

# Dinamička alokacija propusnog opsega u EPON mreži korišćenjem HG protokola

Mirjana R. Radivojević, Petar S. Matavulj

**Sadržaj** — Kvalitet servisa u Ethernet pasivnoj optičkoj mreži (EPON) postaje jedan od najvažnijih faktora koji treba rešiti da bi se odgovorilo zahtevima korisnika i potrebama novih aplikacija i servisa. Ovaj rad predstavlja HG (*Hybrid Grant*) protokol koji korišćenjem dinamičkog algoritma za raspodelu propusnog opsega omogućava podršku za različite nivoe kvaliteta servisa u EPON-u. HG protokol minimizira kašnjenje paketa i varijaciju kašnjenja (*jitter*) bez degradiranja QoS (*Quality of Service*) performansi ostalih tipova saobraćaja. Pored protokola i dinamičkog algoritma u radu su predstavljeni rezultati simulacije i testiranja kojim se potvrđuje efikasnost HG protokola.

**Ključne reči** — DBA algoritmi, EPON, HG protokol, kašnjenje paketa, kvalitet servisa.

## I. UVOD

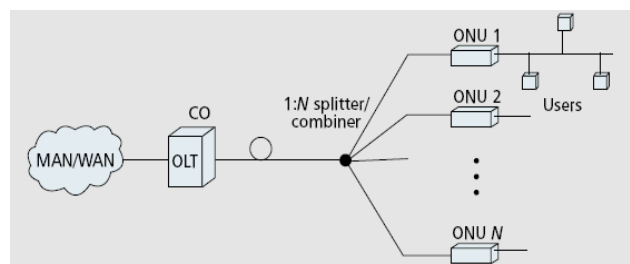
SA ogromnim porastom broja Internet korisnika poslednjih godina povećala se i potreba za veći propusnim opsezima i većim brzinama. Pored toga povećao se i broj aplikacija koje su zahtevne po pitanju propusnog opsega, kao što su video konferencija, video na zahtev (VoD), televizija visoke rezolucije (HDTV), interaktivne video igre i sl. Problem 'poslednje milje' tj. pristupne mreže i dalje predstavlja tačku zagušenja, pa se u takvim uslovima EPON tehnologija nameće kao rešenje koje može da obezbedi dovoljno veliki propusni opseg, pruži veću skalabilnost i smanji cenu Internet pristupa po korisniku.

HG (*Hybrid Grant*) protokol za dinamičku raspodelu propusnog opsega podržava garantovani kvalitet servisa za različite aplikacije u pristupnoj mreži. Protokol minimalizuje kašnjenja paketa i varijaciju kašnjenja (*jitter*) za aplikacije koje su osetljive na kašnjenje, kao što je uskopojasni prenos glasa [1]. Algoritam za raspodelu propusnog opsega značajno poboljšava performanse sistema nedegradirajući pri tome kvalitet servisa drugih tipova saobraćaja.

## II. EPON ARHITEKTURA

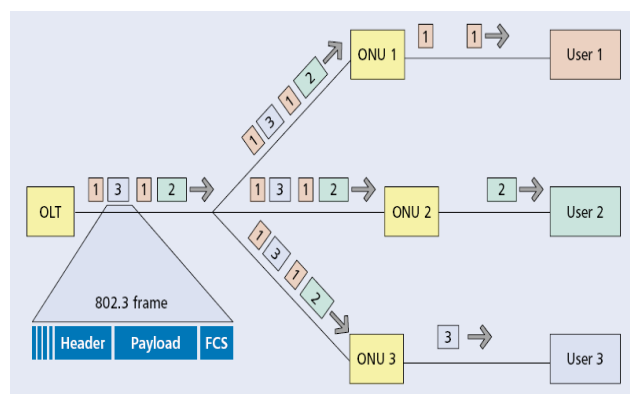
EPON se sastoji od OLT (*Optical Line Terminal*) jedinice koja se nalazi kod provajdera servisa i povezana

je sa više različitih terminalnih jedinica na drugom kraju optičke mreže, ONU (*Optical Network Unit*) jedinica. Povezivanje OLT-ONU se vrši preko pasivnog optičkog razdvajачa/sabirača signala koji je optičkim vlaknom povezan sa OLT jedinicom i postavlja se što je moguće bliže ONU jedinicama. Svi podaci se prilikom prenosa enkapsuliraju u Ethernet pakete korišćenjem IEEE 802.3 standarda, sl. 1.



Sl. 1. EPON arhitektura

Karakteristike EPON mreže su takve da se ona ne može smatrati ni *point-to-point* mrežom ni deljenim medijumom, već kombinacijom oba [2]. Naime, u smeru ka korisniku OLT jedinica generiše Ethernet frejmove koji prolaze kroz razdvajач optičkih signala (1:N) i dolaze do ONU jedinica, sl. 2. U smeru ka korisniku OLT korišćenjem emisionih mehanizma šalje paketa ka udaljenim jedinicama koje one primaju na osnovu MAC adrese, što se poklapa sa funkcionisanjem Eterneta.



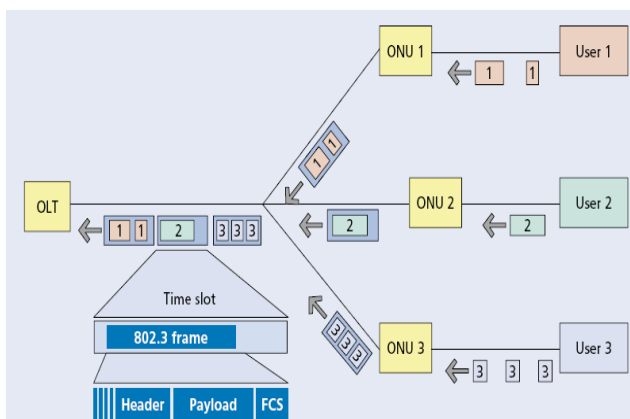
Sl. 2. Prenos ka korisniku u EPON mreži

U smeru od korisnika razdvajач/sabirač signala pakete koje šalje jedna ONU jedinica prosleđuje samo ka OLT jedinici, ne i ka drugim udaljenim jedinicama, pa se u smeru od korisnika EPON može smatrati *point-to-point* arhitekturom. Međutim, frejmovi koje istovremeno generišu ONU jedinice i dalje su podložni koliziji jer dele

M.R. Radivojević, SBB, Kralja Petra 45, 11000 Beograd, Srbija (telefon: 381-11-3332-777; e-mail: mirjana.radivojevic@sbb.co.yu).

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

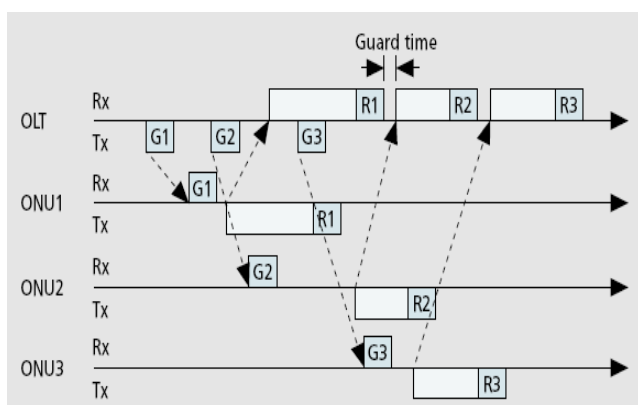
glavni link (*feeder*) koji povezuje optički razdvajač i samu OLT jedinicu, sl. 3.



Sl. 3. Prenos u smeru od korisnika u EPON mreži.

U okviru IEEE 802.3ah Ethernet standarda razvijen je kontronni protokol MPCP (*Multipoint Control Protocol*). MPCP protokol definiše mehanizam za razmenu GATE i REPORT kontrolnih poruka i na taj način omogućava razmenu informacija u realnom vremenu između OLT jedinice i svih ONU jedinica bez kolizije [3].

OLT jedinica generiše GATE poruke koje u određenim intervalima (ciklusi prenosa) šalje ka udaljenim jedinicama, sl. 4. Kao odgovor, na kraju svakog prozora koji joj je dodeljen za slanje podataka svaka ONU jedinica šalje REPORT poruku sa kojom obaveštava OLT jedinicu o zauzetosti bafera. Nakon što primi REPORT poruke od svih ONU jedinica, OLT jedinica treba da izvrši dinamičku raspodelu propusnog opsega za ONU jedinice. Algoritmi za raspodelu propusnog opsega se nazivaju DBA (*Dynamic Bandwidth Algoritam*) i nisu definisani u okviru MPCP protokola. MPCP protokol obezbeđuje osnovni mehanizam za razmenu informacija, a izbor i razvoj takvih algoritma se prepušta proizvođačima opreme.



Sl. 4. Razmena GATE i REPORT poruka

### III. DBA ALGORITMI

Tokom poslednjih godina predloženi su različiti DBA algoritmi pri čemu su sada najaktuelniji oni koji u razmatranje uzimaju kvalitet servisa i različite tipove saobraćaja u mreži.

U okviru HG protokola definišu se tri osnovne klase saobraćaja: EF (*Expedite Forwarding*) – najveći prioritet za servise koji su osetljivi na kašnjenje (prenos glasa) i koje tipično karakteriše konstantna bitska brzina CBR (*Constant Bit Rate*); AF (*Assured Forwarding*) – srednji nivo prioriteta za saobraćaj koji nije osetljiv na kašnjenje (video aplikacije) i koji ima promenljivu bitsku brzinu VBR (*Variable Bit Rate*) i BE (*Best Effort*) – najniži prioritet za servise koji nisu osetljivi na kašnjenje, kao što su web browsing, transfer fajlova i e-mail aplikacije.

Kao standardni DBA algoritam posmatramo DBA algoritam za QoS (DBA\_QoS) u EPON mreži koji takođe uzima u obzir kvalitet servisa i slično HG protokolu saobraćaj klasifikuje u tri grupe EF, AF i BE. U ovom algoritmu sve ONU jedinice se dele u dve grupe u odnosu na minimalno definisanu veličinu prozora za prenos koji im je dodeljen - preopterećene i neopterećene ONU [4]. Na taj način se propusni opseg koji ne iskoriste neopterećene ONU dodeljuje opterećenim jedinicama čime se poboljšava iskorišćenje propusnog opsega. Međutim, pretpostavka ovog algoritma je da će višak propusnog opsega uvek biti totalno iskorišćen od strane preopterećenih jedinica što u praksi ne mora da bude slučaj. Kašnjenje saobraćaja najvećeg prioriteta su u tom slučaju prevelika, a može se desiti da on povremeno ugrozi prenos saobraćaja nižeg prioriteta.

### IV. HG PROTOKOL

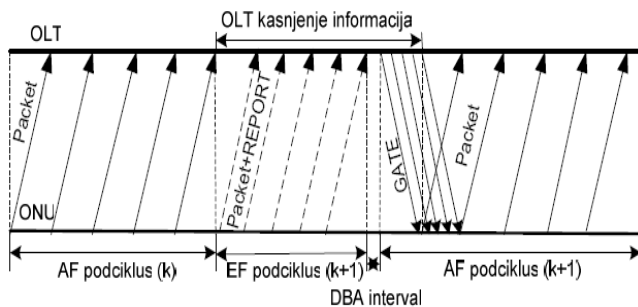
U klasičnim EPON algoritmima, MPCP protokol se uvek implementira u skladu sa GAR (*Grant After Report*) tehnikom. U GAR tehnici GATE poruku koja prenosi informaciju o odobrenoj veličini prozora za slanje podataka OLT jedinica uvek generiše posle primanja REPORT poruke. U REPORT poruci koju je generisala jedna od ONU jedinica se nalazi zahtev za određenom veličinom propusnog opsega na osnovu koje OLT formira GATE poruku. Ovakav mehanizam može da definiše minimalno čekanje paketa u redu čekanja u svakoj ONU jedinici što nije optimalno rešenje za prenos saobraćaja koji je osetljiv na kašnjenje.

HG protokol koristi činjenicu da je količina EF saobraćaja koju generiše krajnji korisnik predvidljiva (*fully deterministic*), što omogućava OLT jedinici da za EF servise koristi GBR (*Grant Before Report*) mehanizam [1]. 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. Ovakav mehanizam može da definiše maksimalno čekanje EF paketa u redu čekanja date ONU jedinice. Za razliku od servisa EF tipa, saobraćaj AF i BE tipa je potpuno nepredvidljiv (*nondeterministic*), pa se za njega koristi standardna GAR tehnika.

Svi DBA algoritmi definišu cikluse za slanje podataka. Jedan ciklus je vremenski interval koji protekne između primanja poslednje GATE poruke i generisanja sledeće REPORT poruke u ONU jedinici. Da bi se razdvojio prenos podataka između različitih ONU jedinica uvodi se vremenski interval koji se naziva *guard* interval i koji treba uzeti u obzir prilikom proračuna kašnjenja, sl. 4.

HG protokol definiše dva ciklusa za prenos podataka, jedan za EF saobraćaj na koji se primenjuje GBR tehnika i jedan ciklus za AF i BE servise na koji se primenjuje GAR tehnika za alokaciju propusnog opsega, sl. 5. Alokacija propusnog opsega za EF saobraćaj se više ne vrši na osnovu poslednje primljene REPORT poruke, već OLT jedinica mora unapred da odredi količinu EF podataka u svakoj ONU jedinici pre nego što alokira propusni opseg za druge servise u sistemu. Da bi to bilo moguće OLT mora da za svaku ONU jedinicu precizno predvidi trenutak u kome će ona započeti sa slanjem podataka u sledećem ciklusu, jer se jedino na taj način može unapred odrediti vreme stizanja EF saobraćaja. S obzirom da je EF servis uskopojasni i da ima najveći prioritet, propusni opseg za prenos EF saobraćaja se uvek alokira pre AF/BE podciklusa. Neiskorišćen propusni opseg se koristi za prenos AF i BE saobraćaja, pri čemu se uzima u obzir maksimalna veličina propusnog opsega koja je u optičkim sistemima definisana sa MTCT (*Maximum Transmission Cycle Time*) parametrom.

MTCT parametar definiše maksimalno trajanje prenosa podataka u jednoj ONU jedinici i taj vremenski interval se naziva DBA ciklus. Na osnovu MTCT parametra definiše se minimalan garantovani propusni opseg za svaku ONU jedinicu u jednom DBA ciklusu koji predstavlja zbir EF podciklusa i AF/BE podciklusa.



Sl. 5. EF i AF podciklusi

Na ovaj način OLT dobija informacije o zauzetosti bafera koje su ažurirane do trenutka koji je otprilike jedan ciklus (jedan EF i jedan AF/BE podciklus) ispred trenutka u kome će početi sledeći AF/BE podciklus. Ovo omogućava OLT jedinici da alokira više propusnog opsega sledećem AF/BE podciklusu u slučaju da nije prekoračeno ograničenje definisano MTCT parametrom.

## V. MATEMATIČKI MODEL

U HG protokolu GATE poruka nosi informaciju AF podciklusu tekućeg DBA ciklusa i EF podciklusu narednog DBA ciklusa. Da bi se propusni opseg pravilno rasporedio, uvodi se minimalno garantovana veličina propusnog opsega za svaku ONU jedinicu. Prenos EF saobraćaja je definisan GBR tehnikom, dok se za prenos AF/BE saobraćaja koristi GAR tehnika. U početnom ciklusu nema predikcije i EF saobraćaju se dodeljuje propusni opseg u skladu sa minimalno garantovanim propusnim opsegom. Jedan deo propusnog opsega uvek zauzima EF saobraćaj tekućeg DBA ciklusa, a ostatak

garantovanog minimalnog propusnog opsega koji nije iskorišćen u datoj ONU jedinici raspoređuje na ostale ONU jedinice u skladu sa DBA\_QoS protokolom.

Parametri modela za predikciju EF saobraćaja:

$C$  - Kapacitet OLT linka (b/s)

$n$  - Ukupan broj ONU jedinica

$R_i$  - Brzina prenosa  $F$  paketa u  $ONU_i$

$g$  - *Guard* interval

$L_{rep}$  - Dužina REPORT poruke (bit)

$t_{i,k}^{start}$  - Početni trenutak  $k$ -tog DBA ciklusa u  $i$ -toj ONU

$Bef_{i,k}$  - Odobrena veličina prozora za prenos EF paketa u  $k$ -tom DBA ciklusu za  $i$ -tu ONU jedinicu

Veličina prozora za prenos EF paketa u  $(k+1)$ -ciklusu se računa na osnovu prethodnog ciklusa:

$$Bef_{i,k+1} = R_i \times (t_{i,k+1}^{start} - t_{i,k}^{start}) + L_{rep} \quad (1)$$

U EPON sistemu nije dozvoljena fragmentacija Ethernet paketa, pa OLT jedinica odobrava samo veličinu prozora u koju staje ceo broj paketa dok se ostatak paketa pamti i prenosi u sledećem ciklusu. Na taj način veličina prozora za prenos EF paketa se definiše kao:

$$Bef_{i,k+1} = \text{floor}\{[(t_{i,k+1}^{start} - t_{i,k}^{start}) \times R_i + f_{i,k}] / L_{EF}\} \times (IPG + P + L_{EF}) + (IPG + P + L_{EF}) \quad (2)$$

$$f_{i,k} = \text{mod}[(t_{i,k}^{start} - t_{i,k-1}^{start}) \times R_i + f_{i,k-1}, L_{EF}] \quad (3)$$

(floor - ceo deo; mod - ostatak pri deljenju)

pri čemu je  $L_{EF}$  dužina EF paketa (bit), a  $f_{i,k}$  ostatak EF saobraćaja iz prethodnog ciklusa. U obzir se uzimaju i parametri koji su potrebni za formiranje Ethernet frejma:  $IPG$  (*InterPacketGap*)=96bita i  $P$  (*Preamble*)=64bita.

## VI. SIMULACIJA

Simulacija rada HG protokola u EPON sistemu realizovana je korišćenjem programa MATLAB i programskog paketa Simulink.

TABELA 1: PARAMETRI SIMULACIJE

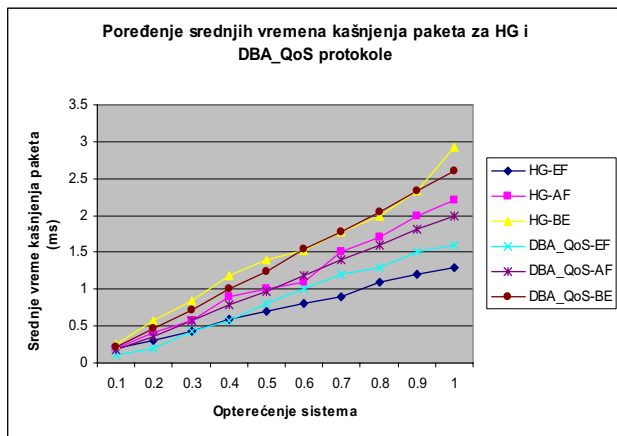
Broj ONU jedinica	32
Kapacitet linka	1 Gbps
OLT-ONU rastojanje	20km
MTCT	2ms
<i>Guard</i> interval	1 $\mu$ s
OLT DBA interval	zanemarljiv

Ulazni parametri simulacije su prikazani u tabeli 1. S obzirom da je EF saobraćaj uskopojasnog tipa pretpostavljeno je da on može zauzimati najviše 20% propusnog opsega, dok se ostali deo propusnog opsega koristi za prenos AF i BE saobraćaja, po 40% svaki [5].

Na sl. 6. je prikazano poređenje srednjeg vremena kašnjenja koje se dobija korišćenjem HG protokola i kašnjenja koje se dobija korišćenjem DBA\_QoS protokola. Sa slike se vidi da se korišćenjem HG protokola u sistemima sa srednjim i velikim opterećenjem značajno smanjuje kašnjenje EF saobraćaja.

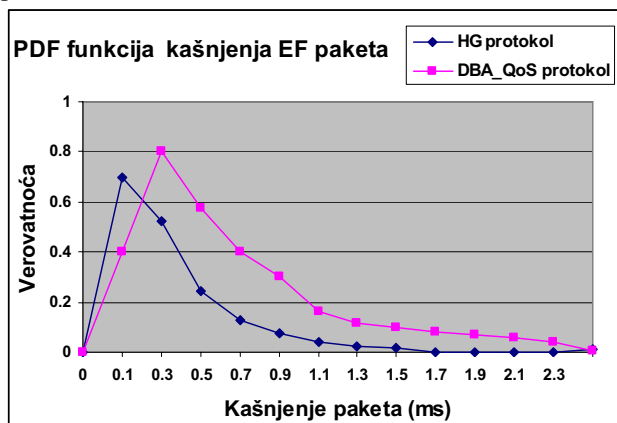
U sistemima sa malim opterećenjem kašnjenje EF paketa je veće ako se koristi HG protokol. Naime, pri manjem opterećenju trajanje DBA ciklusa je veoma kratko tako da neke od ONU jedinica neće imati baferovane EF

pakete koje treba preneti u sledećem ciklusu. Takva ONU jedinica će u sledećem EF podciklusu preneti samo REPORT poruku, ali za njen prenos i dalje su potrebni *guard* intervali, što nije potrebno u DBA\_QoS algoritmu, pa on daje bolje rezultate pri manjem opterećenju.

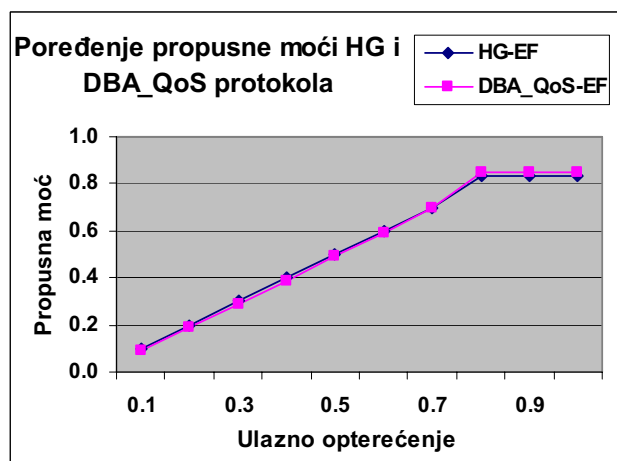


Sl. 6. Prosečno kašnjenje paketa

Korišćenjem HG protokola se poboljšava varijacija kašnjenja u odnosu na standardni algoritam što je od velikog značaja za prenos glasa. Funkcija gustine verovatnoće PDF (*Probability Density Function*) kašnjenja EF paketa pokazuje da je kašnjenje koncentrisano oko srednje vrednosti od 0.10ms kod HG protokola, a oko



Sl. 7. PDF funkcija kašnjenja EF paketa



Sl. 8. Poređenje protoka HG i DBA\_QoS protokola

srednje vrednosti od 0.3ms kada se koristi DBA\_QoS protokol, sl. 7. Pored toga u HG protokolu rezultati su više koncentrisani oko srednje vrednosti jer je  $\sigma^2=0.075ms^2$ , dok je za DBA\_QoS protokol  $\sigma^2=0.32ms^2$ , pa je samim tim i varijacija kašnjenja manja za HG protokol.

Trajanje DBA ciklusa u HG protokolu nešto je veće nego trajanje ciklusa u DBA\_QoS protokolu, pa on brže dostiže maksimalnu vrednost definisanu sa MTCT parametrom kada je sistem pod velikim opterećenjem.

Rezultati simulacija pokazuju da za opterećenja koja su manja od 0.8 i HG i DBA\_QoS algoritmi nude istu propusnu moć, dok za veća opterećenja HG ima propusnu moć manju za 1.5-2%, sl. 8. Međutim, u odnosu na poboljšane vrednosti kašnjenja paketa ova mala degradacija propusne moći se može tolerisati.

## VII. ZAKLJUČAK

HG protokol razdvaja prenos saobraćaja najvišeg prioriteta za koji se koristi GBR tehnika od saobraćaja srednjeg i niskog prioriteta za koji se koristi standardna GAR tehnika. Rezultati simulacije pokazuju da se implementacijom HG protokola značajno smanjuje kašnjenje saobraćaja najvišeg prioriteta, kao i varijacija kašnjenja, pri čemu algoritam ne dozvoljava da prenos tog saobraćaja u bilo kom trenutku ugrozi prenos saobraćaja nižih prioriteta.

## LITERATURA

- [1] A. Shami et al., "Jitter Performance in Ethernet Passive Optical Networks," *J. Lightwave Tech.*, vol. 23, no. 4, pp. 1745-1753, Apr. 2005.
- [2] G. Kramer and G. Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network (EPON): Building a Next-Generation Optical Access Network," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 40, no. 2, pp. 66-73, Feb. 2002.
- [3] G. Kramer, *Ethernet Passive Optical Networks*. New York: McGraw-Hill, 2005.
- [4] 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.
- [5] W. Willinger et al., "Self-Similarity Through High-Variability: Statistical Analysis of Ethernet LAN Traffic at the Source Level," *IEEE/ACM Tran. Network.*, vol. 5, no. 1, pp. 71-86, Feb. 1997.

## ABSTRACT

Quality of service in EPON becomes one of the most important factor that need to be resolved in order to reply on customer requirements and requests for new applications and services. This work presents HG (Hybrid Grant) protocol for dynamic bandwidth allocation and support for different QoS in EPON. HG protocol minimizes packet delay and jitter for delay and delay-variation without degrading QoS guarantees for other service types. Besides protocol and dynamic algorithm, detailed simulation results are presented to validate the effectiveness of the HG protocol.

## DYNAMIC BANDWIDTH ALLOCATION IN EPON WITH HG PROTOCOL

Mirjana Radivojević, Petar Matavulj