

SIMULACIJA MULTIKOPIJSKE GO-BACK-N ARQ PROCEDURE SA MAJORITETNOM LOGIKOM

SIMULATION OF MULTICOPY GO-BACK-N ARQ SCHEME WITH MAJORITY-LOGIC DECODING

Vladimir Vuković i Grozdan Petrović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu
Ljiljana Trajković, Simon Fraser University, Vancouver

Sadržaj: U radu je predložena i analizirana multikopijska go-back-N automatic repeat request (GBN ARQ) procedura sa majoritetnom logikom. Izvršena je simulaciona analiza multikopijskog modela sa tri i pet ponavljanja okvira, kao i procena doprinosa majoritetne logike i propusnosti modela. Simulacioni rezultati pokazuju da pri velikim verovatnoćama grešaka po bitu, predloženi model pokazuje značajno povećanje propusnosti u odnosu na standardni multikopijski model.

Abstract: In this paper, we present and analyze the multicopy go-back-N automatic repeat request (GBN ARQ) scheme with majority-logic decoding. We also estimate effect of the majority-logic decoding and the system throughput. Simulation results indicate that in the presence of high bit error rate, the proposed 3-copy and 5-copy models offer significant throughput gain compared to the standard m-copy system.

1. UVOD

Poznato je da *automatic repeat request* (ARQ) procedure omogućavaju pouzdan prenos podataka u prisustvu grešaka u kanalu. Zbog svoje jednostavnosti, u literaturi je popularna standardna jednokopijska *go-back-N* (GBN) ARQ procedura koja je efikasna pri malim verovatnoćama greške. Sa porastom verovatnoće greške, propusnost ove procedure drastično opada [1], [2]. Kao moguće rešenje u literaturi je predložena standardna multikopijska GBN ARQ (m-SGBN) procedura [3], [4] sa adaptivnim brojem kopija [5] kao i korišćenje zaštitnog kodovanja [3], [6], [7].

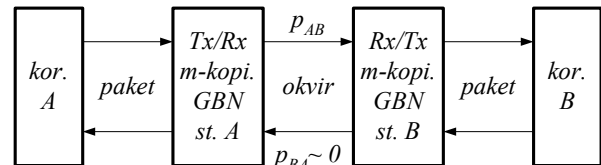
Postavlja se pitanje da li kombinacija multikopijske procedure i zaštitnog kodovanja može dati još bolje rezultate. Moguće rešenje, predloženo u ovom radu, je korišćenje multikopijske procedure i majoritetne logike kao najjednostavnijeg postupka zaštitnog kodovanja. U radu se analizira jednostavan postupak primene majoritetne logike pri dekodovanju kod multikopijske GBN ARQ (m-MGBN) procedure.

Izlaganje je organizovano na sledeći način: u drugom poglavlju je dat prikaz predloženog modela modifikovane multikopijske procedure, u trećem je dat simulacioni model, u četvrtom poglavlju su dati rezultati simulacione analize, u petom zaključak i na kraju spisak korišćene literature.

2. OPIS MULTIKOPIJSKOG GBN MODELA

Posmatrajmo model na slici 1 koji čine korisnici A i B, njihove primopredajne stanice i kanali sa greškama pri čemu se pretpostavlja da je verovatnoća greške u povratnom kanalu jednaka nuli. Pretpostavimo da korisnik A šalje niz paketa

korisniku B koristeći princip standardne m-kopijske GBN šeme. Po prijemu paketa od korisnika, stanica A formira okvir i dodeljuje mu redni broj k , privremeno ga smešta u lokalni registar i šalje m njegovih kopija k_1, k_2, \dots, k_m . Zatim, ne čekajući potvrdu prijema, stanica A šalje m kopija okvira sa rednim brojem $k+1$, i tako redom. Ako posle očekivanog vremena od stanice B stigne pozitivna potvrda $ACK(k)$ okvira sa rednim brojem k , stanica A smatra da je prenos okvira uspeo. Ukoliko stigne negativan odgovor $NAK(k)$, stanica A prekida sa tekućim slanjem okvira i ponovo šalje okvire počev od okvira sa rednim brojem k . U poređenju sa standardnim m-kopijskim GBN sistemom, u modelu sa majoritetnom logikom prijemni deo stanice B sadrži m registara R_1, R_2, \dots, R_m u kojima se privremeno smeštaju kopije primljenih okvira. Ovi registri su logički povezani sa majoritetnom logikom koja omogućava korekciju $\lfloor m/2 \rfloor$ grešaka na principu "bit po bit", podrazumevajući da je m neparan broj.



Slika 1. Opšta blok šema modela

Osnovni koraci po prijemu okvira u stanici B su:

1. Po prijemu kopije k_i okvira sa rednim brojem k , vrši se CRC provera. Ako je kopija ispravna, paket se prosledjuje korisniku B, a stanici A se šalje odgovor $ACK(k)$. Stanica B odbacuje kopije k_2, \dots, k_m i prelazi na obradu okvira sa rednim brojem $k+1$.

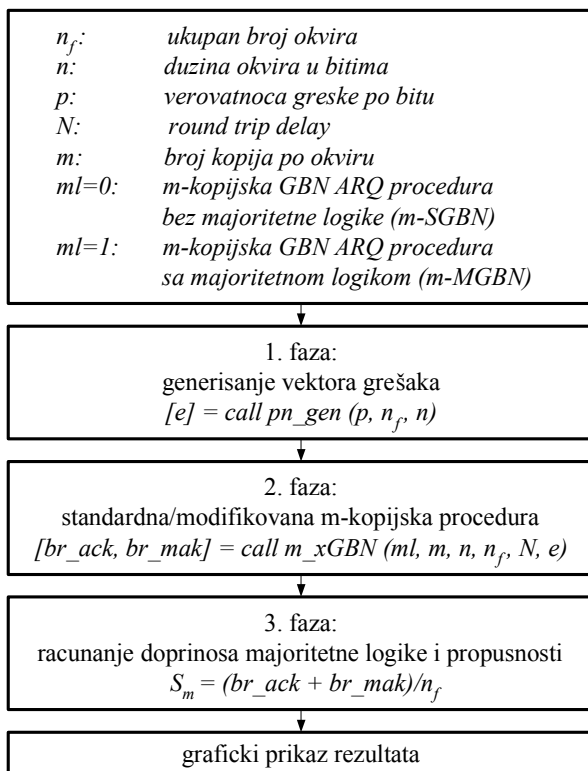
2. Ukoliko je detektovana greška, pogrešna kopija se privremeno smešta u bafer R_i i prelazi se na obradu naredne kopije k_2 . Vršiti se CRC provera i ako je ova kopija ispravna, paket se prosleđuje korisniku B , a stanici A se šalje odgovor $ACK(k)$. Stanica B odbacuje sve naredne kopije i prelazi na obradu okvira sa rednim brojem $k+1$. Ovaj postupak se ponavlja i za naredne kopije ukoliko su pogrešne, sve dok se ne primi ispravna kopija. Kopije sa greškama se smeštaju u bufere R_2, \dots, R_m .

3. U slučaju da svih m kopija istog okvira sadrže greške, pristupa se proceduri korekcije greške na bazi majoritetne logike "bit po bit". Zatim se vrši CRC provera korigovanog okvira. Ako je okvir ispravan, paket se prosleđuje korisniku B . Stanici A se šalje odgovor $ACK(k)$ i stanica B prelazi na obradu okvira sa rednim brojem $k+1$.

4. Ukoliko je korigovani okvir pogrešan, stanici A se šalje negativan odgovor $NAK(k)$ i stanica B prelazi u proceduru ponovnog prijema okvira sa rednim brojem k .

3. SIMULACIONI GBN MODEL

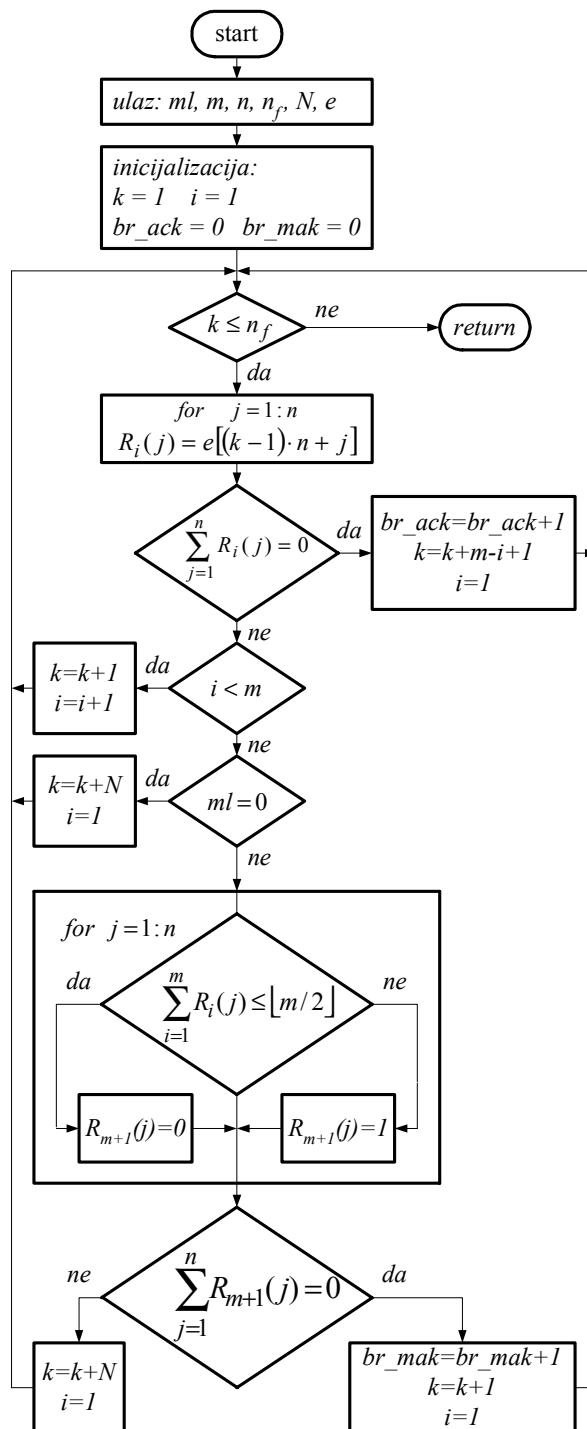
Pri analizi propusnosti predloženog modela, usvajaju se uobičajena pojednostavljenja. Smatra se da predajnik emituje "prazne" okvire (sve nule), da prijemnik detektuje sve emitovane okvire, da su svi okviri iste dužine, da su greške u kanalu nezavisne i uniformno raspodeljene, da je zanemarljivo vreme obrade okvira u predajnoj i prijemnoj stanici i da je prenos potvrde o uspešnoj ili neuspešnoj potvrdi prijema okvira idealan. Tok simulacije je prikazan na slici 2 i sastoji se iz tri faze.



Slika 2. Dijagram toka tri faze simulacionog postupka

Nakon zadavanja parametara modela, u prvoj fazi simulacionog postupka se pozivom funkcijskog potprograma pn_gen iz $MATLAB$ 6.5 biblioteke generiše sekvenca grešaka $[e]$ verovatnoće p i dužine $n_f \times n$ bita, gde n_f označava ukupan broj okvira, a n dužinu okvira u bitima.

U drugoj fazi simulacionog postupka se vrši simulacija rada prijemnika. Dijagram toka faze je prikazan na slici 3.



Slika 3. Dijagram toka algoritma za standardnu i modifikovanu m-kopijsku proceduru

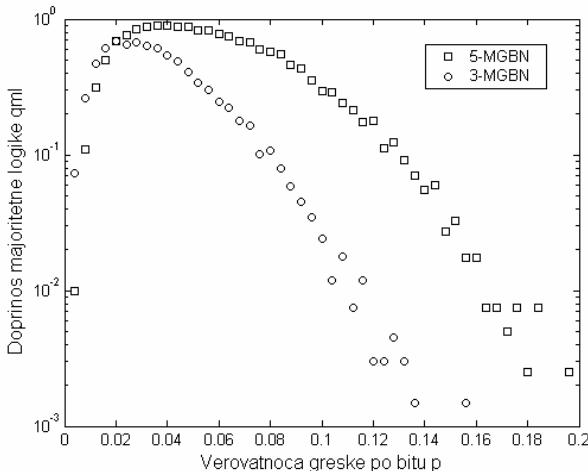
Algoritam se sastoji u prebrojavanju grešaka unutar bloka od m uzastopnih kopija istog okvira. Ukoliko je broj grešaka u i -toj kopiji okvira jednak nuli, smatra se da je prenos uspešan. Sadržaj brojača pozitivnih potvrda br_ack se uvećava za jedan i prelazi se na prvu kopiju narednog okvira. Ukoliko je svih m kopija istog okvira pogrešno, pristupa se proceduri korekcije greške na bazi majoritetne logike "bit po bit". Ukoliko je korigovani okvir ispravan, sadržaj brojača pozitivnih potvrda prijema br_mak se uvećava za jedan i prelazi se na obradu narednog okvira. U suprotnom, ukoliko je korigovani okvir neispravan, ignoriše se N narednih kopija, gde je sa N označeno normalizovano povratno kašnjenje od predajne do prijemne stanice i nazad (*round trip delay*).

U trećoj fazi se računa doprinos majoritetne logike i propusnost GBN procedure. Propusnost S_m se procenjuje kao količnik ukupnog broja pozitivnih potvrda ($br_ack + br_mak$) i ukupnog broja okvira n_f . Izraz za propusnost se može napisati i u obliku u kome drugi član predstavlja doprinos majoritetne logike:

$$S_m = \frac{1}{m} \cdot \left[\frac{br_ack}{n_f/m} + \frac{br_mak}{n_f/m} \right]$$

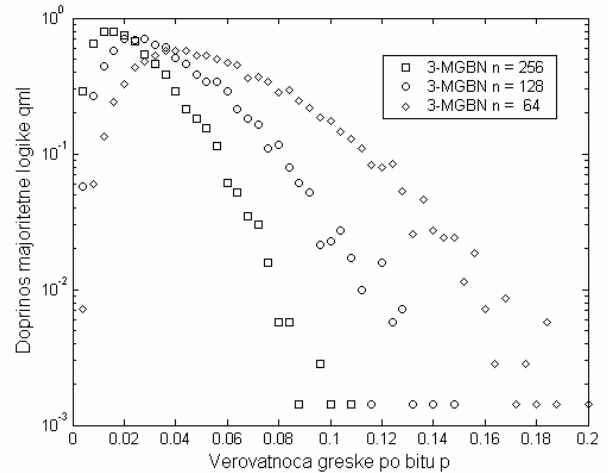
4. REZULTATI ANALIZE GBN MODELA

Doprinos majoritetne logike u slučaju modifikovane 3-kopijske i 5-kopijske GBN procedure u funkciji verovatnoće greške po bitu je pokazan na slici 4. Pod doprinosom majoritetne logike podrazumevamo vrednost za koju se zbog primene majoritetne logike povećava verovatnoća uspešnog prenosa okvira. Za izabrane vrednosti verovatnoće grešaka po bitu u opsegu od 0 do 0,2 generisana je sekvenca sa grešakama, dužine $n_f \times n$ bita ($n_f = 2010$ okvira i $n = 128$ bita po okviru). Zatim je sprovedena GBN ARQ procedura sa majoritetnom logikom za vrednost parametra $N = 1$ i izvršeno prebrojavanje uspešnih potvrda prijema br_mak koje su posledica majoritetne logike. Sa slike 4 se uočava da pri verovatnoći greške po bitu od 0,1 doprinos majoritetne logike veličine od 3-kopijskog sistema. Tri-kopijski sistem najveći doprinos postiže pri verovatnoći greške od 0,2, a 5-kopijski pri verovatnoći greške od 0,4.



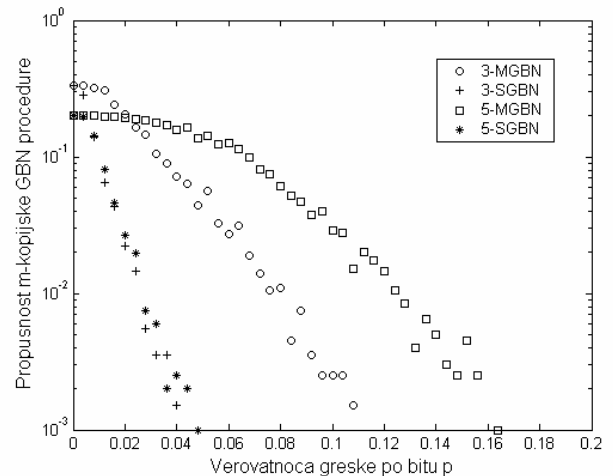
Slika 4. Doprinos majoritetne logike za $m = 3$ i $m = 5$ ($n_f = 2010$ i $N = 1$)

Na slici 5 prikazan je uticaj dužine okvira n na doprinos majoritetne logike modifikovane 3-kopijske GBN procedure u funkciji verovatnoće greške po bitu. Interesantno je zapaziti da doprinos zavisi od dužine okvira i da postoje verovatnoće grešaka pri kojima se postižu najveći doprinosi. Na primer za $n = 256$ ($n = 64$), najveći doprinos se postiže pri verovatnoći greške od približno 0,01 (0,04). Pri malim verovatnoćama grešaka, doprinos majoritetne logike je manji kod kraćih okvira zato što je verovatnije da oni ne sadrže greške. Sa povećanjem verovatnoće grešaka, veći doprinos majoritetne logike se dobija pri manjim dužinama okvira. Duži okviri imaju veći broj grešaka pa je mogućnost uspešnog delovanja majoritetne logike manja.



Slika 5. Uticaj dužine okvira na doprinos majoritetne logike za $m = 3$ ($n_f = 2010$ i $N = 1$)

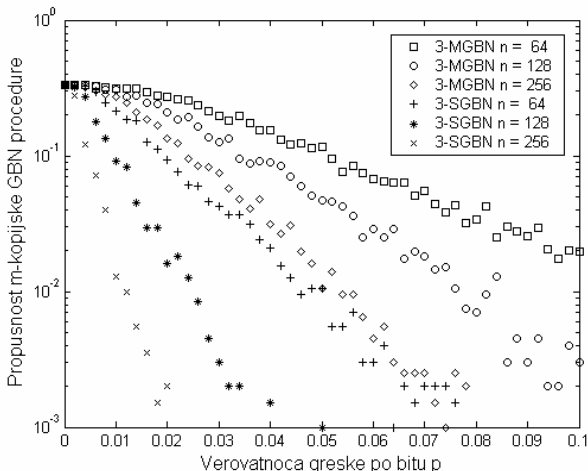
Na slici 6 prikazana je zavisnost propusnosti standardne i modifikovane 3-kopijske i 5-kopijske GBN procedure u funkciji verovatnoće greške po bitu. Prvo je za izabrane vrednosti verovatnoće grešaka po bitu u opsegu od 0 do 0,2 generisana sekvenca grešaka dužine $n_f \times n$ bita ($n_f = 2000$ okvira i $n = 128$ bita po okviru). Zatim je sprovedena GBN ARQ procedura sa i bez majoritetne logike za usvojenu vrednost parametra N ($N = 10$). Pri velikim verovatnoćama grešaka po bitu, sa slike 6 se uočava značajno povećanje



Slika 6. Propusnost standardne (m -SGBN) i modifikovane (m -MGBN) multikopijske procedure ($m = 3$ i $m = 5$, $n_f = 2000$, $n = 128$ i $N = 10$)

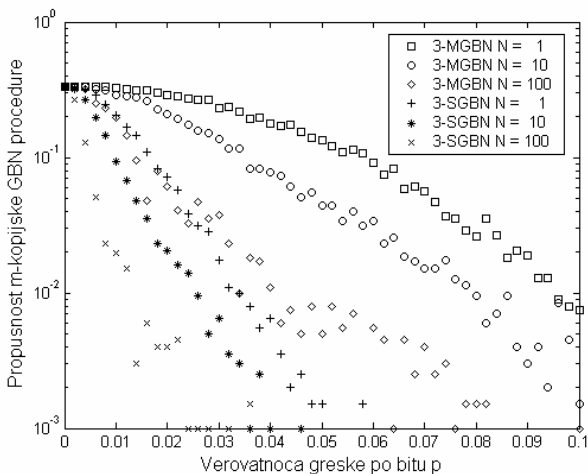
propusnosti u slučaju modifikovane GBN procedure u odnosu na standardnu proceduru. Na primer, pri verovatnoći greške po bitu od približno 0,03, korišćenjem majoritetne logike propusnost 3-kopijskog i 5-kopijskog standardnog GBN sistema se sa približno 0,01 povećala na 0,2. Sa porastom verovatnoće greške, 5-kopijski sistem postaje sve efikasniji, tako da je pri verovatnoći greške od 0,1 propusnost veća za red veličine od 3-kopijskog sistema.

Na slici 7 prikazan je uticaj dužine okvira n na propusnost standardne i modifikovane GBN procedure. Sa slike se vidi da se sa povećanjem dužine okvira smanjuje propusnost i standardne i modifikovane GBN procedure.



Slika 7. Uticaj dužine okvira na propusnost standardne (m-SGBN) i modifikovane (m-MGBN) multikopijske procedure ($m = 3$, $n_f = 2000$ i $N = 10$)

Na slici 8 prikazan je uticaj normalizovanog povratnog kašnjenja N na propusnost standardne i modifikovane GBN procedure. Sa povećanjem normalizovanog povratnog kašnjenja N takodje se smanjuje propusnost obe GBN procedure.



Slika 8. Uticaj parametra N na propusnost standardne (m-SGBN) i modifikovane (m-MGBN) multikopijske procedure ($m = 3$, $n_f = 2000$ i $n = 128$)

Na osnovu prikazanih simulacionih rezultata zaključujemo da je, nezavisno od dužine okvira i povratnog

kašnjenja, sistem sa majoritetnom logikom znatno efikasniji od standardnog sistema u uslovima povećane verovatnoće greške u kanalu.

5. ZAKLJUČAK

U radu je predložena modifikovana multikopijska GBN ARQ (m-MGBN) procedura sa majoritetnom logikom. Izvršena je simulaciona analiza doprinosa majoritetne logike na smanjenje verovatnoće pogrešnog prenosa okvira 3-kopijskog i 5-kopijskog GBN modela. Takođe je izvršena analiza uticaja dužine okvira na doprinos majoritetne logike 3-kopijskog i 5-kopijskog GBN modela. Izvršena je i analize propusnosti 3-kopijskog i 5-kopijskog GBN modela sa i bez primene majoritetne logike, kao i analize uticaja dužine okvira i normalizovanog povratnog kašnjenja 3-kopijskog modela. Pokazano je da se primenom majoritetne logike dobija znatno veća propusnost pri većim verovatnoćama grešaka po bitu u odnosu na standardnu multikopijsku proceduru.

Značajno je istaći da uvođenje majoritetne logike ne utiče na funkcionisanje predajnika i relativno malo komplikuje prijemnik.

LITERATURA

- [1] A. R. K. Sastry, "Improving repeat-reuest (ARQ) performance on satellite channels under high error rate conditions," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-23, no. 4, pp. 436–439, April 1975.
- [2] H. M. de Lima and O. C. M. B. Duarte, "A go-back-N protocol with multicopy retransmission for high speed satellite communications," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. SUPERCOMM'94*, New Orleans, May 1994, pp. 859–863.
- [3] S. S. Chakraborty, E. Yli-Juuti, and M. Liinajarja, "An ARQ scheme with packet combining," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 7, pp. 200–202, July 1998.
- [4] H. Bruneel and M. Moeneclaey, "On the throughput performance of some continuous ARQ strategies with repeated transmissions," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-34, no. 3, pp. 244–249, March 1986.
- [5] A. Annamalai and K. Bhargava, "Analysis and optimization of adaptive multicopy transmission ARQ protocols for time-varying channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, no. 10, pp. 1356–1368, October 1998.
- [6] C. W. Ahn, C. G. Kang, C. H. Kang, and W. S. Kang, "A hybrid ARQ protocol with a multy-copy retransmission scheme for real-time ATM services in broadband radio access networks," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E84-B, no. 10, pp. 2797–2804, October 2001.
- [7] A. Banerjee, D. J. Costello, and T. E. Fuja, "Bandwith efficient hybrid ARQ using turbo codes," in *Proc. Int. Symp. Information Theory ISIT 2000*, Sorrento, Italy, June 25–30, 2000, p. 188.