

Dinamička alokacija talasnih dužina i propusnog opsega u WDM EPON mreži

Mirjana R. Radivojević, Petar S. Matavulj

Sadržaj — EPON (*Ethernet Passive Optical Network*) mreža, iako široko rasprostranjena, predstavlja jednokanalni sistem koji ne može da obezbedi dovoljnu količinu propusnog opsega u pristupnoj mreži. Uvođenje multipleksiranja po talasnim dužinama, odnosno WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) tehnologije u EPON mrežu predstavlja sledeći korak u razvoju pristupnih optičkih mreža. Pored arhitekture sistema i alokacije resursa, neophodno je implementirati i kvalitet servisa kako bi se krajnjim korisnicima pružio odgovarajući nivo usluge. U ovom radu ćemo predstaviti model za dinamičku alokaciju talasnih dužina i propusnog opsega u WDM EPON mreži koji u potpunosti podržava implementaciju kvaliteta servisa. Pored teorijske analize u radu su predstavljeni rezultati simulacije kojima se potvrđuje efikasnost predloženog rešenja.

Gljučne reči — DWPBA algoritam, kvalitet servisa, WDM EPON.

I. UVOD

Iako se poslednjih godina EPON (*Ethernet Passive Optical Network*) mreža nametnula kao jedan od najboljih kandidata za realizaciju širokopojasne pristupne mreže, situacija na tržištu telekomunikacija pokazuje da EPON sistemi ipak ne mogu da obezbede dovoljan propusni opseg [1]. Naime, veliko povećanje broja krajnjih korisnika kao i ubrzani razvoj multimedijalnih aplikacija uslovio je rapidno povećanje propusnog opsega koji treba obezbediti u pristupnoj mreži, a koje jednokanalni EPON sistemi ne mogu da obezbede. U skladu sa tim, kao sledeći korak u razvoju EPON sistema danas se razmatra uvođenje WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) tehnologije odnosno uvođenje multipleksiranja po talasnim dužinama u EPON mrežu. Sa implementacijom većeg broja talasnih dužina kapaciteti EPON mreža bi se višestruko povećali što bi servis provajderima omogućilo pružanje odgovarajućeg nivoa usluge krajnjim korisnicima.

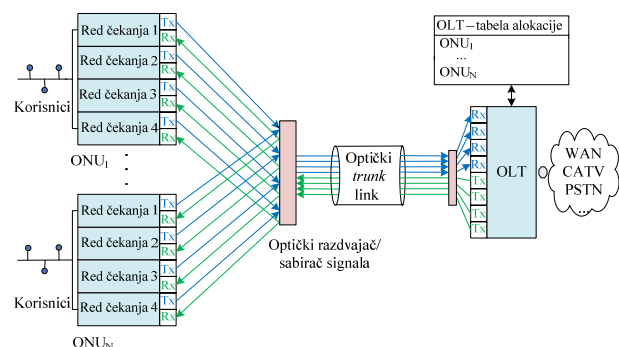
U ovom radu predstavimo i analizirati model za dinamičku alokaciju talasnih dužina i propusnog opsega u WDM EPON mreži - DWPBA (*Dynamic Wavelength Bandwidth Priority Allocation*) model. U predloženom modelu je implementiran potpuno novi pristup u kome se radi podrške za implementaciju kvaliteta servisa QoS (*Quality of Service*), raspodela talasnih dužina vezuje za

klasu saobraćaja a ne za pojedinačnu ONU jedinicu kao što je u literaturi do sada bio slučaj [2]. Pored teorijske analize predloženog rešenja predstavljen je i matematički model za alokaciju propusnog opsega. U radu su takođe predstavljeni i objašnjeni rezultati simulacija u slučaju implementacije različitih profila saobraćaja kako bi se potvrdila efikasnost predloženog modela.

II. DWPBA MODEL

A. Arhitektura sistema

Arhitektura WDM EPON sistema je u suštini klasična EPON arhitektura u kojoj su krajnji korisnici preko optičkih mrežnih jedinica ONU (*Optical Network Unit*) povezani na centralni optički terminal OLT (*Optical Line Terminal*), Sl. 1. U predloženom modelu za prenos se koriste četiri talasne dužine : $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ i λ_3 . U skladu sa tim u OLT i ONU jedinicama potrebno je koristiti primopredajnike fiksne talasne dužina (*fixed-tuned*) kako bi se realizovao istovremeni prenos saobraćaja po različitim talasnim dužinama i na taj način maksimalno iskoristili resursi višekanalnog sistema, Sl. 1. Talasna dužina (λ_0) se rezerviše za prenos kontrolnih poruka i sinhronizaciju i može biti ili originalna talasna dužina korišćena u EPON mreži ili neka druga talasna dužina [1]. Ostale tri talasne dužine koriste se za prenos podataka tako što se za prenos svake klase saobraćaja koristi jedna definisana talasna dužina. Na ovaj način se implementacija kvaliteta servisa direktno vezuje za alokaciju talasnih dužina čime se izbegava uvođenje dodatnih kompleksnih mehanizama za QoS podršku što optimizuje rad sistema.



Sl. 1. WDM EPON arhitektura

B. Kvalitet servisa

Klase saobraćaja se definišu u skladu sa modelom diferenciranih servisa na sledeći način [3]:

EF (*Expedite Forwarding*) klasa – najveći prioritet za servise koji su osetljivi na kašnjenje (prenos glasa) i koje

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

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

tipično karakteriše konstantna bitska brzina CBR (*Constant Bit Rate*);

AF (*Assured Forwarding*) klasa – srednji nivo prioriteta za saobraćaj koji nije osetljiv na kašnjenje (video aplikacije) i koji ima promenljivu bitsku brzinu VBR (*Variable Bit Rate*);

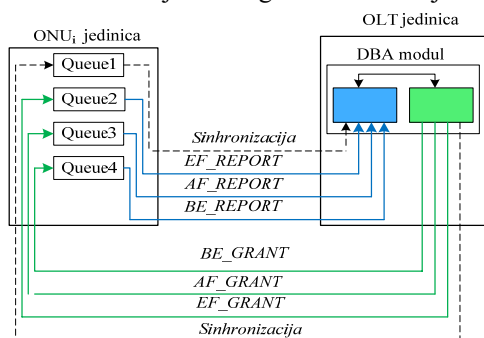
BE (*Best Effort*) klasa – najniži prioritet za servise koji nisu osetljivi na kašnjenje, kao što su *web browsing*, transfer fajlova i *e-mail* aplikacije.

Prenos pojedinih klasa saobraćaja sada se definiše na sledeći način: talasna dužina λ_1 je rezervisana isključivo za prenos EF klase saobraćaja, talasna dužina λ_2 za prenos samo AF klase saobraćaja i talasna dužina λ_3 za prenos isključivo BE klase saobraćaja [1].

C. Prenos

U WDM EPON sistemima pored alokacije propusnog opsega (*grant sizing*), jednoj ONU jedinici, potrebno je definisati i mehanizam za alokaciju talasne dužine (*grant scheduling*) po kojoj će da se prenosi odobrena količina podataka [1]. U predloženom modelu komunikacija između OLT i ONU jedinica se kontroliše kroz implementaciju proširenog MPCP protokola u okviru koga se kontrolne poruke proširuju sa poljem od jednog bajta u kome se prenosi identifikator talasne dužine po kojoj će se prenositi alocirani propusni opeg.

U *downstream* smeru OLT jedinica korišćenjem emisionog mehanizma šalje podatke ka ONU jedinicama istovremeno na više različitih talasnih dužina. U *upstream* smeru kao i u klasičnoj EPON mreži, sve ONU jedinice generisanjem REPORT MPCP poruke obaveštavaju OLT jedinicu o potrebnoj količini propusnog opsega. Kada primi REPORT poruke od svih ONU jedinica, modul za alokaciju propusnog opsega vrši alokaciju resursa ONU jedinicama (*offline* mehanizam) i o tome ih obaveštava korišćenjem GRANT MPCP poruke, Sl. 2. S obzirom da je unapred definišano po kojoj talasnoj dužini se prenosi koja klasa saobraćaja nije potrebno posebno definisati alokaciju talasnih dužina čime je sam algoritam efikasniji.

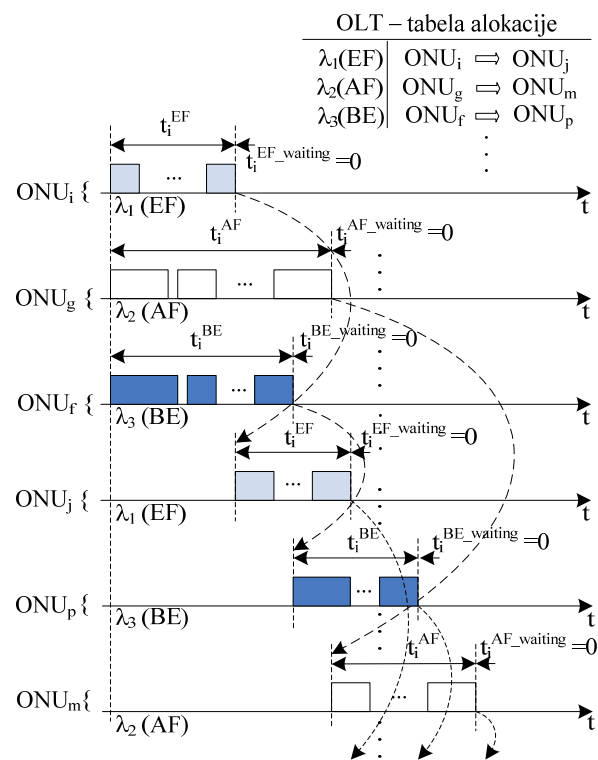


Sl. 2. OLT – ONU komunikacija

Za razliku od FWPBA (*Fixed Wavelength Bandwidth Priority Allocation*) modela prikazanog u [1, 4], DWPBA model odstupa od pravila po kome jedna ONU jedinica zadržava sve tri talasne dužine dok god se na svakoj od njih ne završi prenos definisane klase saobraćaja. U ovom modelu talasna dužina na kojoj je završen prenos definisane klase u okviru date ONU jedinice se automatski oslobađa i alocira za prenos iste klase saobraćaja ali u okviru sledeće ONU jedinice koja je raspoređena za

prenos. OLT jedinica bira sledeću ONU jedinicu kojoj će dodeliti talasnu dužinu na osnovu težinskih faktora koji su bazirani na zahtevanom propusnom opsegu za datu klasu i koji su definisani matematičkim modelom opisanim u nastavku rada.

Alokacija talasnih dužina je potpuno asinhrona, pa su u jednom trenutku talasne dužine dodeljene različitim ONU jedinicama: ONU_i , ONU_g , ONU_f za prenos EF, AF i BE klase, redom, Sl. 3. Kada se završi prenos saobraćaja date klase ONU jedinica odmah oslobađa odgovarajuću talasnu dužinu i OLT jedinica je dodeljuje sledećoj ONU jedinici. U situaciji prikazanoj na Sl. 3, kada ONU_i jedinica završi prenos EF saobraćaja po talasnoj dužini rezervisanoj za ovu klasu (λ_1), ova talasna dužina se dodeljuje ONU_j jedinici za prenos saobraćaja iste klase. Prenos AF i BE saobraćaja se za to vreme nezavisno odvija po definisanim talasnim dužinama (λ_2 i λ_3) u ONU_g i ONU_f jedinicama. OLT jedinica mora da održava informacije o alociranim talasnim dužinama za svaku ONU jedinicu jer u jednom ciklusu za prenos podataka svaka ONU jedinica mora da dobije priliku za prenosom svake klase saobraćaja. Korišćenje talasnih dužina nije sinhronizovano i one se ne alociraju istovremeno jednoj ONU jedinici što povećava kompleksnost modula u OLT jedinici [1].



Sl. 3. *Upstream* ONU prenos

Algoritam za alokaciju propusnog opsega korišćen u modelu je baziran na modifikovanom *gated* IPACT algoritmu [5]. U ovom algoritmu svakoj ONU jedinici se odobrava zahtevana količina propusnog opsega koja ne može biti veća od veličine reda čekanja. S obzirom da su ONU jedinice različito opterećene model modifikujemo sa uvođenjem težinskih faktora za svaku jedinicu koji definiše njen udeo u raspodeli propusnog opsega. Ukupan raspoloživ *upstream* propusni opseg iznosi:

$$W^{total} = R * (T_{cycle}^{max} - T_g) \quad (1)$$

gde je R je brzina prenosa podataka unutar svakog kanala, T_g je *guard* interval koji razdvaja prenos različitih ONU jedinica, T_{cycle}^{max} je maksimalna veličina ciklusa za prenos podataka u kome svaka ONU jedinica treba da dobije šansu za prenos podataka i određena je MTCT (*Maximum Transmission Cycle Time*) parametrom. Alocirani propusni opseg se sada računa kao:

$$W_{total}^{tc_requested} = \sum_{i \in N} W_i^{tc_requested}, \quad tc \in \{EF, AF, BE\} \quad (2)$$

$$w_i^{tc} = \frac{W_i^{tc_requested}}{W_{total}^{tc_requested}}, \quad tc \in \{EF, AF, BE\} \quad (3)$$

$$W_i^{tc_allocated} = \begin{cases} w_i^{tc} * W^{total}, & W_i^{tc_requested} < W_{queue} \\ W_{queue}, & W_i^{tc_requested} \geq W_{queue} \end{cases}, \quad tc \in \{EF, AF, BE\} \quad (4)$$

pri čemu je:

N	Ukupan broj ONU jedinica,
$W_i^{tc_requested}$	Zahtevani propusni opseg za svaku klasu saobraćaja ONU _i jedinice,
$W_{total}^{tc_requested}$	Ukupan zahtevani propusni opseg svih ONU jedinica u sistemu za svaku klasu saobraćaja,
w_i^{tc}	Težinski faktor dodeljen ONU _i za svaku klasu saobraćaja pri čemu je $\sum_{i=1}^N w_i^{tc} = 1$,
$W_i^{tc_allocated}$	Alociran propusni opsega za svaku klasu saobraćaja u ONU _i jedinici,
W_{queue}	Maksimalno definisana veličina bafera u ONU jedinicama.

III. SIMULACIJA

Simulacija rada DWPBA modela realizovana je 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 detaljno opisuju rad sistema jer je moguće 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 1.

TABELA 1: PARAMETRI SIMULACIJE

Broj ONU jedinica	16
Brzina prenosa na svakoj talasnoj dužini	1 Gbps
Veličina bafera	1 Mb
MTCT	2ms
<i>Guard</i> interval	1μs

Opterećenje ONU jedinica varira između 0.1 i 1 tj. 10 i 100 Mbps. RTT (*Round Trip Time*) parametar se generiše u skladu sa uniformnom raspodelom iz opsega [100 μs, 200 μs], što odgovara rastojanju između OLT i ONU jedinica od 15 do 30 km. Prilikom generisanja AF i BE saobraćaja veličina paketa je uniformno raspoređena između 64 by i 1518 by [3], dok se EF saobraćaj modeluje

korišćenjem *Poisson*-ove raspodele sa fiksnom veličinom paketa od 70 by [6].

U radu analiziramo ponašanje sistema u slučaju da su implementirana dva profila koja opisuju zastupljenost pojedinih klasa saobraćaja:

- Profil 1 (P1): EF(15%), AF(50%), BE(35%),
- Profil 2 (P2): EF(20%), AF(40%), BE(40%).

Profil P1 opisuje raspodelu saobraćaja koja je trenutno aktuelna i u kojoj je multimedijalni saobraćaj dominantan [7]. Profil P2 opisuje raspodelu saobraćaja koja se implementira u klasičnim EPON sistemima prilikom analize kvaliteta servisa [3, 5] i koristimo ga za poređenje sa klasičnim sistemom.

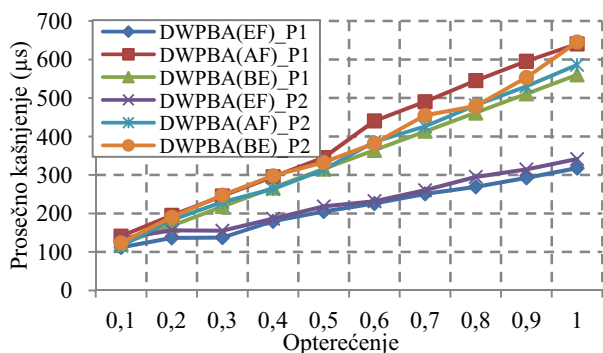
Na Sl. 4-5 su prikazana poređenja srednjeg i maksimalnog kašnjenja za svaku podržanu klasu saobraćaja u slučaju implementacije oba profila saobraćaja. Rezultati potvrđuju zaključke dobijene teorijskom analizom modela iz prethodnog poglavlja. S obzirom da je EF saobraćaj najmanje zastupljen u sistemu karakteristika kašnjenja ove klase saobraćaja je najbolja bez obzira na implementiran profil. Pri maksimalnom opterećenju sistema kašnjenje EF saobraćaja izmereno u slučaju implementacije P1 profila je za 6.8% bolje od karakteristike izmerene u slučaju implementacije P2 profila jer je ovaj saobraćaj manje zastupljen u prvom profilu. BE klasa je takođe zastupljenija u drugom profilu pa je pri maksimalnom opterećenju sistema kašnjenje BE saobraćaja za 13% veće od srednjeg kašnjenja izmerenog u slučaju implementacije prvog profila. Međutim, kašnjenje AF saobraćaja je za 8.5% veće u P1 profilu u kome je ovaj saobraćaj dominantan. Karakteristike maksimalnog kašnjenja saobraćaja prikazane na Sl. 5 ovo dalje potvrđuju.

Na Sl. 6 je prikazana funkcija gustina verovatnoće pdf (*probability density function*) kašnjenja EF paketa na maksimalnom opterećenju mreže koja se koristi za modelovanje *jitter-a* u mreži. *Jitter* je predstavljen kao varijacija kašnjenja dva susedna EF paketa iste ONU jedinice u istom ciklusu za prenos [3]. Funkcija opada na nulu na vrednosti od oko 0.6 ms i 0.9 ms u slučaju implementacije P1 odnosno P2 profila, respektivno, čime se potvrđuje sposobnost modela da obezbedi odgovarajući kvalitet servisa za klasu saobraćaja najvišeg prioriteta.

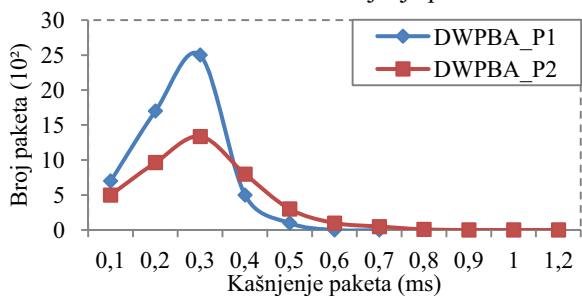
Procenat izgubljenih paketa u sistemu je veoma mali bez obzira na implementiran profil, kao što je prikazano na Sl. 7. Gubitak paketa u sistemu je u najvećoj meri uslovljen činjenicom da fragmentacija paketa nije dozvoljena pa paketi koji ne mogu da budu preneti u tekućem prozoru čekaju sledeći ciklus za prenos i na kraju mogu biti odbačeni. Samim tim procenat izgubljenih paketa je veći u slučaju implementacije P1 profila nego P2 profila. Naime, u prvom profilu količina AF saobraćaja tj. broj velikih multimedijalnih paketa je veći pa je i veća verovatnoća fragmentacije i gubitka paketa.

Rezultati dobijeni testiranjem DWPBA modela pokazuju da su efikasnost i performanse sistema znatno poboljšane u odnosu na FWPBA sistem [1, 4] u kome je dodela talasnih dužina sinhronizovana sa raspodelom ONU jedinica. Rezultati izmereni u slučaju implementacije DWPBA_P1 profila pri maksimalnom

opterećenju pokazuju poboljšanje srednjeg kašnjenja paketa (61%, 1.5%, 23%) za EF, AF, BE klasu saobraćaja,



Sl. 4. Prosečno kašnjenje paketa



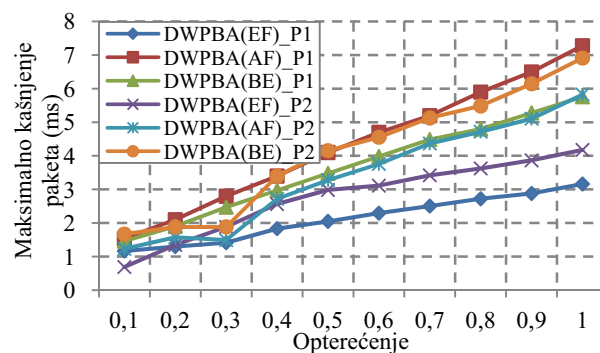
Sl. 6. Jitter

redom) i gubitka paketa (1.6 puta) u poređenju sa FWPBA_P1 modelom. Pored toga, dobijeni rezultati pokazuju da se implementacijom DWPBA_P2 modela postižu značajna poboljšanja prosečnog kašnjenja (25%, 16%, 45% za EF, AF, BE klasu saobraćaja, redom), kao i procenta izgubljenih paketa (55%) pri maksimalnom opterećenju sistema u poređenju sa HG(PBS) modelom [3].

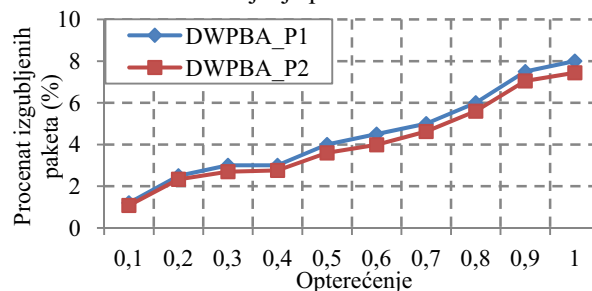
Predloženi DWPBA model omogućava podršku za implementaciju kvaliteta servisa u WDM EPON mreži direktno kroz alokaciju talasnih dužina koja se sada vrši po klasama saobraćaja. Pored toga, u modelu se talasne dužine asinhrono alokiraju, tj. različite ONU jedinice mogu da vrše istovremeni prenos saobraćaja koji pripada različitim klasama na predefinisanim talasnim dužinama, čime se optimizuje rad sistema i povećava njegova efikasnost. U modelu koji je realizovan u Matlab Simulink paketu uzeti su u obzir parametri kao što su kašnjenje paketa u redu čekanja, RTT intervali, guard interval i na taj način je omogućena simulacija i testiranje modela u realnom servis provajder okruženju.

IV. ZAKLJUČAK

DWPBA model predložen u ovom radu omogućava migraciju sa postojećih jednokanalnih na WDM EPON sisteme kompatibilne sa postojećim 802.3ah standardom. U predloženom modelu raspodela talasnih dužina se vezuje za definisane klase saobraćaja čime se uvodi automatska podrška za kvalitet servisa bez potrebe da se koriste kompleksni modeli i rešenja. Rezultati simulacija potvrđuju superiornost DWPBA modela po pitanju prosečnog kašnjenja paketa, jittera i procenta izgubljenih paketa u odnosu na do sada predložene modele i rešenja.



Sl. 5. Maksimalno kašnjenje paketa



Sl. 7. Procentat izgubljenih paketa

LITERATURA

- [1] M. Radivojević, and P. Matavulj, "Novel Wavelength and Bandwidth Allocation Algorithms for WDM EPON with QoS Support," *Photonic Network Communications*, vol. 20, no. 2, pp. 173-182, Oct. 2010.
- [2] M. McGarry, M. Maier, M. Reisslein, and A. Keha, "Bandwidth management for WDM EPONs," *Journal of Optical Networking*, vol.5, no.9, pp. 637-654, Sept. 2006.
- [3] M. Radivojevic and P. Matavulj, "Implementation of Intra-ONU Scheduling for Quality of Service Support in Ethernet Passive Optical Networks," *Journal of Lightwave Technology*, vol.27, no. 18, pp. 4055-4062, Sept. 2009.
- [4] M. Radivojević, P. Matavulj, "Algoritam za implementaciju multipleksiranja po talasnim dužinama u EPON mreži," TELFOR 2009, str. 724-727, Beograd, 2009.
- [5] G. Kramer and G. Pesavento, "Ethernet PON: Building a next-generation optical access network," *IEEE Communication Magazine*, vol. 40, no. 2, pp. 66-73, Feb. 2002.
- [6] W. Willinger, M. S. Taqqu, and A. Erramilli, "A bibliographical guide to self-similar traffic and performance modeling for modern high-speed networks," in *Stochastic Networks*. Oxford, U.K.: Oxford Univ. Press, 1996, pp. 339-366.
- [7] F.J.Hens and J.M. Caballero, *Triple Play: Building the converged network for IP, VoIP and IPTV*, John Wiley & Sons, Ltd, England (2008).

ABSTRACT

EPON network, although widespread, presents a single channel system that cannot provide sufficient bandwidth in the access network. Introduction of the wavelength division multiplexing, i.e. WDM technology is the next step in the development of optical access network. In addition, it is necessary to implement quality of service to provide end users with appropriate services. In this work, we present a model for dynamic wavelength and bandwidth allocation with full QoS support in WDM EPON. Beside theoretical analysis, simulation results are presented and they confirm efficiency of presented solution.

DYNAMIC WAVELENGTH AND BANDWIDTH ALLOCATION IN WDM EPON

Mirjana Radivojević, Petar Matavulj