

Propusnost GBN ARQ šeme sa xor kombinovanjem paketa

Vladimir Vuković, Grozdan Petrović, *Life Member*, i Ljiljana Trajković, *Fellow*, IEEE

Sadržaj — U ovom radu, predstavljamo matematički model i računamo izraz za verovatnoću pogrešnog prenosa paketa i propusnost hibridne jednokopijske GBN ARQ šeme sa xor korekcionim mehanizmom. Analiza propusnosti je zasnovana na retransmissionim ciklusima. Dobijeni rezultati ukazuju da primena vrlo jednostavnih mehanizama za korekciju grešaka može da poveća propusnost više desetina puta u odnosu na standardne procedure.

Ključne reči — GBN ARQ procedura, propusnost, retransmissioni ciklusi, xor kombinovanje paketa.

I. UVOD

HIRIDNE ARQ šeme sa kombinovanjem paketa predstavljaju klasu perspektivnih tehnika za korigovanje grešaka, posebno u onim telekomunikacionim sistemima u kojima se prenos ostvaruje u uslovima visokog nivoa odnosa smetnja-signal [1]–[8]. U dostupnoj literaturi je značajna pažnja posvećena takozvanim xor postupcima kombinovanja u kojima se informacija za detekciju i korekciju grešaka dobija na osnovu poređenja sadržaja dve nezavisno prenete kopije istog okvira. Pri tome diverziti postupak prenosa paketa može biti različit (prostorni, frekvencijski, vremenski, ...). U slučaju ARQ šema najčešće se podrazumeva vremenski diverziti koji se realizuje kroz retransmisiju paketa/okvira uz pretpostavku da je prethodno neuspešno preneti okvir sačuvan za dodatno kombinovanje. Činjenica da se xor kombinovanje vrši nad samo dva preneti okvira, kao i da se pri kombinovanju manipulacija sprovodi nad rekonstruisanim bitima okvira, upućuje na zaključak da je reč o tehnici koja je jednostavna sa stanovišta realizacije, a koja pri tome ima potencijal za dostizanje visokog stepena efikasnosti.

Propusnost transmissionog okruženja koje obezbeđuje servis prenosa okvira pretpostavlja značajnu meru za ocenu efikasnosti telekomunikacionog sistema. Matematički, propusnost se definiše kao količnik vremena potrebnog za emitovanje paketa i srednjeg vremena potrebnog za uspešan prenos tog paketa i predstavlja neizbežan parametar za ocenu primenjene ARQ tehnike.

Vladimir Vuković, Nacionalna služba za zapošljavanje, Kralja Milutina 8, 11000 Beograd, Srbija (telefon: 381-11-2929262, e-mail: Vladimir.Vukovic@nsz.gov.rs).

Grozdan Petrović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (telefon: 381-11-3370075, e-mail: gpetrovic@etf.bg.ac.rs).

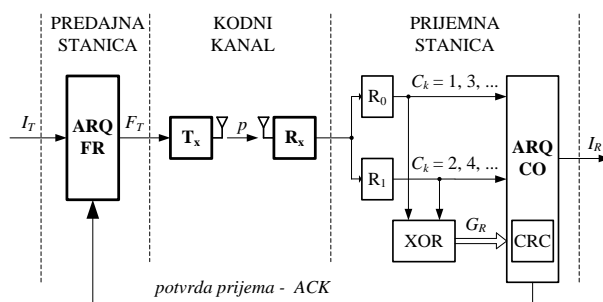
Ljiljana Trajković is with the School of Engineering Science, Simon Fraser University, Vancouver, British Columbia, Canada phone: (778) 782-3998; e-mail: ljilja@cs.sfu.ca).

Precizno određivanje propusnosti nije jednostavan postupak i uglavnom se koriste krajnje pojednostavljeni teorijski modeli procedura čija se validnost potvrđuje simulacijom. Kada je u pitanju ARQ šema sa xor kombinovanjem, propusnost se određuje na bazi simulacije, ili na bazi analitičkih izraza u otvorenom obliku [5], [8].

Imajući u vidu pojednostavljeni teorijski model, u ovom radu je predstavljen egzaktan analitički postupak za određivanje propusnosti „vrati se za N^c (GBN) ARQ šeme sa jednostavnim xor kombinovanjem okvira. Izlaganje je organizovano na sledeći način: u sekciji II je dat prikaz predloženog telekomunikacionog modela, u sekciji III je definisan dijagram stanja koji predstavlja jedan retransmissioni ciklus, a u sekciji IV izvođenje analitičkog izraza za propusnost. Teorijski i simulacioni rezultati su prikazani u sekciji V. U završnoj sekciji je dat zaključak, i na kraju, spisak citirane literature.

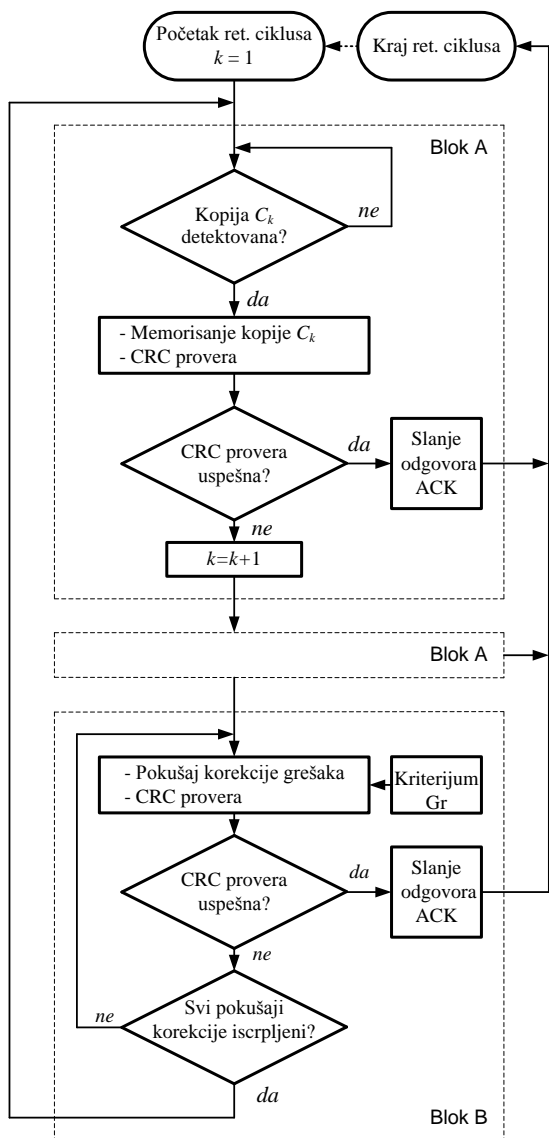
II. TEORIJSKI MODEL

Na slici 1 je predstavljen pojednostavljeni model GBN ARQ šeme sa xor kombinovanjem okvira. Model se sastoji od predajne i prijemne stanice i dvosmernog „kodnog“ kanala. U smeru prenosa okvira kodni kanal je binarni simetričan sa kanalnom verovatnoćom p , a u povratnom smeru idealan.



Sl. 1. Pojednostavljeni model GBN ARQ šeme sa xor kombinovanjem okvira.

Predajnu stanicu čini blok ARQ-FR koji služi za formiranje i retransmisiju okvira F_T . Ovaj okvir se sastoji od korisničkog paketa I_T i zaglavlja H_T . Zaglavlje sadrži pomoćne bite uključujući CRC mehanizam za detekciju grešaka pri prenosu. Podrazumeva se da blok ARQ-FR emituje okvire u skladu sa standardnom jednokopijskom GBN ARQ šemom [11].



Sl. 2. Dijagram toka ARQ šeme sa xor kombinovanjem okvira.

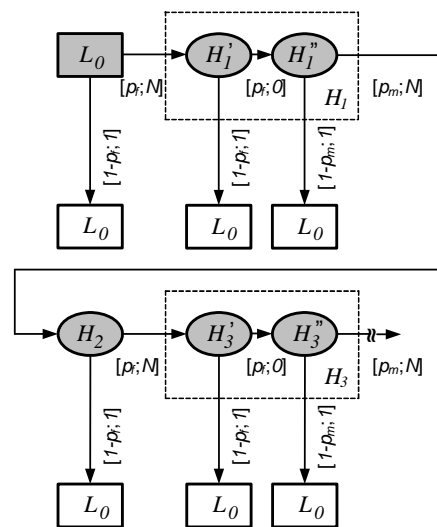
Prijemnu stanicu čine: (i) registri R_0 i R_1 koji služe za skladištenje primljenih kopija okvira; (ii) blok XOR kojim se posredstvom „bit-po-bit“ xor komparacije ukazuje na moguće pozicije grešaka u jednoj ili drugoj uskladištenoj kopiji okvira; i (iii) blok ARQ-CO u kome se ostvaruje prijemni deo GBN ARQ procedure zajedno sa xor kombinovanjem.

Procedura prijema i „rekonstrukcije“ paketa I_R može se odvijati prema različitim scenarijima, što u prvom redu zavisi od načina izbora kopija čijim kombinovanjem se dobija potrebna informacija za korekciju grešaka [6]. U ovom radu, odabran je scenario prikazan na slici 2. Kompletan proces prijema paketa se ostvaruje posredstvom dve vrste blokova označenih kao blok A i blok B. Blok A počinje fazom u kojoj se posle detektovanja kopije okvira sa očekivanim rednim brojem k ($k = 1, 2, \dots$) vrši njeno skladištenje u registar $R_{(k+1) \bmod 2}$. Potom sledi CRC provera okvira i emitovanje „odgovora“ ACK u slučaju da nije detektovana greška. Ukoliko CRC provera nije uspešna, napušta se blok A pošto se prethodno izvrši indikacija rednog broja naredne kopije okvira na čiji

se prijem čeka. Aktiviranje bloka B sledi posle neuspele CRC provere kopije okvira sa parnim rednim brojem. U okviru ovog bloka napre se odvija postupak sukcesivnih pokušaja korekcije grešaka koji se sastoji u inverziji bita u jednoj od dve memorisane kopije i to isključivo na bitskim pozijama koje su markirane kontrolnim signalom greške G_R generisanim od strane bloka XOR (videti sliku 1). Posle svakog pokušaja korekcije greške, vrši se CRC provera i ukoliko je ona uspešna, prijemna stanica emituje ACK odgovor. Ako signal G_R ukazuje na m pozicija sa jednostrukim greškama i ako u memorisanim kopijama ne postoji dvostruka greška na istoj poziciji, sekvenca sukcesivnih pokušaja završiče se najkasnije posle $2^m - 2$ koraka. U slučaju postojanja dvostruke greške bar na jednoj poziciji, postupak korekcije neće biti uspešan. Posledica će biti prelazak iz bloka B u blok A, čime započinje nova etapa prijema kopije okvira sa indikovanim neparnim rednim brojem. Emitovanje odgovora ACK, kao i u slučaju svih ARQ mehanizama, dovodi do završetka retransmissionog ciklusa.

III. DIJAGRAM STANJA

Pri izvođenju izraza za propusnost koristiće se metoda predstavljanja retransmissionog ciklusa posredstvom dijagrama stanja [9]–[10]. Imajući u vidu opisanu proceduru, ovaj dijagram ilustrovan je na slici 3.



Sl. 3. Dijagram stanja posmatranog scenarija

Sa L_0 je označeno inicijalno stanje. Saglasno GBN proceduri, do prelaska u ovo stanje dolazi posle emitovanja uspešno prenete kopije okvira (čime se ujedno završava jedan retransmissioni ciklus), a izlazak iz ovog stanja dešava se u trenutku početka emitovanja prve kopije okvira (čime ujedno započinje novi retransmissioni ciklus). Ostala stanja su tranzientna i nose oznake $H_1', H_1'', H_2, H_3', H_3'', H_4, H_5', H_5'', \dots$. Isprekidanom linijom izvršeno je grupisanje stanja sa neparnim indeksom. Tako su stanja H_1' i H_1'' zamenjena stanjem H_1 , a stanja H_3' i H_3'' stanjem H_3 , i tako redom. Na taj način je obezbeđeno da se prolazi kroz ovako grupisana tranzientna stanja događaju u trenucima početka emitovanja neuspelo prenetih kopija okvira.

Svakom prelazu između stanja pridružena su dva parametra. Prvi od njih označava verovatnoću prelaza, a drugi, normirano vreme trajanja prelaza. Pri tome, normiranje je izvršeno u odnosu na trajanje emitovanja kopije okvira, T_f .

A. Verovatnoće tranzicija

Pri određivanju verovatnoće prelaza usvojene su sledeće pretpostavke: (a) ukupan broj bita u okviru je poznat i iznosi n , (b) prepoznavanje početka i kraja okvira na prijemnoj strani je pouzdan proces nezavisno od broja grešaka koje su pogodile okvir; (c) greške su međusobno nezavisne i jednako verovatne, (d) kanalna verovatnoća p se ne menja tokom trajanja retransmisionog ciklusa.

Kao što se sa slike 3 vidi, verovatnoće tranzicija određene su posredstvom dve veličine: p_f i p_m . Sa p_f je označena verovatnoća pogrešnog prenosa jedne kopije okvira. S obzirom na navedene pretpostavke ova verovatnoća je određena izrazom:

$$p_f = 1 - q^n \quad (1)$$

gde je $q = 1 - p$.

Verovatnoća p_m može se predstaviti kao količnik

$$p_m = \frac{P(H_2)}{P(H_1'')} \quad (2)$$

pri čemu $P(H_2)$ i $P(H_1'')$ označavaju verovatnoće stanja H_2 i H_1'' . Na osnovu dijagrama na slici 3, sledi:

$$P(H_1'') = P_{SC} \cdot P(L_0) \quad (3)$$

gde je $P_{SC} = p_f^2$, verovatnoća neuspeha prenosa dve kopije, a budući da svaki retransmisioni ciklus startuje iz stanja L_0 , $P(L_0) = 1$. Takođe, na osnovu dijagrama sa slike 3 sledi:

$$P(H_2) = P_{XOR} \cdot P(L_0) \quad (4)$$

Budući da *xor* kombinovanje otkazuje samo ako postoji najmanje jedna bitska pozicija na kojoj su biti u posmatranom paru kopija okvira pogrešno preneti, sledi $P_{XOR} = 1 - (q^2 + 2pq)^n$. Kombinovanjem (3) – (4), izraz za p_m postaje:

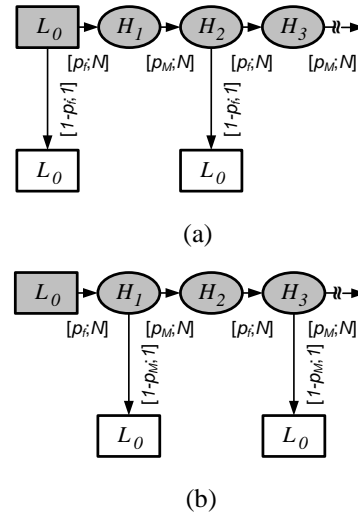
$$p_m = \frac{P_{XOR}}{P_{SC}} = \frac{1 - (q^2 + 2pq)^n}{(1 - q^n)^2} \quad (5)$$

B. Vremena tranzicije

Pri određivanju vremena tranzicije imale su se u vidu sledeće dve pretpostavke: (d) vreme procesiranja na predajnoj i prijemnoj strani je zanemarljivo u odnosu na T_f , i (e) do retransmisije kopije okvira dolazi isključivo posle isteka vremenske kontrole. Podrazumeva se da se ova kontrola uključuje sa početkom emitovanja kopije, a da njeno trajanje iznosi $N \cdot T_f$. S obzirom na neophodnost pravovremene detekcije pozitivnog odgovora ACK, neophodno je da vreme $N \cdot T_f$ ne bude manje od zbira koje čine: T_f , vremena propagacije u oba smera, trajanje prenosa odgovora ACK i vremena obrade signala na predajnoj i prijemnoj strani.

IV. IZVOĐENJE IZRAZA ZA PROPUSNOST

U postupku određivanja vrednosti trajanja retransmisionih ciklusa, pogodno je da dijagram stanja prikazan na slici 3 dekomponujemo u dve celine date na slici 4. Svaku od ovih celina karakterišu specifične retransmisione putanje, pri čemu je $p_M = p_f \cdot p_m$.



Sl. 4. Dekompozicija dijagrama stanja

U nastavku, za svaku od retransmisionih putanja biće određeno srednje vreme trajanja odgovarajućih retransmisionih ciklusa \bar{T}_j ($j = 1, 2$):

a) $L_0 \rightarrow L_0, L_0 \rightarrow H_1 \rightarrow H_2 \rightarrow L_0, \dots$

$$\bar{T}_1 = \left[\sum_{k=0}^{+\infty} (k \cdot 2N + 1) \cdot (p_f \cdot p_M)^k \cdot (1 - p_f) \right] \cdot T_f \quad (6)$$

$$= \left[(1 - p_f) \cdot S_1 + 2N \cdot (1 - p_f) \cdot S_2 \right] \cdot T_f$$

b) $L_0 \rightarrow H_1 \rightarrow L_0, L_0 \rightarrow H_1 \rightarrow H_2 \rightarrow H_3 \rightarrow L_0, \dots$

$$\bar{T}_2 = \left[\sum_{k=0}^{+\infty} (N + k \cdot 2N + 1) \cdot p_f \cdot (p_M \cdot p_f)^k \cdot (1 - p_M) \right] \cdot T_f \quad (7)$$

$$= \left[(N + 1) \cdot p_f \cdot (1 - p_M) \cdot S_1 + 2N \cdot p_f \cdot (1 - p_M) \cdot S_2 \right] \cdot T_f$$

pri čemu su sa S_1 i S_2 označene sume:

$$(i) \quad S_1 = \sum_{k=0}^{+\infty} (p_f \cdot p_M)^k = \frac{1}{1 - p_f \cdot p_M} \quad (8)$$

$$(ii) \quad S_2 = \sum_{k=0}^{+\infty} k \cdot (p_f \cdot p_M)^k = \frac{p_f \cdot p_M}{(1 - p_f \cdot p_M)^2} \quad (9)$$

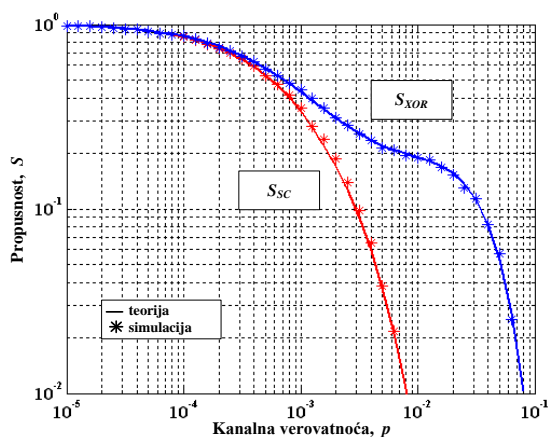
Sumiranjem izraza (6) i (7), i smenom $p_M = p_f \cdot p_m$, dobija se sledeći izraz za propusnost:

$$S_{XOR} = \frac{T_f}{\bar{T}_1 + \bar{T}_2} = \left[1 + N \cdot p_f \cdot \frac{1 + p_f \cdot p_m}{1 - p_f^2 \cdot p_m} \right]^{-1} \quad (10)$$

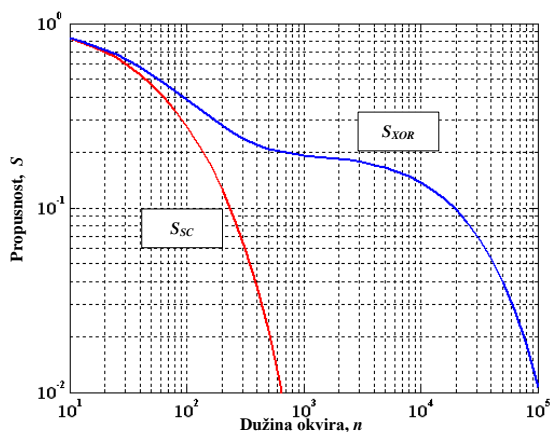
U slučaju kada se ne vrši *xor* kombinovanje, verovatnoća p_m je jednaka jedan, a saglasno tome, opisana procedura se svodi na standardnu jednokopijsku GBN proceduru.

V. ILUSTRATIVNI PRIMER

Na slici 5 prikazana je zavisnost propusnosti standardne i *xor* procedure za $N = 4$ u funkciji (a) kanalne verovatnoće p i (b) dužine okvira n . Pored teorijske analize, za prvi slučaj je sprovedena i simulaciona analiza. Za izabrane vrednosti verovatnoće grešaka po bitu u opsegu od 10^{-5} do 10^{-1} generisana je sekvenca grešaka dužine $n_f \times n$ bita ($n_f = 3000$ kopija okvira i $n = 400$ bita po okviru). Sa slike se pored dobrog slaganja teorijskih i simulacionih rezultata uočava da pri verovatnoći greške po bitu od 0.005 propusnost standardne procedure iznosi 0.04, a *xor* procedure 0.22. Sličan tok grafika za propusnost standardne i kombinovane procedure se dobija i u slučaju promene dužine okvira n .



a)



b)

Sl. 5. Propusnost GBN ARQ šeme sa *xor* kombinovanjem paketa za $N = 4$ u funkciji (a) kanalne verovatnoće p ($n = 400$, $n_f = 3000$), (b) dužine okvira n ($p = 0.005$)

VI. ZAKLJUČAK

U radu je analizirana propusnost GBN ARQ šeme koja se zasniva na vremenskom diverzitetu i kombinovanoj primeni selektivnog odlučivanja i korekcionog mehanizma baziranog na sabiranju po modulu 2. Razvijen je teorijski model za računanje propusnosti na bazi retransmissionih ciklusa. Na osnovu predloženog modela kao i na osnovu rezultata za verovatnoće pogrešnog prenosa paketa,

izveden je analitički izraz za propusnost u slučaju primene kombinovane procedure. Pored teorijske analize, sprovedena je i simulaciona analiza. Simulacioni rezultati su dali dobro slaganje sa odgovarajućim teorijskim rezultatima.

Treba imati u vidu da su izvedeni izrazi za propusnost bazirani na pretpostavci da je vreme potrebno za *xor* kombinovanje zanemarljivo u odnosu na trajanje okvira. Pri velikoj verovatnoći greške u kanalu ovakva pretpostavka nije održiva jer vreme potrebno za korekciju grešaka postaje dominantno u odnosu na trajanje okvira. Kako bi se vreme obrade svelo na neku razumnu meru, pojedini autori predlažu da se korekcija pogrešnih bita vrši samo u slučaju kada je broj detektovanih grešaka manji od deset. U tom slučaju rezultati dati u radu se mogu smatrati kao gornja granica propusnosti.

LITERATURA

- [1] P. S. Sindhu, "Retransmission error control with memory," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, no. 5, pp. 473-479, May 1977.
- [2] S. B. Wicker, "Adaptive rate error control through the use of diversity combining and majority-logic decoding in a hybrid-ARQ protocol," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 39, no. 3, pp. 380-385, Mar. 1991.
- [3] Yu-Dong Yao, "An effective Go-Back-N ARQ scheme for variable-error-rate channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43, pp.20-23, No.1, Jan. 1995.
- [4] 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.
- [5] S. S. Chakraborty and M. Liinajarja, "Exact analysis of adaptive go-back-N ARQ scheme," *Electron. Lett.*, vol. 35, pp. 379-380, Mar. 1999.
- [6] Y. -W Leung, "Aggressive packet combining for error control in wireless networks," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E83-B, no. 2, Feb. 2000.
- [7] E. Masala, A. Serveti, and J. C. Martin, "Standard compatible error correction for multimedia transmission over 802.11 WLAN," in *Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005. IEEE International Conference on 6-8 July 2005*, pp 880-883.
- [8] S. S. Chakraborty, M. Liinajarja, and K. Ruttik, "Diversity and packet combining in Rayleigh fading channels," *IEE Proc. Commun.*, vol. 152, no. 3, pp. 353-356, June 2005.
- [9] R. Vojinović, G. Petrović, Z. Petrović: "The analysis of the adaptive three-mode ARQ GBN scheme using retransmission cycles mechanism", *AEUE - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 60, no. 2, pp. 190-198, 2006.
- [10] V. Vuković, R. Vojinović, Z. Petrović i G. Petrović, "Analiza propusnosti generalizovanog GBN ARQ modela pomoću retransmissionih ciklusa", *XLIX Konferencija ETRAN-a*, vol. 2, pp. 140 - 143, Budva, 5. - 10. juna 2008. godine.
- [11] D. Drajić i P. Ivaniš, *Uvod u teoriju informacija i kodovanje*, Akademska misao, Beograd, 2009.

ABSTRACT

In this paper, we derived an analytical expression for the throughput efficiency in a GBN ARQ telecommunication scheme with the *xor* packet combining. The analysis was based on retransmission cycles. Results show that including the *xor* packet combining leads to better performance compared to the ordinary single copy GBN ARQ scheme.

THROUGHPUT EFFICIENCY OF THE GBN ARQ SCHEME WITH XOR PACKET COMBINING

Vladimir Vuković, Grozdan Petrović, and Ljiljana Trajković