija Rice-ove i log-normalne raspodele) raspodelu, Karasawa model, koji se zasniva na tri stanja kanala i to Rice-ovim, Loo-ovim i Rayleigh-ovim modelom. Zatim, Fontan-ov model koji koristi Loo-ov model sa tri različita seta parametara, Rice-Humpherys-ov model sa tri stanja koja koriste Rice-ovu raspodelu sa dva različita seta parametara u kombinaciji sa Suzukijevim modelom [5].

U ovom radu korišćene je Lutz-ov model kanala [4]. Analiziran je prijem binarnog digitalnog fazno modulisanog (BPSK - binary phase-shift keying) signala pri čemu je pretpostavljeno da procena faze dolazećeg signala nije idealna. Fazna greška je slučajni proces sa Tikhonovljevom funkcijom gustine verovatnoće (PDF – probability density function) [6]. Određuje se uticaj fazne greške, dubine fedinga i efekta senke na zavisnost verovatnoće greške od srednjeg odnosa signal-šum u mobilnom satelitskom telekomunikacionom kanalu.

II. MODEL MOBILNOG SATELITSKOG TELEKOMUNIKACIONOG SISTEMA

Da bi se predvideo kvalitet usluga i pouzdanost mobilnog satelitskog telekomunikacionog sistema, potrebno je razviti što realniji model telekomunikacionog kanala. Kao što je već rečeno, Lutz-ov model kanala je definisan u [4] i predstavlja kombinaciju Rice-ovog i kompozitnog (Suzuki-jevog) procesa. Razmatraju se dva stanja kanala, i to sa, i bez dominantne komponente signala. U slučaju kada postoji direktna komponenta, smatra se da je stanje u kanalu dobro, pa anvelopa signala ima Rice-ovu raspodelu sa Rice-ovim faktorom K

$$p_{Rice}(r) = \frac{r}{\sigma_F^2} \exp\left(-\frac{r^2 + A^2}{2\sigma_F^2}\right) I_0\left(\frac{rA}{\sigma_F^2}\right), \quad r \geq 0 \quad (1)$$

gde je A amplituda dominantne komponente, $I_0(\cdot)$ je modifikovana Besselova funkcija prve vrste nultog reda od argumenta x . Rice-ov parametar K definisan je kao odnos snaga direktne i rasejanih komponenta

$$K = \frac{A^2}{2\sigma_F^2} \quad (2)$$

¹Aleksandra D. Cvetković, Elektronski fakultet u Nišu, Srbija (telefon: 063-10-45-991, e-mail: aleksandra321@gmail.com)

Kada direktna komponenta signala usled postojanja prepreka isčezava, što znači da su uslovi u kanalu loši, veći deo snage direktnog talasa koji je nestao preraspodeljuje se po rasejanim talasima koji se prostiru po više putanja. Takođe, uzima se u obzir i efekat senke. Rezultujuća anvelopa $r(t)$ signala na ulazu prijemnika se predstavlja kao proizvod anvelope $r_1(t)$ koja ima Rayleighovu funkciju gustine verovatnoće i anvelope $r_2(t)$ koja ima log-normalnu funkciju gustine verovatnoće.

$$r(t) = r_1(t) \cdot r_2(t) \quad (3)$$

Ako su Rayleigh-eva i log-normalna PDF redom date izrazima

$$p_{r_1}(r_1) = \frac{r_1}{\sigma_F^2} \exp\left(-\frac{r_1^2}{2\sigma_F^2}\right), \quad r_1 \geq 0 \quad (4)$$

i

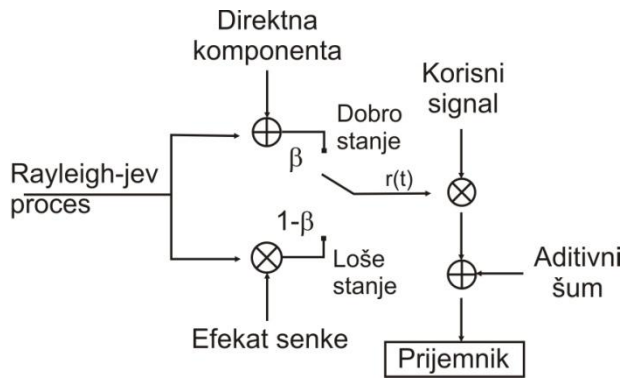
$$p_{r_2}(r_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_s r_2} \exp\left(-\frac{(\ln r_2 - h\mu_s)^2}{2h^2\sigma_s^2}\right), \quad r_2 \geq 0 \quad (5)$$

primenom standardnog postupka transformacije PDF [7], [8], dobija se PDF rezultujuće anvelope signala na ulazu prijemnika kada se kanal nalazi u lošem stanju

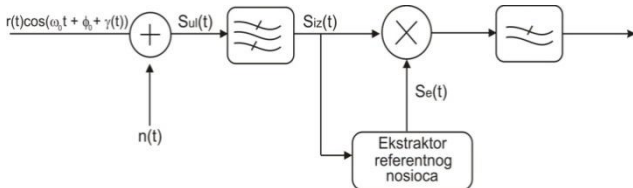
$$p_{\text{komp}}(r) = \int_0^\infty \frac{1}{|w|} \cdot \frac{w}{\sigma_F^2} \exp\left(-\frac{w^2}{2\sigma_F^2}\right) \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}h\sigma_s r} \exp\left(-\frac{(\ln \frac{r}{w} - h\mu_s)^2}{2h^2\sigma_s^2}\right) dw \quad (6)$$

gde je $2\sigma_F^2$ snaga rasejanih komponenti, $h = \ln 10/20$ a σ_s i μ_s su standardna devijacija i srednja vrednost log-normalne raspodele, respektivno.

Na Sl. 1 prikazan je model Lutz-ovog prenosnog kanala, a na Sl. 2 je prikazan model prijemnika. Verovatnoće da se kanal nađe u dobrom i lošem stanju (β i $1-\beta$) određuju se eksperimentalnim merenjima za konkretan satelit i oblast mogućih položaja mobilne prijemne stanice [4].



Sl. 1. Blok šema modela kanala



Sl. 2. Blok šema prijemnika signala

Signal na prijemu ima oblik:

$$s_{ul}(t) = r(t) \cos(\omega_0 t + \phi_0 + \gamma(t)) + n(t) \quad (7)$$

gde je $r(t)$ anvelopa dolazećeg signala, $\gamma(t)$ promena faze nastala usled prostiranja kroz mobilni satelitski kanal, dok je $n(t)$ Gauss-ov šum čije trenutne vrednosti imaju normalnu raspodelu $N(0, \sigma^2)$. Informacija o tome koji bit je poslat zapisana je u fazi ϕ_0 , koja može biti 0 ukoliko se šalje binarna jedinica ili π ukoliko se šalje binarna nula.

Nakon prolaska kroz uskopojasni filter propusnik opsega frekvencija, čija je uloga da selektuje korisni signal učestanosti nosioca ω_0 , signal ima oblik:

$$s_{iz}(t) = r(t) \cos(\omega_0 t + \phi_0 + \gamma(t)) + x(t) \cos(\omega_0 t + \hat{\gamma}(t)) - y(t) \cos(\omega_0 t + \hat{\gamma}(t)) \quad (8)$$

gde $x(t)$ i $y(t)$ predstavljaju kvadraturne komponente uskopojasnog Gauss-ovog šuma nastalog prolaskom belog Gauss-ovog šuma $n(t)$ kroz filter propusnik opsega učestanosti. Poznato je da $x(t)$ i $y(t)$ imaju takođe normalnu raspodelu $N(0, \sigma^2)$ [7].

Ekstraktor referentnog nosioca ima ulogu da proceni fazu $\gamma(t)$ dolazećeg signala. S obzirom da je u kolu fazne petlje svakako prisutan šum, ova procena faze nije idealna, tako da postoji izvesna razlika između faze $\gamma(t)$ dolazećeg signala i procenjene faze $\hat{\gamma}(t)$. Ova fazna greška

$$\varphi(t) = \gamma(t) - \hat{\gamma}(t) \quad (9)$$

je slučajni proces koji ima Tikhonovljevu PDF [6]

$$p_\varphi(\varphi) = \frac{e^{\alpha \cos \varphi}}{2\pi I_0(\alpha)} \quad (10)$$

pri čemu je α odnos signal-šum u kolu fazne petlje i može se izraziti preko standardne devijacije fazne greške kao

$$\alpha = \frac{1}{\sigma_\varphi^2}. \quad (11)$$

Nakon množenja dolazećeg signala signalom na izlazu ekstraktora referentnog nosioca i propuštanja rezultujućeg signala kroz filter propusnik niskih učestanosti, signal ima oblik:

$$s_d(t) = r(t) \cos(\phi_0 + \varphi(t)) + x(t) \quad (12)$$

Signal $s_d(t)$ se sempljuje i na osnovu toga se donosi odluka o tome koji bit je poslat od strane predajnika.

Nakon standardnog postupka procesa detekcije [7], [8] verovatnoća greške pri detekciji signala, može se izraziti kao:

$$P_e = \frac{1}{2} \int_{r=0}^{\infty} \int_{\varphi=-\pi}^{\pi} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{r^2}{2\sigma^2}} \cos \varphi\right) p_r(r) p_\varphi(\varphi) d\varphi dr \quad (13)$$

gde je $\text{erfc}(\cdot)$ komplementarna funkcija greške.

Kao što je već rečeno, razmatrana su dva moguća stanja kanala, i to kada su uslovi u prenosnom kanalu:

a) dobri, pa se fading modeluje Rice-ovom raspodelom

b) loši, pa se fading modeluje kompozitnom raspodelom.

U kanalu sa Rice-ovom raspodelom fedinga, verovatnoća greške je oblika:

$$P_e = \frac{1}{2} \int_{r=0}^{\infty} \int_{\varphi=-\pi}^{\pi} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{r^2}{2\sigma^2}} \cos \varphi \right) \times \underbrace{\frac{r}{\sigma_F^2} \exp \left(-\frac{r^2 + A^2}{2\sigma_F^2} \right) I_0 \left(\frac{rA}{\sigma_F^2} \right)}_{p_r(r)} \cdot \underbrace{\frac{e^{\alpha \cos \varphi}}{2\pi \cdot I_0(\alpha)}}_{p_\varphi(\varphi)} d\varphi dr \quad (14)$$

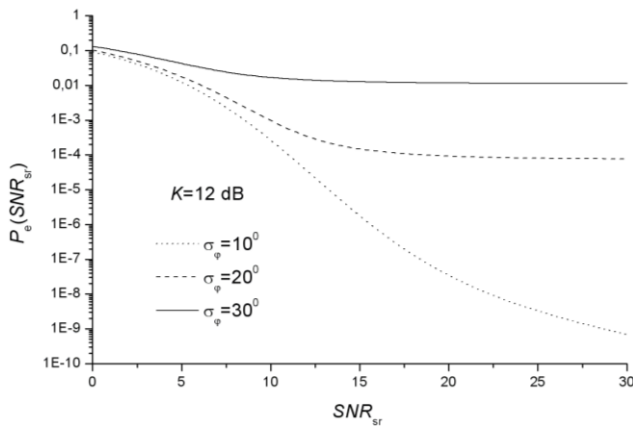
U kanalu sa kompozitnom raspodelom fedinga, verovatnoća greške je:

$$P_e = \frac{1}{2} \int_{r=0}^{\infty} \int_{\varphi=-\pi}^{\pi} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{r^2}{2\sigma^2}} \cos \varphi \right) \times \underbrace{\int_0^{\infty} \frac{1}{|w|} \cdot \frac{w}{\sigma_F^2} \exp \left(-\frac{w^2}{2\sigma_F^2} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} h \sigma_s \frac{r}{w}} \exp \left(-\frac{\left(\ln \frac{r}{w} - h \mu_s \right)^2}{2h^2 \sigma_s^2} \right) dw}_{p_r(r)} \times \underbrace{\frac{e^{\alpha \cos \varphi}}{2\pi \cdot I_0(\alpha)}}_{p_\varphi(\varphi)} d\varphi dr \quad (15)$$

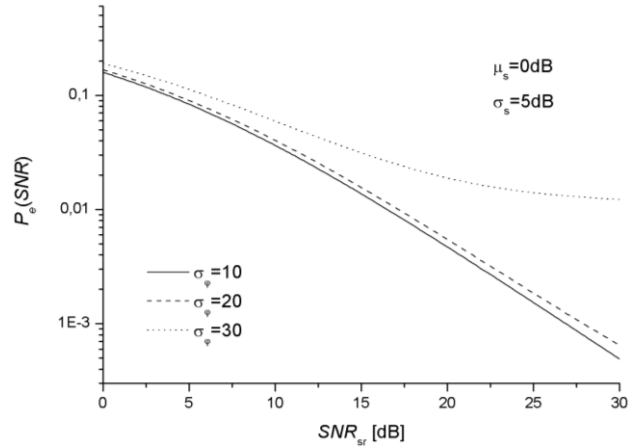
III. NUMERIČKI REZULTATI

Primenom programskog paketa Mathematica 3.0 izvršena je višestruka numerička integracija u izrazima (14) i (15). Dobijeni rezultati su crtani u programskom paketu Origin 5.0 i prikazani u vidu grafika.

Na Sl.3. prikazan je uticaj promene standardne devijacije fazne greške na performanse sistema kada se mobilni satelitski kanal nalazi u dobrom stanju tj. kada je raspodela fedinga Rice-ova, dok je na Sl. 4. prikazan isti uticaj kada se kanal nalazi u lošem stanju tj. kada je raspodela fedinga kompozitna (Rayleigh-eva + lognormalna). U oba slučaja, najpre se sa povećanjem srednjeg odnosa signal-šum, vrednosti verovatnoće greške smanjuju, a zatim se se primećuje pojava neotklonjive greške koja ostaje konstantna bez obzira na povećanje snage signala.

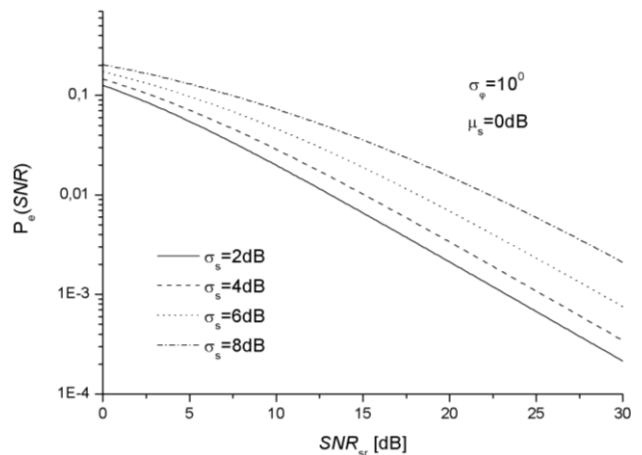


Sl.3. Zavisnost verovatnoće greške od srednjeg odnosa signal-šum u kanalu za Rice-ov feding za različite vrednosti standardne devijacije fazne greške.

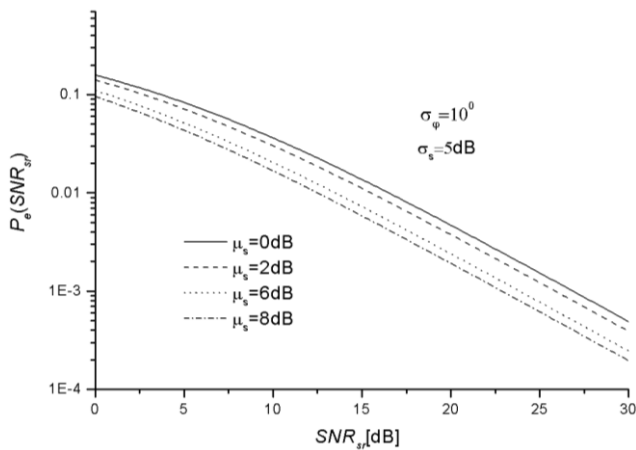


Sl. 4. Zavisnost verovatnoće greške od srednjeg odnosa signal-šum u kanalu za kompozitni feding za različite vrednosti standardne devijacije fazne greške.

Na Sl.5. i Sl. 6. prikazan je uticaj efekta zasenčavanja na performanse sistema, pri čemu je na Sl.5 standardna devijacija lognormalne raspodele korišćena kao parametar, a na Sl. 6 parametar je srednja vrednost lognormalne raspodele. Numeričke vrednosti ovih parametara se dobijaju merenjima [5]. Može se zaključiti da postoji znatan uticaj zasenčavanja na vrednosti verovatnoće greške. Što je mobilni prijemnik u većoj senci, tj. što je parametar σ_s veći, performanse sistema se pogoršavaju, odnosno, vrednosti verovatnoće greške su veće.



Sl.5. Zavisnost verovatnoće greške od srednjeg odnosa signal-šum u kanalu za različite vrednosti standardne devijacije lognormalne raspodele.



Sl.6. Zavisnost verovatnoće greške od srednjeg odnosa signal-šum u kanalu za različite vrednosti srednje vrednosti lognormalne raspodele.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljene su performanse mobilnog satelitskog telekomunikacionog sistema u prisustvu neidealne procene faze dolazećeg signala, pri čemu je kanal modelovan sa dva stanja, dobrim sa Rice-ovom raspodelom fedinga i lošim sa kompozitnom raspodelom fedinga. Razvijen je numerički aparat za procenu pogoršanja performansi tj. povećanja verovatnoće greške pri detekciji BPSK signala pod istovremenim uticajem fazne greške i fedinga u kanalu. Pokazano je u kojoj meri zasenčavanje utiče na vrednosti verovatnoće greške. Dobijeni rezultati pokazuju da se u ovakvom sistemu može očekivati pojava neotklonjive greške zbog prisustva slučajne fazne greške.

LITERATURA

- [1] S. Dimov Ilčev, *Global Mobile Satellite Communications*, Springer, Dordrecht 2005
- [2] H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation", *IEEE Transactions on Communication*, Vol. COM-25, No. 7, pp. 673–680, July 1977
- [3] C. Loo, "A statistical model for a land mobile satellite link", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 34, No. 3, pp. 122–127, August 1985.
- [4] E. Lutz, D. Cygan, M. Dipplod, F. Dolainsky, W. Papke, *The Land Mobile Satellite Communication Channel – Recording, Statistics and Channel Model*, Transactions on vehicular technology, Vol. 40, No. 2, Maj 1991
- [5] A. Abdi, W.C. Lau, M.S. Alouni, M. Kaveh, A New Model for Land Mobile Satellite Channels: First- and Second-Order, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 2, No. 3, pp. 519–527, May 2003.
- [6] W.C. Lindsey, M.K. Simon, *Telecommunication Systems Engineering* Prentice-Hall, New Jersey, 1972
- [7] D. Drajić, *Uvod u statističku teoriju telekomunikacija*, Akademski misao, Beograd 2003.
- [8] A. Cvetkovic, *Mobilni satelitski telekomunikacioni sistemi*, Diplomski rad, Elektronski fakultet, Niš, Septembar 2008.

ABSTRACT

In this paper performance of binary phase shifting keying signal that spreads through mobile satellite telecommunication channel has been determined. Influence of fading depth, intensity of shadowing and average signal-to-noise ratio in the channel on bit error rate (BER) value was shown. The analysis of non-ideal phase estimation of incoming signal to receiver performance has been made.

PHASE NOISE INFLUENCE ON BPSK SYGNAL DETECTION IN MOBILE SATELLITE CHANNEL

Aleksandra D. Cvetković