

RAČUNARSKA SIMULACIJA KANALA ZA MODEMSKI PRENOS PODATAKA U FIKSNOJ TELEFONSKOJ MREŽI

Aleksandar Đorđević, *Institut Mihajlo Pupin - Beograd*

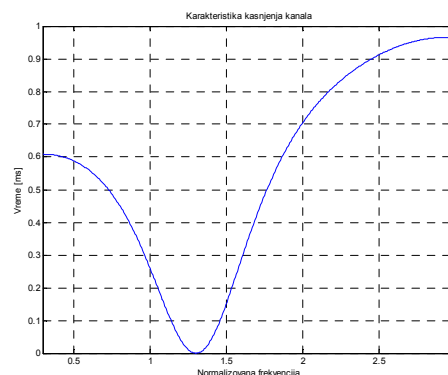
Sadržaj – Prenos podataka je postao osnovni servis kojeg nude provajderi telekomunikacionih usluga. Uprkos razvoju optičkih i bežičnih sistema i dalje se najveći deo prenosa podataka obavlja korišćenjem fiksne telefonske mreže i njene bakarne infrastrukture. Ovakvo stanje je karakteristično i za zemlje u razvoju kao i za tehnološki najrazvijenije zemlje. U zemljama u razvoju, kakva je i naša karakteristična je i masovna upotreba sistema za prenos podataka u komutiranoj telefonskoj mreži.

1. UVOD

Klasičan "dial-up" modemski prenos podataka je doživio drugu mladost u integrisanim sistemima kakvi su uređaji za kriptovanje govornog signala ili zatvoreni sistemi za prenos zaštićenih podataka kakve koriste državne i strateške javne institucije (policija, vojska, elektroprivreda) [4] [11]. U situaciji kada telekomunikaciona mreža nije u dovoljnoj meri izgrađena da podrži sve zahteve korisnika prenos podataka preko komutirane telefonske mreže koriste i mnogi drugi korisnici (agencije za FTO, organizatori igara na sreću). Pošto korisnici zahtevaju protok veći od onog koji može da se ostvari klasičnim dial-up prenosom ili neprekidni rad u svim uslovima, postavlja se pitanje optimizacije ovih sistema. Kako umeravanje linija za prenos podataka zahteva specijalizovanu opremu i merenje na opremi provajdera to za većinu korisnika nije izvodljivo rešenje. U ovom radu je predstavljen računarski model komunikacionog kanala u fiksnoj telefonskoj mreži pomoću programskog paketa MATLAB-Simulink. Rezultati dobijeni ovim modelom verifikovani su rezultatima merenja na realnim kanalima.

2. OSNOVNE NAPOMENE

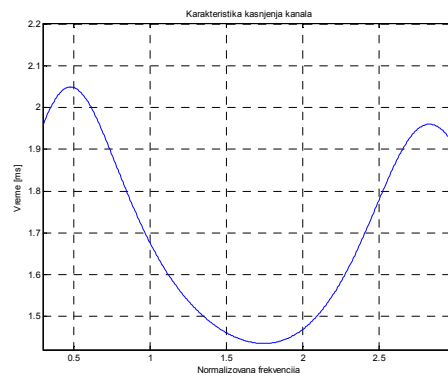
Simulacija komunikacionog kanala u fiksnoj telefonskoj mreži je formirana na osnovu definicija datim u ITU-T (CCITT) preporukama [7],[8],[9]. Da bi simulacija bila što efikasnija svi numerički zahtevni procesi kao što su definicija treliisa ili mapiranje signalnih elemenata u konstelaciji se obavljaju pomoću MATLAB potprograma dok je sam model urađen u paketu Simulink. Testovi koji su obavljani za verifikaciju modela su obavljani u skladu sa ITU-T preporukama koje definišu test procedure za 2w-4w linije u telefonskoj mreži [7]. Za računarski model definišemo nekoliko osnovnih kanala koje koristimo a čije karakteristike smo dobili takođe pomoću graničnih vrednosti iz serije preporuka V, H, M. Osnovni parametar pomoću kojeg definišemo "dobar" i "loš" kanal, kako ćemo ih zvati u nastavku ovog rada je grupno kašnjenje kanala. Na slikama 1 i 2 su date karakteristike grupnog kašnjenja za dobar i loš kanal, respektivno. Ovo su karakteristike kanala kako je dat na opštoj šemi modela na slici 4.



Slika 1 Karakteristika grupnog kašnjenja dobrog kanala

Za prenos većim brzinama (preko 9600 bita po sekundi) koristimo jedan kanal jer prenos brzinama preko 9600 bita po sekundi podrazumeva korišćenje TCM koji na lošim kanalima ne pravi velike pakete grešaka pa dolazi do čestih "pucanja veze". Pored grupnog kašnjenja kanal se definiše i odnosnom signal-šum. Šum koji podrazumevamo je aditivni beli Gauss-ov, a impulsni šum se može posebno dodati pošto je ova vrednost karakteristična za svaku liniju posebno.

Prijemnik koristi adaptivni LMS algoritam [1],[3]. Trening sekvenca se obavlja u trajanju definisanom odgovarajućom ITU-T preporukom. Za merenja na realnim kanalima korišćeni su modemi proizvođača Zyxel U336s i Penril-IMP PP14496 GS sa neophodnom opremom – Protokol analizador Hewlett Packard HP 4951c sa opcionim panelom HP 18179a, Analizador telefonske linije Hewlett Packard HP 3770B i digitalna merna stanica Wandel & Golterman DMS-1.

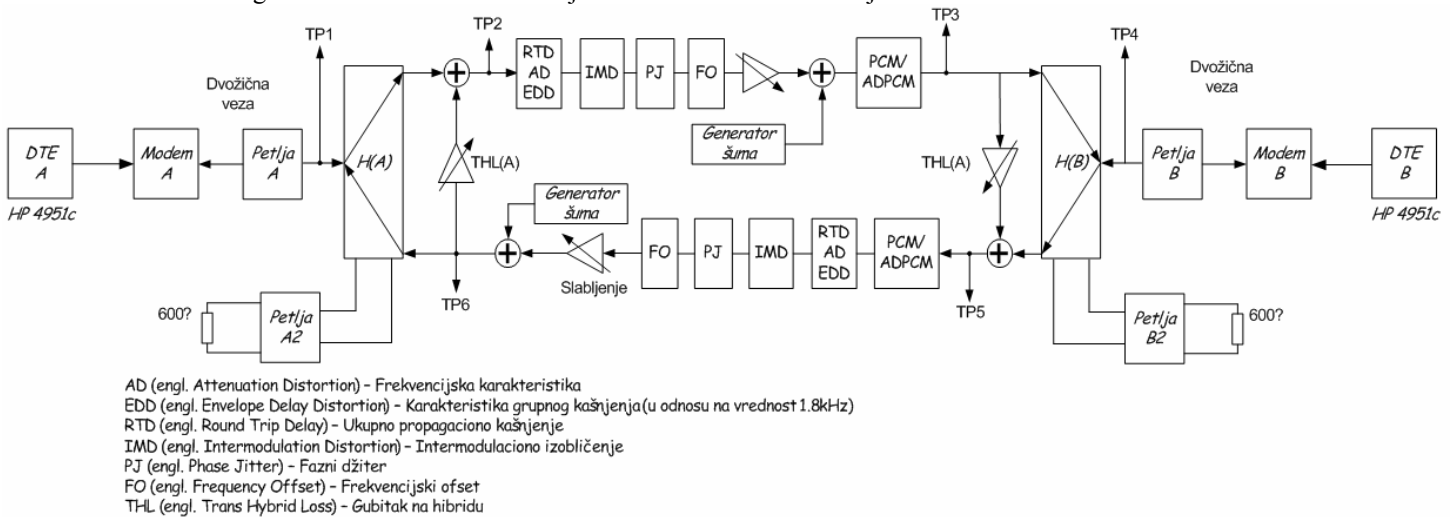


Slika 2 Karakteristika grupnog kašnjenja lošeg kanala

3. TESTOVI I ŠEMA MERNOG MESTA

Testovi koji su obavljeni za verifikaciju modela su obavljeni u skladu sa ITU-T preporukama koje definišu test procedure za 2w-4w linije u telefonskoj mreži [7]. Osnovni testovi koji se koriste su merenje bitske verovatnoće greške (*engl. Bit Error Rate – BER*) i blokovske verovatnoće greške (*engl. BLock Error Rate – BLER*). Rezultati dobijeni računarskom simulacijom su predstavljeni u skladu sa ovim testovima. U zavisnosti od konkretne primene zavisi i to koji od ovih testova nam daje korisne rezultate. Naime, BER sve bite posmatra nezavisno, dok se oni u klasičnom načinu prenosa (kao što je pristup Internetu od kuće) prenose u paketima. Ukoliko dođe do greške u prenosu dolazi do retransmisije celog paketa, jer modemi koriste ARQ procedure za korekciju grešaka. Tako da je sa strane praktične primene svejedno da li je u paketu pogrešan jedan ili svi biti jer svakako dolazi do retransmisije paketa. Tako da sa ovog stanovišta modem sa manjim BER ne

mora da bude bolji (BLER može da bude velik). Sa druge strane imamo sinhroni prenos podataka, bez kontrole greške kakav koristimo pri prenosu kriptovanog govornog signala. U ovakvim uređajima, koji se popularno zovu kriptotelefon, odbirci govornog signala se nezavisno prenose, a ukoliko dođe do greške pri prenosu taj se odbirak jednostavno odbaci jer je za rekonstrukciju govornog signala praktično dovoljan svaki drugi bit. Za ovakvu primenu BER je jedini parametar koji nam daje potrebne podatke. Zato je za potpun zaključak potrebno analizirati sa oba testa. Ovaj zaključak je jako bitan za analizu protokola koji koriste TCM, jer se kod nje greške javljaju u dugačkim blokovima, za razliku od "običnih" modulacija kod kojih zbog diferencijalnog kodovanja dolazi do propagacije greške samo na susjedan simbol. Testovi se izvode prema opštoj šemi datoj na slici 3. Ova šema je opšta i podrazumeva šemu povezivanja za formiranje simulacionog modela (računarskog ili laboratorijskog) kao i za merenje na realnim linijama.



Slika 3. Blok šema simulatora i mernog mesta

Standardno vreme merenja je 15 minuta uz korišćenje 511 pseudoslučajne sekvence uz sledeća osnovna podešavanja koja važe za realna merenja i za parametre simulacije:

- Osnovni parametri DTE uređaja
- Sinhroni format podataka
- Brzina na DTE komunikacionom portu jednaka linijskoj brzini (promenljiva u toku rada ali uvek prati linijsku brzinu)
- Predajni takt određuje modem

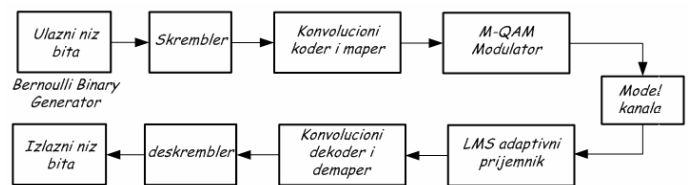
Osnovni parametri DCE (modema) su sledeći:

- Sinhroni format podataka
- Linijska brzina fiksirana na željenu vrednost (promenljiva u toku merenja)
- Isključena kompresija podataka
- Interno generisan takt
- Isključeno adaptivno određivanje linijske brzine
- Isključeno automatsko uspostavljanje "retrain" i procedure za promenu brzine prenosa podataka

4. OPIS MODELA

Već smo rekli da je model formiran u paketu MATLAB-Simulink. Zbog nedostatka prostora model ćemo predstaviti funkcionalnom blok šemom datom na slici 4. Svi parametri modela su u saglasnosti sa ITU-T preporukama, uz nekoliko pojednostavljenja:

- Proces treniranja ekvalizera ne vršimo sekvencom koja je data standardom već sa prvih N (slučajnih) simbola koje daje izvor
- Nije primenjen (fiksni) kompromisni ekvalizer u predajniku
- Nema eksplicitno definisanog izvora impulsnog šuma



Slika 4. Funkcionalan blok šema modela

5. REZULTATI

U ovom radu su prikazani i upoređeni rezultati dobijeni merenjem i simulacijom komunikacionog kanala brzinom 2400 bps po standardima V.22bis i 9600bps V.32bis sa primenom TCM. Protokol V.22bis podrazumeva primenu 16QAM i simbolsku brzinu 600 simbola po sekundi. Protokol

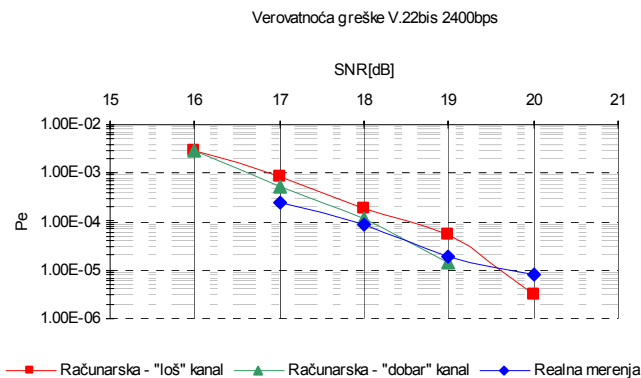
V.32bis podrazumeva korišćenje 32QAM šeme uz primenu 2/3 treliš koda uz simbolsku brzinu 2400 simbola po sekundi.

U tabeli 1 su dati rezultati za BER i BLER dobijeni simulacijom prenosa brzinom 2400bps. Osnovni parametri su tip kanal i odnos signal šum u kanalu.

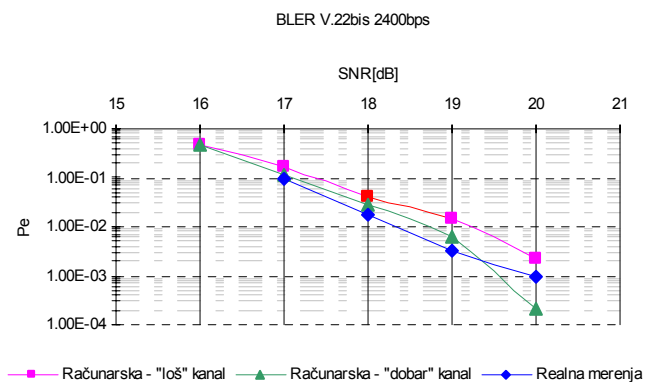
SNR[dB]		20	19	18	17	16
BER						
Računarska simulacija	"loš kanal"	3.22E-06	5.36E-05	1.88E-04	8.51E-04	3.01E-03
	"dobar kanal"		1.41E-05	1.14E-04	5.14E-04	2.86E-03
Realna merenja		7.72E-06	1.90E-05	8.84E-05	2.51E-04	
BLER						
Računarska simulacija	"loš kanal"	2.14E-03	1.50E-02	4.03E-02	1.61E-01	4.82E-01
	"dobar kanal"	2.14E-04	7.12E-03	2.84E-02	1.18E-01	4.71E-01
Realna merenja		9.45E-04	3.25E-03	1.22E-02	9.20E-02	

Tabela 1. Rezultati za simulaciju prenosa po ITU-T V.22bis

Pomoću simulacije dobrog i lošeg kanala postavljamo gabarite za vrednosti verovatnoće greške u kojima treba da se nađu rezultati dobijeni merenjem na realnim kanalima. Na slici 5 su grafički predstavljeni rezultati za BER. Za linijsku brzinu 600 simbola po sekundi, grupno kašnjenje datih kanala ne rezultuje velikim brojem grešaka, pa su granične krive veoma bliske. Za vrednosti SNR uticaj šuma je stoga dominantan pa dolazi do konvergiranja ovih krivih u jednu tačku. Pošto pri ovom prenosu koristimo diferencijalno kodovanje sa 4 bita po simbolu, odnosno da nam greška u kanalu utiče na dva susedna simbola očekivano je da vrednosti BLER za sve tri karakteristike budu u sličnom odnosu kao i one za BER.



Slika 5. BER V.22bis 2400bps



Slika 6. BLER V.22bis 2400bps

Na slici 6. su date vrednosti blokovske verovatnoće greške (dužina bloka 1000 bita). Iz rezultata vidimo da je ova pretpostavka opravdana kao i da krive konvergiraju u jednu tačku.

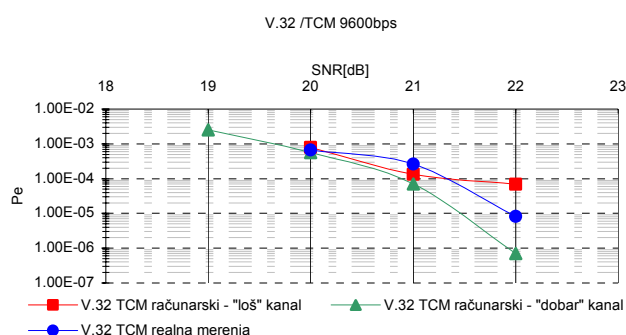
Na sličan način izvršićemo analizu prenosa brzinom 9600bps sa primenom TCM. Primena treliš kodovane modulacije efikasno ispravlja pojedinačne greške i pri boljim odnosima SNR znatno poboljšava verovatnoću greške. Međutim, degradacijom parametara kanala (ili na kanalu sa većim grupnim kašnjenjem) TCM postaje neefikasan jer se zbog prostiranja greške kroz treliš stvaraju dugi paketi grešaka. U tabeli 2 su dati rezultati za ovaj slučaj.

SNR[dB]		22	21	20	19
BER					
Računarska simulacija	"loš kanal"	6.87E-05	1.32E-04	7.82E-04	
	"dobar kanal"	7.00E-07	7.13E-05	5.58E-04	2.52E-03
Realna merenja		8.13E-06	2.78E-04	6.69E-04	

BLER					
Računarska simulacija	"loš kanal"	2.20E-03	4.76E-03	3.60E-02	
	"dobar kanal"	2.38E-05	2.79E-03	2.45E-02	1.16E-01
Realna merenja		1.28E-04	6.86E-03	1.37E-02	

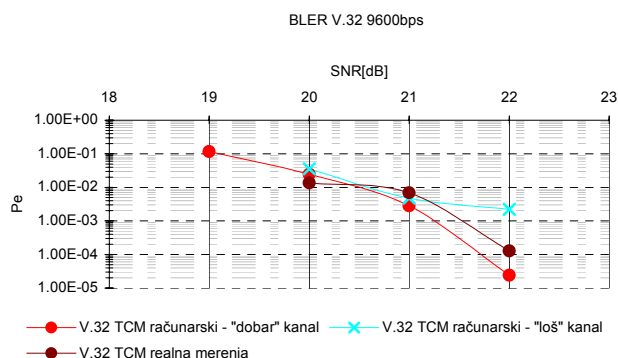
Tabela 2. Rezultati za simulaciju prenosa po ITU-T V.32/V.32bis

Na slici 7 su grafički prikazani rezultati za BER. Možemo sa karakteristika uočiti pojave koje smo opisali. Za dobar SNR, korišćenjem dobrog kanala dobijamo odlične rezultate jer TCM ispravlja greške. Za loš kanal greške više nisu pojedinačne, pa dolazi do pojave paketa grešaka na izlazu i znatno većeg BER. Kako smanjujemo SNR uticaj šuma postaje dominantan, i on je taj koji uzrokuje nizove grešaka na izlazu, gotovo nezavisno od tipa kanala.



Slika 7. BER V.32 9600bps

Slični zakoni promene važe i za BLER tako da imamo gotovo identične karakteristike. Odmah treba reći da su razlike u karakteristikama BER i BLER karakteristične za uporedni pregled rezultata simulacije prenosa 9600bps sa neredundantnim kodovanjem (diferencijalno kodovana 16QAM) i sa TCM. Na slici 8 je dat i grafik promene BLER.



Slika 8. BLER V.32 9600bps

6. LITERATURA

- [1] J.Kurzweil "An Introduction to Digital Communications", John Wiley & Sons inc. 2000.
- [2] J.G. Proakis "Digital Communications", McGraw Hill 3rd Ed. 1995.
- [3] Simon Haykin "Adaptive Filter Theory", Prentice Hall 3rd Ed. 1996.
- [4] Aleksandar Đorđević, Saša Đorđević, "Sistem za prenos negovornih poruka preko dvožičnih komutiranih linija", Seminar Instituta "Mihailo Pupin", januar 2003.
- [5] Aleksandar Đorđević, Saša Đorđević, "Sistem za prenos zaštićenih poruka putem javne telefonske mreže", JISA INFO vol 3/2003 jun/jul 2003 pp. 119-122.
- [6] G.Ungerboeck, "Channel Coding with Multilevel/Phase Signals", IEEE Trans. Information Theory Vol. IT-28 pp. 57-67, 1982
- [7] ITU-T (CCITT) V Series Recommendation – Data communications over telephone network
- [8] ITU-T (CCITT) G Series Recommendation – Transmission system and media, digital systems and networks
- [9] ITU-T (CCITT) O Series Recommendation – Specification of measuring equipment
- [10] ITU-T (CCITT) M Series Recommendation – TMN and network maintenance: International transmission systems, telephone circuits, telegraphy, facsimile and leased circuits
- [11] www.imp.bg.ac.yu

Abstract - In despite of rapid development of optical an wireless systems, majority of data is still being transferred using fixed telephone network and its copper infrastructure. This is characteristic for both developing and technically developed nations. Classical dial-up modem data transfer is experiencing "second youth" in embedded systems like devices for encryption of voice signal or special systems for transfer of encrypted data used by government and strategic public institutions (police, military, EPS). Robust specifications and specialized user demands makes problem of system optimization unavoidable in terms of system development and implementation. In this paper computer simulation of channel for data transfer is given, as part of large scale analysis of estimating characteristics of lines for data transfer in fixed telephone network.

COMPUTER SIMULATION OF CHANNEL FOR DATA TRANSFER IN FIXED TELEPHONE NETWORK,

Aleksandar Đorđević