

# Modelovanje kašnjenja u EPON mreži

Mirjana R. Radivojević, Petar S. Matavulj

**Sadržaj – Implementacija kvaliteta servisa u EPON mreži je od ključnog značaja za uspešan prenos multimedijalnog sadržaja. U ovom radu se analizira kašnjenje i varijacija kašnjenja u mreži kao i rešenje za njihovu minimizaciju. Pored teorijske analize u radu su predstavljeni rezultati simulacije i testiranja kojim se potvrđuje efikasnost predloženog rešenja.**

**Ključne reči — DBA algoritam, EPON, jitter, kašnjenje paketa, kvalitet servisa.**

## I. UVOD

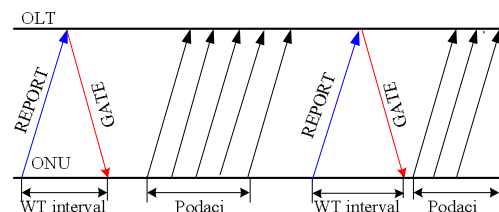
ETHERNET pasivna optička mreža (EPON) se poslednjih godina nametnula kao efikasno rešenje za pristupnu mrežu. Naime, ova tehnologija ima potencijal da krajnjim korisnicima pruži propusni opseg dovoljan za prenos različitih i sve popularnijih multimedijalnih sadašnjih i budućih servisa. Prenos ovih servisa zahteva implementaciju kvaliteta servisa u EPON mreži pa u radu razmatramo sistem i algoritme koji podržavaju Diffserv (*Differentiated Services*) IETF strukturu kao neophodan uslov za definisanje i implementaciju kvaliteta servisa [1]. U ovoj strukturi saobraćaj u sistemu se deli u tri klase: EF (*Expedited Forwarding*), AF (*Assured Forwarding*) i BE (*Best Effort*) klasu.

## II. EPON ARHITEKTURA

EPON sistem se sastoji od jedne OLT jedinice koja se nalazi kod provajdera servisa i više ONU jedinica preko kojih se povezuju krajnji korisnici. Za razmenu podataka u *upstream* smeru (od ONU ka OLT jedinicama) neophodno je implementirati algoritam za dinamičku alokaciju propusnog opsega koji se u literaturi naziva i Inter-ONU raspoređivač [2]. IEEE standardom 802.3ah definisan je MPCP (*Multipoint Control Protocol*) protokol i u okviru njega razmena GATE i REPORT kontrolnih poruka koja omogućava dalju implementaciju različitih algoritama za preraspodelu propusnog opsega [3]. U radu razmatramo dva algoritma za dinamičku alokaciju propusnog opsega, DBA algoritam sa podrškom

za diferencirane servise (DBA\_QoS) i dinamički algoritam baziran na HG (*Hybrid Grant*) protokolu (DBA\_HG). Detalji vezani za funkcionisanje oba algoritma, kao i njihovi matematički modeli dati su u [4], pa su u produžetku razmotreni samo osnovni mehanizmi oba algoritma kao i činjenica da su oni izabrani kao algoritmi koji se implementiraju u EPON sistemu u kome se vrši analiza i modelovanje kašnjenja.

U EPON sistemu MPCP protokol može da se implementira na dva načina: u skladu sa GAR (*Grant After Report*) mehanizmom ili u skladu sa GBR (*Grant-Before-Report*) mehanizmom. U GAR mehanizmu ONU jedinica generisanjem REPORT poruke obaveštava OLT jedinicu o zauzetosti svog bafera i traži određenu količinu propusnog opsega za prenos podataka, sl. 1. Po prijemu REPORT poruka od svih ONU jedinica u OLT jedinici se aktivira modul za dinamičku alokaciju propusnog opsega koji svakoj ONU jedinici dodeljuje određeni deo ukupnog propusnog opsega u skladu sa njenim zahtevom. Generisanjem GATE poruka OLT jedinica obaveštava ONU jedinice o tome. DBA\_QoS algoritam koristi GAR mehanizam za komunikaciju između OLT i ONU jedinica, dok se za raspoređivanje paketa za prenos koristi centralni raspoređivač koji uzima u obzir prioritete dodeljene paketima, u nastavku rada DBA\_QoS raspoređivač [5].



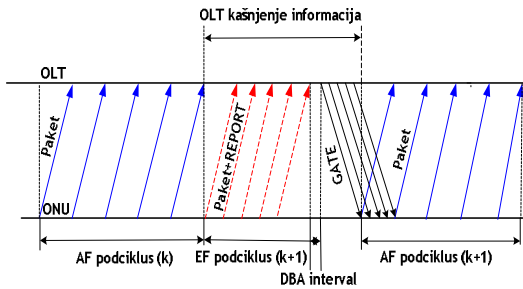
Sl. 1. Razmena GATE i REPORT poruka: GAR mehanizam

GBR mehanizam koristi činjenicu da je količina EF saobraćaja u sistemu predvidljiva (*fully deterministic*) što omogućava OLT jedinici da za EF servise koristi GBR mehanizam [4]. U GBR tehnici GATE poruka prenosi informacije o 'očekivanom' EF saobraćaju tj. o EF saobraćaju koji će stići pre starta sledećeg ciklusa za prenos podataka date ONU jedinice, sl. 2. Ovaj mehanizam može da definiše maksimalno čekanje EF paketa u redu čekanja date ONU jedinice. HG protokol za prenos EF saobraćaja koristi algoritam koji se bazira na korišćenju GBR mehanizma i koji omogućava prenos frejmova različite veličine i garantuje minimalnu količinu propusnog opsega svakoj ONU jedinici za prenos svakog

M.R. Radivojević, Računarski fakultet, Univerzitet Union, Knez Mihailova 6, 11000 Beograd, Srbija (telefon: 381-11-2627-613; e-mail: mradivojevic@raf.edu.yu).

P.S. Matavulj, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: matavulj@etf.bg.ac.yu).

frejma, u nastavku rada DBA\_HG raspoređivač [5]. Za prenos AF i BE saobraćaja koji je potpuno nepredvidljiv (*nondeterministic*) koristi se standardna GAR tehnika. Na ovaj način se prenos EF saobraćaja razdvaja od prenosa saobraćaja nižeg prioriteta čime se znatno smanjuje njegovo kašnjenje u sistemu.



Sl. 2. Razmena GATE i REPORT poruka: GBR mehanizam

### III. ANALIZA KAŠNJENJA

U tabeli 1. su prikazane karakteristike prenosa govora kroz IP mrežu. Smanjenje varijacije kašnjenja EF saobraćaja je od velikog značaja jer je prenos govora koji ima najveći prioritet prilikom prenosa kroz IP mrežu osjetljiv na kašnjenje i varijaciju kašnjenja.

TABELA 1: KARAKTERISTIKE PRENOSA GOVORA

Zahtevi	Karakteristike prenosa govora
Kašnjenje < 150 ms	Ravna karakteristika prenosa
Gubici < 1%	Osetljiv na gubitke
Jitter < 30 ms	Osetljiv na kašnjenje

Prilikom modelovanja i analize varijacije kašnjenja u EPON sistemu treba uzeti u obzir dve komponente varijacije kašnjenja [6]:

- 1) Varijacija kašnjenja između dva susedna paketa koje prima jedna ONU jedinica u jednom prozoru za prenos koju nazivamo A-WJ (*Intra-Window Jitter*) jitter
- 2) Varijacija kašnjenja između dva susedna prozora za prenos u jednoj ONU jedinici koju nazivamo E-WJ (*Inter-Window Jitter*) jitter

A-WJ jitter se u okviru jednog prozora za prenos može predstaviti preko modela u kome se koriste sledeći parametri [6]:

$Latency_{n-1}$	– Kašnjenje (n-1)-og paketa
$Latency_n$	– Kašnjenje n-tog paketa
$Arrival_{n-1}$	– Vreme stizanja (n-1)-og paketa
$Arrival_n$	– Vreme stizanja n-og paketa
$Departure_{n-1}$	– Vreme emitovanja (n-1)-og paketa
$Departure_n$	– Vreme emitovanja n-og paketa

Prilikom prenosa paketa važe sledeće relacije, sl. 3.:

$$\Delta arrival_n = |Arrival_n - Arrival_{n-1}|, \quad (1)$$

$$\Delta departure_n = |Departure_n - Departure_{n-1}|. \quad (2)$$

A-WJ jitter može da se računa kao promena u vremenu stizanja paketa, pri čemu se u obzir uzima samo vreme dolaska paketa ne i kašnjenje paketa:

$$Jitter_n = |\Delta arrival_n - \Delta arrival_{n-1}| \quad (3)$$

ili kao razlika u kašnjenju paketa koji se trenutno prenosi i prethodno prenešenog paketa :

$$Jitter_n = |Latency_n - Latency_{n-1}|. \quad (4)$$

Kašnjenje paketa može da se predstavi kao:

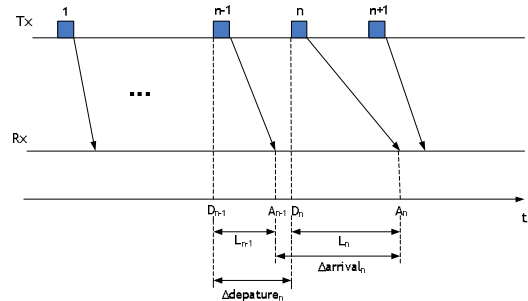
$$Latency_n = Arrival_n - Departure_n. \quad (5)$$

Na osnovu prethodne dve jednačina dobijamo:

$$Jitter_n = |(Arrival_n - Arrival_{n-1}) - (Departure_n - Departure_{n-1})|. \quad (6)$$

Uzevši u obzir jednačine (1) i (2) prethodna jednačina može da se predstavi kao:

$$Jitter_n = |Latency_n - Latency_{n-1}| = |\Delta arrival_n - \Delta departure_n|. \quad (7)$$



Sl.3. Varijacija kašnjenja paketa

Matematički model pokazuje da se A-WJ jitter može izraziti i kao razlika u vremenu emitovanja i stizanja posmatranog n-tog paketa. Ova relacija se dalje koristi u simulaciji za merenje i analizu A-WJ vrednosti.

Sa formulom (8) nije definisana vrednost  $Jitter_1$  pa ovaj parametar treba posebno razmotriti. Naime, sekvenca kašnjenja u jednom prozoru za prenos zavisi od vrednosti kašnjenja prvog paketa koji se prenosi u prozoru tj. od vrednosti  $Latency_1$ . Pri tome veća vrednost parametra  $Latency_1$  vodi ka seriji većih kašnjenja i obrnuto. S obzirom na činjenicu da EF saobraćaj spada u grupu *non-bursty* saobraćaja i da ima konstantnu bitsku brzinu CBR (*Constant Bit Rate*) možemo pretpostaviti da je vremenski interval između prijema dva susedna EF paketa u ONU jedinici u datom prozoru veći od vremena prenosa prvog paketa u prozoru. Samim tim može se smatrati da sekvenca kašnjenja EF paketa u jednom prozoru za prenos opada konstantnom brzinom pri čemu je njena stvarna vrednost određena veličinom  $Latency_1$ .

Varijacija vrednosti  $Latency_1$  između dva susedna prozora za prenos EF saobraćaja predstavlja E-WJ jitter i određuje karakteristike ukupne sekvence kašnjenja EF paketa date ONU jedinice. S obzirom na činjenicu da posmatramo sistem u kome se EF paketi modeluju Poissinovom raspodelom pri čemu je njihova veličina fiksirana na 70 by možemo smatrati da će sa E-WJ vrednostima koje imaju veću fluktuaciju sekvenca

kašnjenja EF paketa više odstupati od srednje vrednosti kašnjenja. U slučaju manje fluktuacije E-WJ vrednosti, kašnjenja EF paketa su ravnomerno raspoređena oko srednje vrednosti. Samim tim ukupna sekvenca kašnjenja EF paketa je centralizovana, a performanse prenosa bolje.

#### IV. SIMULACIJA

Prethodno dobijeni teorijski rezultati potvrđeni su simulacijom koja je realizovana korišćenjem programa MATLAB i programskog paketa Simulink. Korišćenje programskog paketa Simulink je omogućilo simulaciju EPON sistema u kojoj se, za razliku od simulacija sprovedenih korišćenjem drugih programskih jezika, dobijaju rezultati koji bliže opisuju rad sistema jer je moguće jednostavno uzeti u obzir sva kašnjenja (kašnjenje paketa u redu čekanja, kašnjenje pri prenosu i kašnjenje koje nastaje usled procesiranja paketa) koja postoje u stvarnom okruženju. Parametri simulacije su dati u tabeli 2.

TABELA 2: PARAMETRI SIMULACIJE

Broj ONU jedinica	32
Kapacitet linka	1 Gbps
OLT-ONU rastojanje	20km
MTCT	2ms
Guard interval	1 $\mu$ s

Kada se u sistemu koristi DBA\_HG raspoređivač kašnjenje EF paketa se značajno smanjuje, pri čemu je u oblasti velikih opterećenja kašnjenje i do dva puta manje od kašnjenja koje se dobija kada se u sistemu implementira DBA\_QoS raspoređivač, sl. 4.

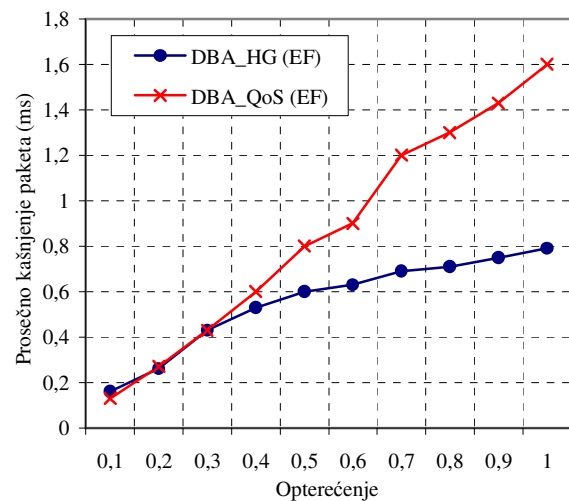
Vrednosti A-WJ jittera se modeluju korišćenjem funkcije gustine verovatnoće na uzorku koji je dobijen testiranjem sistema kroz simulaciju. Na sl. 5. je prikazana funkcija gustine verovatnoće PDF (*Probability Density Function*) kašnjenja EF paketa u slučaju da je opterećenje ONU jedinice 100%. Kada se u sistemu koristi DBA\_HG raspoređivač sekvenca kašnjenja EF paketa ne prelazi vrednost od 1.7 ms. U slučaju da se koristi DBA\_QoS raspoređivač sekvenca kašnjenja se završava za oko 3 ms. Ova pojava se može objasniti poređenjem varijansi ( $\sigma^2$ ) izabranih sekvenci. Naime, u slučaju da se koristi DBA\_HG raspoređivač vrednost varijanse je  $\sigma^2 = 0.1 \text{ ms}^2$  pri punom opterećenju, odnosno  $\sigma^2 = 0.3 \text{ ms}^2$  pri punom opterećenju u slučaju da se koristi DBA\_QoS raspoređivač.

Kao što je prethodno objašnjeno s obzirom da se sekvenca kašnjenja EF paketa može posmatrati kao opadajući proces veća varijansa u slučaju korišćenja DBA\_QoS raspoređivača uslovljava veće fluktuacije E-WJ vrednosti a samim tim uvodi kontinualnu raspodelu u sekvencu kašnjenja. Ovo se matematički može izraziti korišćenjem funkcije autokorelacije ACF (*Auto Correlation Function*) vektora greške koji se definiše kao:

$$V = D - \text{mean}(D) \quad (8)$$

Korišćenjem vektora greške može se vizuelno analizirati kašnjenje u sistemu pri čemu je sa D predstavljena originalna sekvenca kašnjenja EF paketa.

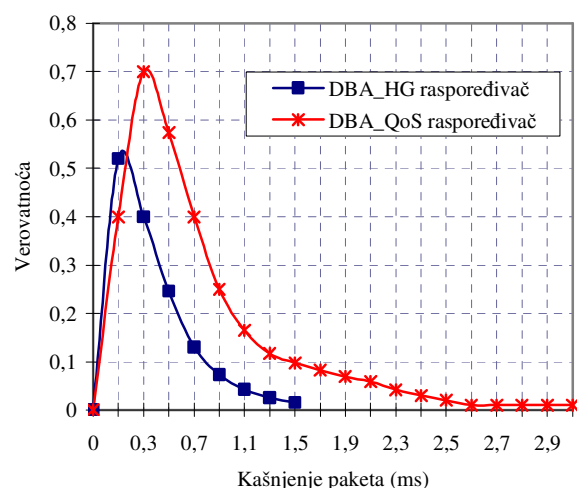
S obzirom da se vrednost varijanse  $\sigma^2$  razlikuje u slučaju kada se koristi DBA\_HG odnosno DBA\_QoS raspoređivač potrebno je izvršiti normalizaciju vektora greške kako bi se postigla kompatibilnost i omogućilo poređenje parametara. Vektor greške DBA\_QoS mehanizma za raspoređivanje paketa za prenos može se predstaviti kao:



Sl.4. Prosečno kašnjenje EF paketa

$$V_{\text{reg\_nom}} = V_{\text{reg}} \times \sqrt{\frac{\sigma_{\text{HG}}^2}{\sigma_{\text{reg}}^2}} \quad (9)$$

pri čemu su  $V_{\text{reg}}$  i  $V_{\text{reg\_nom}}$  vektori greške DBA\_QoS pre i posle normalizacije, a  $\sigma_{\text{reg}}^2$  i  $\sigma_{\text{HG}}^2$  su standadne devijacije DBA\_QoS i DBA\_HG raspoređivača paketa.

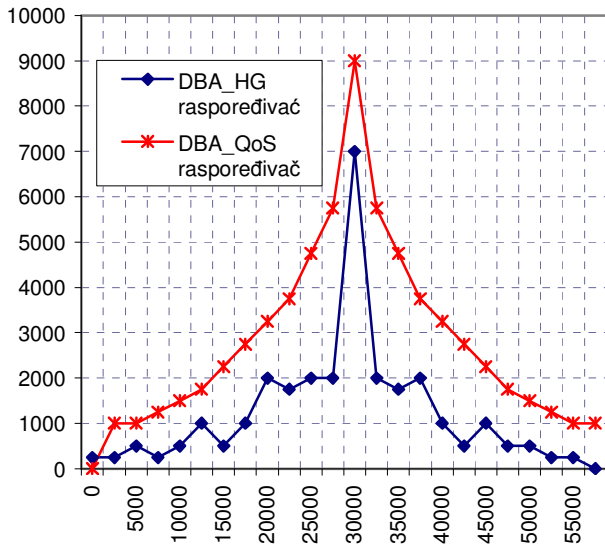


Sl.5. PDF funkcija kašnjenja paketa

Na sl. 6. je prikazana ACF funkcija vektora greške za oba mehanizma. Veće pozitivne vrednosti ACF funkcije za DBA\_QoS mehanizam eksplicitno potvrđuju gore pomenuti kontinuitet u odgovarajućoj EF sekvenci

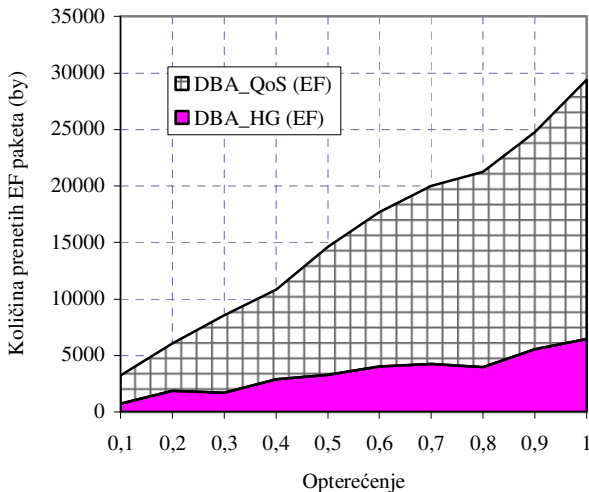
kašnjenja paketa. Sekvenca kašnjenja EF paketa za DBA\_HG raspoređivač više oscilira tj. ima više šansi da prođe kroz srednju vrednost pri čemu veće oscilacije ne povećavaju vrednost A-WJ parametra.

Poboljšane vrednosti E-WJ za EF servise korišćenjem HG protokola mogu se objasniti činjenicom da je razdvojen prenos EF saobraćaja od prenosa AF/BE saobraćaja.



Sl.6. ACF funkcija kašnjenja paketa

Naime, u DBA\_QoS raspoređivaču početak prenosa EF paketa u svakoj ONU jedinici može znatno da fluktuiira u okviru DBA ciklusa zbog slučajnog ponašanja interferiranih AF i BE nizova podataka u drugim ONU jedinicama.



Sl.7. Opterećenje reda čekanja u ONU jedinici

Sa druge strane u DBA\_HG raspoređivaču na početak prenosa utiče samo ukupna dužina ciklusa za prenos date

ONU jedinice, ne i individualne varijacije drugih ONU jedinica.

Generalno, razdvajanje prenosa EF saobraćaja od prenosa saobraćaja nižeg prioriteta smanjuje efekte fluktuacije startnog vremena prenosa što dovodi do smanjenja E-WJ parametra za EF klasu servisa.

Primarni benefit prethodnog poboljšanja vrednosti E-WJ parametra koje se dobija korišćenjem DBA\_HG raspoređivača je zauzetost bafera u ONU jedinici odnosno procenat izgubljenih paketa. Veća vrednost parametra E-WJ uslovljava veći broj EF paketa baferovanih u redu čekanja što zahteva više prostora u baferu, sl. 7. S obzirom da je u svakoj ONU jedinici veličina bafera ograničena, ozbiljna fluktuacija veličine reda čekanja koji opslužuje EF saobraćaj će rezultovati povećanim brojem izgubljenih paketa saobraćaja nižeg prioriteta

## V. ZAKLJUČAK

Smanjenje kašnjenja i varijacije kašnjenja je od ključnog značaja za prenos multimedijalnog sadržaja i pre svega govora kroz EPON mrežu. Teorijski rezultati, kao i rezultati dobijeni simulacijom pokazuju da se implementacijom HG protokola koji uvodi predikciju saobraćaja najvećeg prioriteta, kašnjenje u sistemu značajno smanjuje bez ugrožavanja prenosa saobraćaja nižeg prioriteta.

## LITERATURA

- [1] C. Assi et al., "Dynamic Bandwidth Allocation for Quality-of-Service Over Ethernet PONs," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, vol. 21, no. 9, pp. 1467-1477, Nov. 2003.
- [2] G. Kramer, *Ethernet Passive Optical Networks*. New York: McGraw Hill, 2005.
- [3] IEEE 802.3ah Task Force <http://www.ieee802.org/3/efm>
- [4] M. Radivojević, P. Matavulj, "Dinamička alokacija propusnog opsega u EPON mreži korišćenjem HG protokola," Zbornik radova TELFOR 2007, str. 425-428, Beograd, 2007
- [5] M. Radivojević, P. Matavulj, "Podrška za kvalitet servisa u EPON mreži," Zbornik radova ETRAN 2008.
- [6] M. Radivojević, "Analiza i modelovanje protokola u EPON mreži," Magistarska teza, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2007.

## ABSTRACT

Quality-of-service (QoS) support in EPONs is a crucial concern for the efficient transmission of the multimedia traffic in EPONs. This work analyzes delay and delay variation (jitter) and proposes solution for their minimization. Beside theoretical analysis, detailed simulation results are presented to validate the effectiveness of the proposed solution.

## MODELING OF DELAY IN EPON

Mirjana Radivojević, Petar Matavulj