

ANALIZA PROPUSNOSTI GENERALIZOVANOG DVOMODNOG GBN ARQ MODELA POMOĆU RETRANSMISIONIH CIKLUSA

Vladimir Vuković, *Nacionalna služba za zapošljavanje,*
Ranko Vojinović, *Ministarstvo unutrašnjih poslova Crne Gore,*
Zoran Petrović, Grozdan Petrović, *Elektrotehnički fakultet u Beogradu*

Sadržaj – U radu se daje efikasan metod za egzaktnu procenu propusnosti adaptivne GBN šeme u kanalima sa dva stanja zasnovan na korišćenju retransmisionih ciklusa bez ograničenja na vremenski sporopromenljive kanale i uslov da prenos bilo kog paketa započinje i završava u istom modu rada predajnika.

1. UVOD

U cilju poboljšanja efikasnosti u vremenski promenljivim kanalima, koristi se adaptivna GBN šema sa dva ili više modova rada koji odgovaraju stanjima kanala. U uslovima male verovatnoće greške u kanalu (stanje L), adaptivna GBN šema radi kao standardna procedura, a u uslovima velike verovatnoće greške (stanje H), kao multikopijska procedura. Prelazak iz stanja L u stanje H vrši se prebrojavanjem uzastopnih negativnih potvrda prijema (NAK) za svaki paket, a prelazak iz stanja H u stanje L, prebrojavanjem uzastopnih pozitivnih potvrda (ACK) za svaki blok (blok se sastoji od m-kopija istog paketa).

Pri analizi propusnosti adaptivnih GBN modela, pojedini autori [3,4,5,6] su pretpostavili da se prenos paketa odvija u sporopromenljivim kanalima, odnosno da prenos paketa počinje i završava u istom modu rada, tako da su propusnost definisali kao zbir proizvoda stacionarnih verovatnoća pojedinih modova rada i odgovarajućih srednjih vrednosti propusnosti koje bi se dobile kada bi sistem isključivo radio u datom modu rada.

Imajući u vidu činjenicu da životni ciklus jednog paketa može započeti u jednom modu rada, a završiti u drugom, evidentno je da se prelazi iz jednog stanja u drugo ne odvijaju u ekvidistantnim vremenskim intervalima, adaptivni GBN mehanizmi se mogu posmatrati kao pridruženi Markovljevi lanci sa dva stanja. Za razliku od prethodnih analiza, kod kojih su prelazi iz stanja u stanje bili opisani samo verovatnoćama prelaza, nameće se potreba i za uvođenjem dodatnog parametra – vreme prelaza.

U suštini, prenos paketa se sastoji od sekvence retransmisionih ciklusa, pri čemu retransmisioni ciklus predstavlja niz događaja koji vode od početnog inicijalnog stanja, preko tranzijentnih stanja koja nastaju usled uticaja grešaka u kanalu, do završnog inicijalnog stanja koje rezultuje

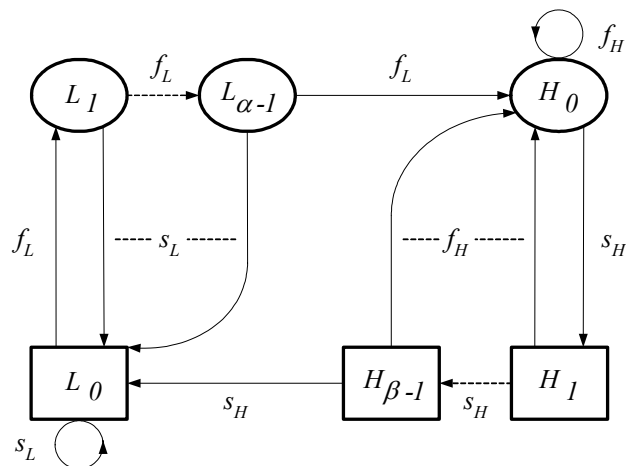
uspešnim prenosom paketa u slučaju standardne procedure ili bloka, u slučaju m-kopijske procedure.

Prema jednoj od mogućih definicija, propusnost linije pri prenosu paketa u okviru zadatog GBN mehanizma se definiše kao količnik vremena potrebnog za emitovanje paketa T_p i prosečne vrednosti trajanja retransmisionih ciklusa potrebnih za njegov uspešan prenos, \bar{T}_R . Drugim rečima, propusnost predstavlja recipročnu vrednost prosečnog normalizovanog trajanja retransmisionih ciklusa.

Cilj ovog rada je uvođenje novog pristupa u analizu propusnosti adaptivne GBN šeme korišćenjem retransmisionih ciklusa. U analizi koja sledi, u drugom poglavlju će biti definisani retransmisioni ciklusi i izračunata propusnost generalizovanog dvomodnog GBN modela sa dve grupe stanja, u trećem poglavlju će biti dat grafički prikaz rezultata za izabrane parametre modela, u četvrtom zaključak i na kraju, literatura.

2. PROPUSNOST GENERALIZOVANE DVOMODNE GBN ŠEME

Na slici 1 je prikazana adaptivna 2M-GBN šema sa dve grupe stanja koja odgovara dvomodnom režimu rada predajnika, saglasno literaturi [3,4,5,6].



Slika 2. 2M-GBN šema sa dve grupe stanja

Prvu grupu čine inicijalna stanja u kojima se sistem nalazi posle uspešnog prenosa, odnosno prijema pozitivne potvrde, i ova stanja su označena sa $L_0, H_1, \dots, H_{\beta-1}$. Drugu grupu čine tranzijentna stanja u koja sistem dolazi nakon neuspelog prenosa i ova stanja su označena sa $L_1, \dots, L_{\alpha-1}, H_0$. Prelazi koji završavaju u inicijalnom stanju u kome se sistem nalazi posle uspešne emisije jednog paketa ili jednog bloka, opisani su parovima $s_L = [q_L; k_L \cdot T_P]$, odnosno $s_H = [q_H; k_H \cdot T_P]$, a prelazi koji vode u tranzijentno stanje, sa $f_L = [p_L; m_L \cdot T_P]$, odnosno $f_H = [p_H; m_H \cdot T_P]$, pri čemu važe uslovi $q_L + p_L = 1$ i $q_H + p_H = 1$. Sa $k_L, m_L = k_L + N - 1, k_H$ i $m_H = k_H + N - 1$, su označeni parametri koji zavise od izabrane GBN procedure (standardna ili multikopijska GBN procedura), a sa T_P , trajanje paketa. Prelazak iz stanja L u stanje H se vrši prebrojavanjem uzastopnih negativnih potvrda prijema (NAK), a prelazak iz stanja H u stanje L, prebrojavanjem uzastopnih pozitivnih potvrda (ACK).

2.1. Verovatnoće stanja u stacionarnom režimu

Na osnovu dijagrama stanja koji je prikazan na slici 2.a, stacionarne verovatnoće se mogu predstaviti sledećim izrazima:

$$P(L_i) = p_L^i \cdot \left[\frac{1 - p_L^\alpha}{q_L} + \frac{p_L^\alpha}{q_H^\beta} \cdot \frac{1 - q_H^\beta}{p_H} \right]^{-1}, \quad i = 0, \dots, \alpha - 1 \quad (1)$$

$$P(H_i) = q_H^i \cdot \left[\frac{1 - q_H^\beta}{p_H} + \frac{q_H^\beta}{p_L^\alpha} \cdot \frac{1 - p_L^\alpha}{q_L} \right]^{-1}, \quad i = 0, \dots, \beta - 1 \quad (2)$$

Sa stanovišta dalje analize, korisno je definisati sledeće veličine:

$$LP = \frac{q_H^\beta}{p_L^\alpha} \quad (3)$$

$$HP = \sum_{i=1}^{\beta-1} q_H^i = \sum_{i=0}^{\beta-1} q_H^i - 1 = \frac{1 - q_H^\beta}{p_H} - 1 \quad (4)$$

tako da važi:

$$P(L_0) = LP \cdot P(H_0) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{\beta-1} P(H_i) = \sum_{i=1}^{\beta-1} q_H^i \cdot P(H_0) = HP \cdot P(H_0) \quad (6)$$

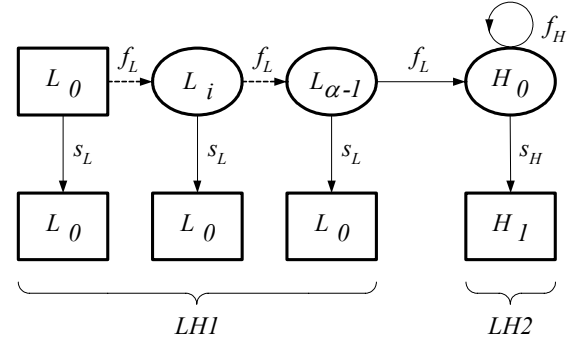
2.2. Srednje vreme trajanja retransmisionih ciklusa

Na osnovu dijagrama stanja, vidi se da postoji više grupa različitih retransmisionih ciklusa. U ovoj sekciji biće izvršena

njihova klasifikacija prema početnom inicijalnom stanju i proračun srednjeg vremena trajanja pojedinačnih grupa.

2.2.1. Retransmisioni ciklusi iz početnog stanja L_0

Grupa retransmisionih ciklusa LH sa početnim inicijalnim stanjem L_0 prikazana je na slici 2.b i sastoji se od dve podgrupe koje završavaju u inicijalnim stanjima L_0 i H_1 . Podgrupa LH1 označava prelaze iz stanja L_0 u L_0 , a podgrupa LH2, prelaze iz stanja L_0 u H_1 .



Slika 2. Grupa retransmisionih ciklusa iz početnog stanja L_0

a) retransmisioni ciklusi $L_0 \rightarrow \dots \rightarrow L_i \rightarrow \dots \rightarrow L_0, \quad i=0,1,2,\dots,\alpha-1$

Izraz za srednje vreme trajanja retransmisionih ciklusa za grupu LH1 glasi:

$$\bar{T}_{LH1} = \sum_{i=0}^{\alpha-1} (i \cdot m_L + k_L) \cdot T_P \cdot p_L^i \cdot q_L = \left(\frac{1 - p_L^\alpha}{S_{ll}} - \alpha \cdot m_L \cdot p_L^\alpha \right) \cdot T_P \quad (7)$$

gde je sa

$$S_{ll} = \left(k_L + m_L \cdot \frac{p_L}{q_L} \right)^{-1} \quad (8)$$

označena propusnost jednomodne GBN (1M-GBM) šeme čija su stanja L_0 i L_1

b) retransmisioni ciklusi $L_0 \rightarrow \dots \rightarrow L_{\alpha-1} \rightarrow H_0 \rightarrow H_1$

Izraz za srednje vreme trajanja retransmisionih ciklusa za grupu LH2 glasi:

$$\bar{T}_{LH2} = \sum_{k=0}^{+\infty} [\alpha \cdot m_L + k \cdot m_H + k_H] \cdot T_P \cdot p_L^\alpha \cdot p_H^k \cdot q_H = \left(\frac{p_L^\alpha}{S_{hh}} + \alpha \cdot m_L \cdot p_L^\alpha \right) \cdot T_P \quad (9)$$

gde je sa

$$S_{hh} = \left(k_H + m_H \cdot \frac{p_H}{q_H} \right)^{-1} \quad (10)$$

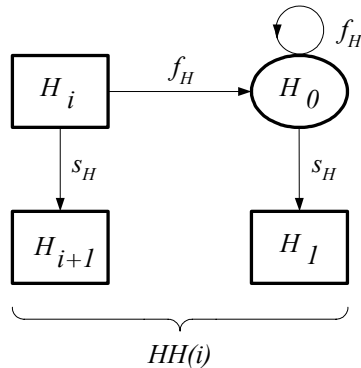
označena propusnost jednomodne GBN (1M-GBN) šeme čija su stanja H_0 i H_1 .

Srednja vrednost trajanja retransmisionih ciklusa koji počinju iz stanja L_0 jednaka je sumi srednjih vrednosti trajanja pojedinih podgrupa. Sumiranjem izraza (7) i (9), dobija se:

$$\bar{T}_{LH} = \bar{T}_{LH1} + \bar{T}_{LH2} = \left(\frac{1 - p_L^\alpha}{S_{ll}} + \frac{p_L^\alpha}{S_{hh}} \right) \cdot T_P \quad (11)$$

2.2.2. Retransmisioni ciklusi iz početnog stanja $H_1, H_2, \dots, H_{\beta-1}$

Grupa retransmisionih ciklusa $HH(i)$ sa početnim inicijalnim stanjem $H_i, i = 1, 2, \dots, \beta - 1$ prikazana je na slici 3. Sastoji se od jedne podgrupe koja se završava u inicijalnim stanjima H_{i+1} i H_1 , pri čemu je formalno usvojeno da vredi $H_\beta \equiv L_0$.



Slika 3. Grupa retransmisionih ciklusa sa početnim stanjem $H_i, i = 1, 2, \dots, \beta - 1$

- a) retransmisioni ciklusi $H_i \rightarrow H_{i+1}$ ($H_\beta \equiv L_0$) i
 $H_i \rightarrow H_0 \rightarrow H_1, i = 1, 2, \dots, \beta - 1$

Izraz za srednje vreme trajanja retransmisionih ciklusa za grupu $HH(i)$ glasi:

$$\begin{aligned} \bar{T}_{HH(i)} &= \left[k_H \cdot q_H + \sum_{k=0}^{+\infty} (m_H + k \cdot m_H + k_H) \cdot p_H^k \cdot p_H^k \cdot q_H \right] \cdot T_P = \\ &= \frac{T_P}{S_{hh}} \quad (12) \end{aligned}$$

S obzirom da su srednje vrednosti trajanja retransmisionih ciklusa koji počinju iz stanja H_i jednake i nezavisne od rednog broja stanja i , može se pisati:

$$\bar{T}_{HH} = \bar{T}_{HH(i)} = \frac{T_P}{S_{hh}}; \quad i = 1, 2, \dots, \beta - 1 \quad (13)$$

2.3. Računanje propusnosti 2M-GBN šeme sa dve grupe stanja

Za računanje propusnosti 2M-GBN šeme sa dve grupe stanja, najpre treba odrediti srednju vrednost trajanja svih retransmisionih ciklusa imajući u vidu učestanost njihovog pojavljivanja. Ako se sa $R = \{L_0, H_1, H_2, \dots, H_{\beta-1}\}$ označi skup svih inicijalnih stanja, izraz za srednju vrednost trajanja retransmisionih ciklusa \bar{T}_R glasi:

$$\bar{T}_R = \bar{T}_{LH} \cdot P(L_0 / R) + \sum_{i=1}^{\beta-1} \bar{T}_{HH(i)} \cdot P(H_i / R) \quad (14)$$

pri čemu je sa $P(X / R)$ označena uslovna verovatnoća pojavljivanja inicijalnog stanja X iz skupa R . Pošto pojavljivanje inicijalnih stanja predstavlja međusobno isključive događaje, sledi:

$$P(X / R) = \frac{P(X)}{P(R)} = \frac{P(X)}{P(L_0) + \sum_{i=1}^{\beta-1} P(H_i)} \quad (15)$$

Zamenom, koristeći izraze (2), (3) i (4), izraz (14) postaje:

$$\bar{T}_R = \frac{LP \cdot \bar{T}_{LH} + HP \cdot \bar{T}_{HH}}{LP + HP} \quad (16)$$

odakle direktno sledi rezultat za propusnost 2M-GBN šeme sa dve grupe stanja:

$$S_R = \frac{T_P}{\bar{T}_R} = \frac{LP + HP}{LP \cdot \bar{T}_{LH} + HP \cdot \bar{T}_{HH}} \cdot T_P \quad (17)$$

Zamenom izraza za srednje vreme trajanja retransmisionih ciklusa \bar{T}_{LH} i \bar{T}_{HH} , saglasno relacijama (20) i (23), prethodni izraz za propusnost se može predstaviti u alternativnom obliku:

$$S_R = \frac{1}{S_R} = \left(\frac{1 - p_L^\alpha}{S_{ll}} + \frac{p_L^\alpha}{S_{hh}} \right) \cdot \frac{LP}{LP + HP} + \frac{1}{S_{hh}} \cdot \frac{HP}{LP + HP} \quad (18)$$

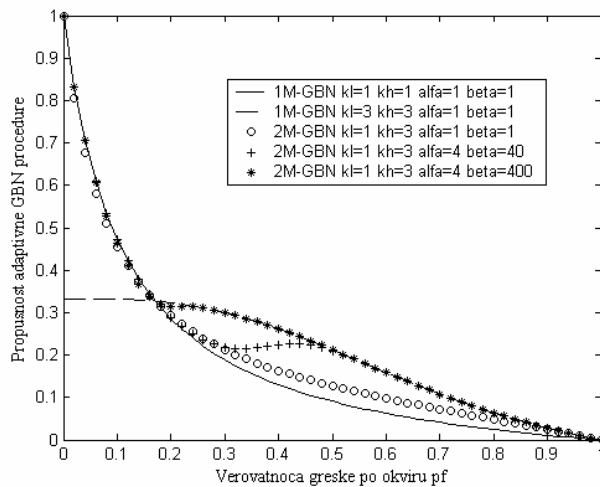
Drugim rečima, recipročna vrednost propusnosti adaptivnog GBN modela sa dve grupe stanja jednaka zbiru proizvoda recipročnih propusnosti jednog dvomodnog i jednog jednomodnog GBN modela i odgovarajućih uslovnih verovatnoća pojavljivanja inicijalnih stanja.

3. REZULTATI ANALIZE

U radu je izvršena analiza uticaja parametara α i β na propusnost adaptivnog GBN modela sa dve grupe stanja.

Na slici 4, prikazana je zavisnost propusnosti jednomodne i dvomodne GBN šeme za jedan-kopijski i tri-kopijski mehanizam za različite vrednosti α i β , u funkciji verovatnoće greške po okviru. Punom i isprekidanom linijom prikazani su grafici dobijeni su na osnovu teorijskih izraza za propusnost jedno-kopijske i tri-kopijske monomodne 1M-GBN šeme. Grafici prikazani simbolima “kružić”, “plus” i “zvezdica” dobijeni su na osnovu izvedenog teorijskog izraza za dvomodni GBN mehanizam za različite vrednosti parametara α i β .

Vrednosti parametara α i β su određene empirijski kako bi se dobilo što bolje poklapanje grafika za jedno-kopijski i tri-kopijski monomodni mehanizam i dvomodni GBN mehanizam. U ovom slučaju izabrane su vrednosti $\alpha=4$ i $\beta=400$.



Slika 4. Propusnost 1-kopijske i 3-kopijske 1M-GBN šeme i 2M-GBN ARQ šeme za $N=10$

4. ZAKLJUČAK

U radu je prezentovana efikasna metoda za procenu propusnosti adaptivne GBN šeme u kanalima sa dva stanja, bazirana na retransmissionim ciklusima. Predložena metoda nije ograničena na vremenski sporopromenljive kanale i uslov da prenos bilo kog paketa započinje i završava u istom modu rada.

Takođe je pokazano da je recipročna vrednost propusnosti adaptivnog GBN modela sa dve grupe stanja jednaka zbiru proizvoda recipročnih propusnosti jednog dvomodnog i jednog jednomodnog GBN modela i odgovarajućih uslovnih verovatnoća pojavljivanja inicijalnih stanja.

5. LITERATURA

- [1] M. Schwarz, “Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis”, Addison-Wesley Publishing Company, 1987.
- [2] H. Bruneel and M. Moeneclaey, “On the Throughput Performance of Some Continuous ARQ Strategies with Repeated Transmissions”, *IEEE Trans. Commun.*, vol. com-34, pp. 244-248, No.3, Mar. 1986.
- [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] A. Annamalai and K. Bhargava, “Analysis and Optimization of Adaptive Multicopy Transmission ARQ Protocols for Time-Varying Channels”, *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp.1356-1368, No.10, Oct. 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] S. S. Chakraborty and M. Liinajarja, “An Exact Analysis of an Adaptive GBN ARQ scheme with Sliding Observation Interval Mechanism”, *IEEE Commun. Lett.*, vol. 3, pp.151-153, No.5, May 1999.

Abstract: This paper presents one efficient method for exact throughput analysis of adaptive GBN scheme in channels with two states based on using retransmission cycles without limitation on slow time-varying channels and condition that transmission of anyone packet starts and stops in the same transmitter mode.

THROUGHPUT ANALYSIS OF ADAPTIVE TWO-MODE GBN ARQ SCHEME WITH RETRANSMISSION CYCLES

Vladimir Vuković, Ranko Vojinović,
Zoran Petrović and Grozdan Petrović