

Simulaciona analiza performansi telekomunikacionih mreža IEEE 802.3av

Milan Bjelica, *Member, IEEE*

Sažetak—U radu su predstavljeni rezultati simulacione analize performansi pasivnih optičkih telekomunikacionih mreža koje zadovoljavaju standard IEEE 802.3av (10G-EPON). Kao mera performansi fizičkog sloja posmatrana je verovatnoća greške, dok je na podsloju kontrole pristupa sredini za prenos posmatrana verovatnoća uspešne registracije optičke mrežne jedinice. Dobijeni rezultati su poslužili za uočavanje mogućnosti za optimizaciju ovih mreža i davanje praktičnih preporuka u tom smislu.

Ključne reči—IEEE 802.3, simulacija, telekomunikacione mreže, verovatnoća greške, verovatnoća sudara.

I. UVOD

STANDARD IEEE 802.3av opisuje pasivne optičke telekomunikacione mreže koje nude protok do 10 Gb/s u oba smera prenosa [1]. Zbog visokog protoka i popularnosti Ethernet tehnologije na kojoj se zasnivaju, ove mreže bi u skorijoj budućnosti mogle naći značajnu primenu u realizaciji telekomunikacione pristupne infrastrukture.

Struktura 10G-EPON mreža prikazana je na slici 1. Radi se o jednostavnoj topologiji stabla, čiji koren predstavlja optički linijski terminal (OLT), na lokaciji operatora, dok listove predstavljaju optičke mrežne jedinice (ONU) na lokacijama korisnika. U podstanici, koja predstavlja tačku razgranavanja mreže, smešten je pasivni optički razdelnik/sabirač snage. Optičko vlakno koje spaja OLT sa tačkom razgranavanja naziva se „feeder”, dok se vlakna kojima se tačka razgranavanja spaja sa ONU uređajima nazivaju „drop”.

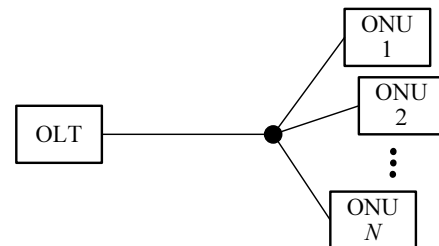
ONU uređaji predstavljaju korisničke stanice u mreži. Da bi se omogućila delimična kompatibilnost sa starim standardom 802.3ah, standard 802.3av podržava tri vrste optičkih mrežnih jedinica – „stare”, sa protokom od 1 Gb/s u oba smera; „mešane”, sa protokom od 1 Gb/s u smeru naviše i 10 Gb/s u smeru naniže i „nove”, sa protokom od 10 Gb/s u oba smera.

Pošto je standard IEEE 802.3av usvojen pre godinu dana, još uvek ne postoji relevantna literatura koja bi se bavila ovom problematikom. Postojeći radovi, kao npr. [2] ili [3], razmatraju stari standard 802.3ah. Implementacije ovih mreža i dalje su u začetku, pa nedostaju i eksperimentalni rezultati. U ovome radu stoga su izloženi rezultati računarske simulacije čiji je cilj bilo sagledavanje performansi mreža 802.3av na fizičkom sloju i podsloju kontrole pristupa sredini za prenos (MAC), unutar sloja linka podataka (DLL).

II. ANALIZA FIZIČKOG SLOJA

Simulacioni model za analizu performansi fizičkog sloja formiran je u programskom paketu VPItransmissionMaker

Milan Bjelica, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, Srbija (e-mail: milan@etf.rs).



Slika 1. Topologija IEEE 802.3av (10G-EPON) telekomunikacione mreže.

8.3. Posmatrana je mreža koja se sastoji od četiri simetrične optičke mrežne jedinice „novog” tipa. Detaljan opis modela i pripadajućih gradivnih blokova dat je u [4].

Numeričke vrednosti parametara u usvojenom simulacionom modelu određene su u skladu sa odredbama standarda IEEE 802.3av i pripadajućim tumačenjima Radne grupe IEEE 802.3av. Za komunikaciju u smeru naniže, koristi se talasna dužina 1590 nm, dok se za komunikaciju u smeru naviše koristi talasna dužina 1270 nm. Primenjeno je zaštitno kodiranje kodnog količnika 64/66, pa je protok na fizičkom sloju 10,3125 Gb/s, dok je korisni protok 10 Gb/s u oba smera.

Snaga laserskog predajnika za smer naniže iznosi 2 mW, a za smer naviše 5 mW. Širina spektralne linije je 10 MHz. Frekvencijska nestabilnost lasera na smeru naviše modelirana je parazitnom frekvencijskom modulacijom nosioca, tako da maksimalna devijacija frekvencije iznosi 1 GHz, uz frekvenciju prostoperiodičnog modulišućeg signala 100 MHz i njegovu amplitudu 0,5.

Prijemnici su sa PIN fotodiodama, čija responsivnost iznosi 0,9 A/W, a struja mraka je 0,1 nA. Dobitak FET ulaznog stepena prijemnika je 30 dB, a izlaznog stepena 10 dB.

Parametri optičkog vlakna odabrani su prema kataloškim podacima za vlakno Corning SMF-28e+™. Ovo vlakno odgovara preporuci ITU-T G.652 i u inženjerskoj praksi predstavlja popularno rešenje za realizaciju FTTH pristupa.

Uticao nelinearnosti u vlaknu modeliran je uvođenjem dodatnog slabljenja („penala snage”) od 2 dB, koje je obračunato na ulazima ONU i OLU.

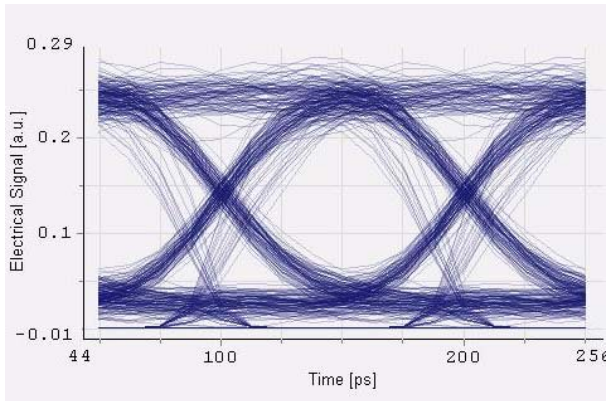
Razdelnik i sabirač snage realizovani su korišćenjem simetričnih trodecibelskih spreznjaka 2×2 .

Simulacijom je procenjena zavisost verovatnoće greške na ulazu OLT od dužine upotrebljenih vlakana, za situacije koje odgovaraju urbanom (dužina „feadera” 5 km), suburbanom (10 km) i ruralnom (15 km) scenariju primene. Rezultati su prikazani u tabeli I.

Dijagram oka za najnepovoljniji slučaj (izrazito ruralni pristup – dužina „feadera” 15 km, dužina „dropa” 5 km) prikazan

Tabela I
VEROVATNOĆA GREŠKE NA ULAZU OLT.

Dužina „dropa”	P_e	Dužina „feedera”		
		5 km	10 km	15 km
1 km	$< 10^{-34}$	$2 \cdot 10^{-27}$	$4 \cdot 10^{-22}$	
2 km	—	$4 \cdot 10^{-24}$	$2 \cdot 10^{-19}$	
5 km	—	—	$2 \cdot 10^{-12}$	



Slika 2. Dijagram oka na ulazu OLT za najnepovoljniji posmatrani slučaj.

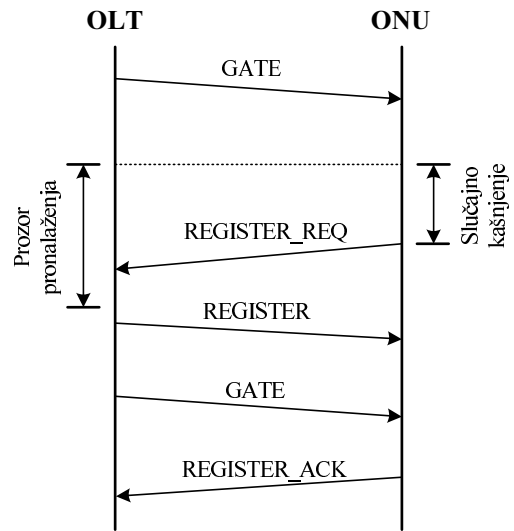
je na slici 2.

Na osnovu prikazanih rezultata, može se zaključiti da je razmatrana konfiguracija u svim scenarijima primene pokazala zadovoljavajuće performanse. Uprkos malim upotrebljenim snagama izvora (koje su usvojene zato da nelinearni efekti u vlaknu ne bi značajnije degradirali prenošeni signal) i velikim vrednostima dodatnih slabljenja, verovatnoća greške na fizičkom sloju uvek je bila ispod 10^{-9} . I u najnepovoljnijem posmatranom slučaju, u sistemu postoji značajna rezerva, koja postaje još veća kada se u obzir uzme i zaštitno kodiranje na višim slojevima. To znači da je u praksi tokom eksploatacije ovakvih mreža moguće njihovo proširivanje dodavanjem novih korisnika.

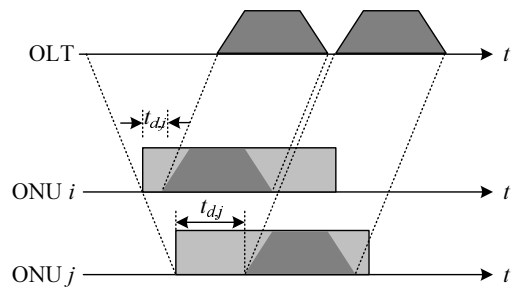
III. ANALIZA SLOJA LINKA PODATAKA

Performanse sloja linka podataka ispitane su analizom postupka pronalaženja i registrovanja novopriključenih optičkih mrežnih jedinica na optički linijski terminal; ove aktivnosti se izvršavaju na podsloju za kontrolu pristupa sredini za prenos (MAC).

Postupak pronalaženja je ilustrovan na slici 3. Radi se o standardnoj proceduri „rukovanja” koja se odvija na sledeći način. OLT periodično otvara vremenski prozor pronalaženja, tokom koga se novi ONU uređaji mogu prijaviti i registrovati. Početak ovoga prozora najavljuje se porukom GATE. ONU uređaji koji žele da se registruju čekaju slučajno vreme po otpočinjanju prozora pronalaženja i potom odgovaraju porukom REGISTER_REQ. OLT potvrđuje registraciju slanjem poruke REGISTER i još jednom porukom GATE obaveštava ONU o dodeljenom vremenskom slotu za pristup uzlaznom linku. ONU na kraju potvrđuje njen prijem slanjem poruke REGISTER_ACK.



Slika 3. Postupak pronalaženja i registracije ONU.



Slika 4. Primer uspešne registracije dvaju ONU uređaja.

ONU uređaji ne mogu uzajamno neposredno komunicirati, pa je moguće da će više njih istovremeno pokušati da se registruje. U tom slučaju, doći će do sudara njihovih poruka REGISTER_REQ i registracija neće biti uspešna. Ovakvi ONU čekaju da OLT otvori novi prozor pronalaženja i potom ponovo pokušavaju da se registruju. Proces registracije se stoga inherentno odlikuje nadmetanjem za zajednički resurs, pa se njegove performanse mogu posmatrati kroz verovatnoću sudara ili uspešne registracije [2].

Primer uspešne registracije ONU uređaja i i j ilustrovan je na slici 4. Osenčenim pravougaonicima označeni su prozori pronalaženja, dok su poruke REGISTER_REQ (sa pripadajućim zaštitnim vremenskim intervalima) označene trapezima.

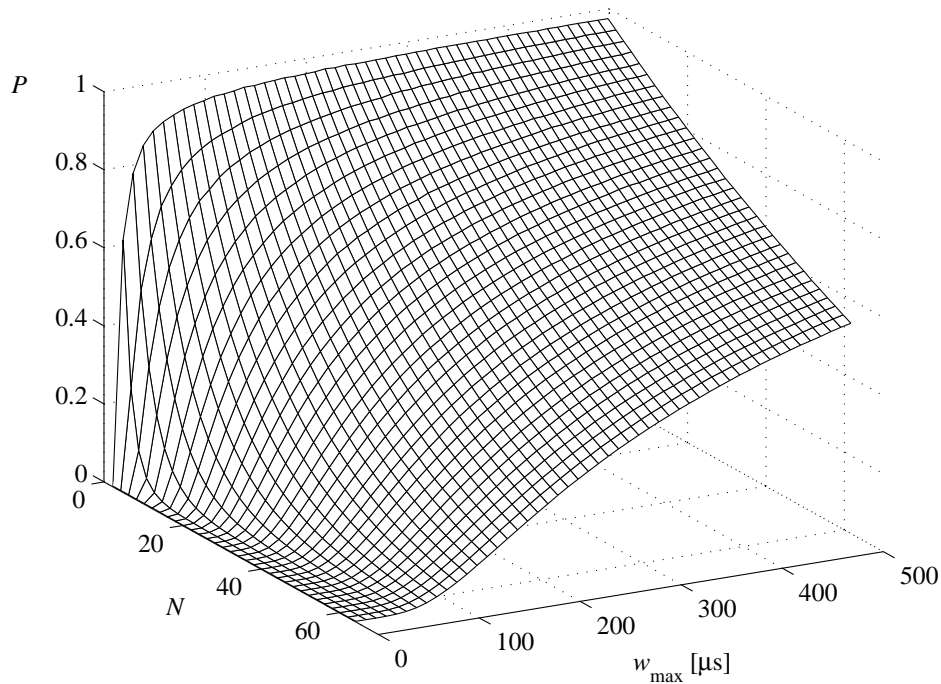
Do sudara neće doći ukoliko bude važio uslov

$$|(t_i + w_i) - (t_j + w_j)| \leq T, \quad (1)$$

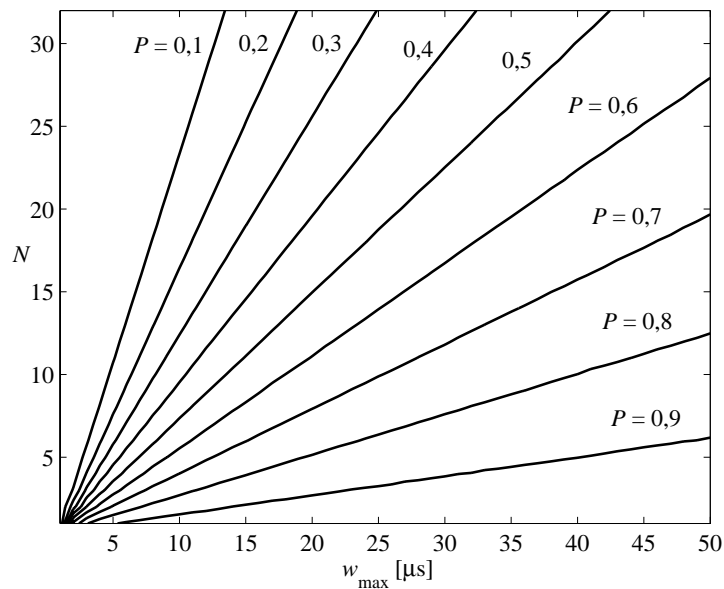
gde su sa t_i i t_j označena pripadajuća kašnjenja potrebna za prenos u oba smera; w_i i w_j su slučajna kašnjenja unutar prozora pronalaženja, dok je T ukupno vreme potrebno za slanje poruke REGISTER_REQ, sa svim zaštitnim vremenskim intervalima.

U mreži sa N ONU uređaja, $N \geq 2$, uslov (1) važi za svaki uočeni par (i, j) .

U nizu računarskih Monte Carlo simulacija, koje su izvršene u programu GNU Octave 3.0.3, određena je verovatnoća uspe-



Slika 5. Zavisnost verovatnoće uspešne registracije ONU u prvom pokušaju od broja inicijalno neregistrovanih ONU (N) i najdužeg slučajnog kašnjenja pri registraciji (w_{max}).



Slika 6. Nivoske linije verovatnoće uspešne registracije. Oznake su iste kao na slici 5.

šnog registrovanja ONU uređaja u prvom pokušaju. Minimalan broj ponavljanja svakog statističkog eksperimenta iznosio je 500 000. Da bi se ubrzalo izvršavanje simulacije, primenjene su heuristike za simulaciju retkih diskretnih događaja, prema [5].

Posmatran je najgori slučaj, koji nastupa kada su ONU uređaji ekvidistantno raspoređeni u odnosu na OLT. Tada je

$t_i = t_j$ za svaki par (i, j) , pa se uslov (1) svodi na

$$|w_i - w_j| \leq T. \quad (2)$$

Primitimo da se u praksi mogu očekivati maksimalne razlike u dužinama „dropova” od nekoliko kilometara, pa se, zbog male razlike propagacionih kašnjenja, svi realni scenariji primene veoma približno mogu ekvivalentirati posmatranim najgorim

slučajem.

Broj neregistrovanih ONU uređaja nalazio se u opsegu [2, 64], dok je slučajno kašnjenje svakog uređaja bilo uniformno raspodeljeno na intervalu $[0, w_{max}]$.

Rezultati simulacije prikazani su na slici 5, u vidu „tro-dimenzionalnog” grafika zavisnosti verovatnoće uspešne registracije od N i w_{max} . Na slici 6, prikazane su nivoske linije ove verovatnoće.

Kao što je i očekivano, sa slike 5 vidimo da verovatnoća uspešne registracije raste sa (a) povećavanjem dozvoljenog slučajnog kašnjenja, što je ekvivalentno povećavanju trajanja prozora pronalazjenja i (b) smanjivanjem broja uređaja koji se nadmeću za zajednički resurs.

Za zadat broj korisnika (tj. ONU), uočavamo da verovatnoća uspeha prvo naglo raste sa povećavanjem dozvoljenog kašnjenja, da bi potom asimptotski težila maksimalnoj vrednosti 1. Ovo zapažanje nam omogućava da heuristički rešimo problem optimizacije trajanja intervala pronalazjenja, koji je čest u praktičnim primenama. Naime, sa povećavanjem trajanja ovoga intervala, smanjuje se verovatnoća sudara i više korisnika se registruje već u prvom pokušaju, ali se istovremeno skraćuje vreme koje korisnici imaju na raspolaganju za slanje podataka ka OLT. Nivoske linije verovatnoće, koje su prikazane na slici 6, omogućavaju nam da, za zadat broj korisničkih stanica u mreži, odredimo potrebno maksimalno kašnjenje, tako da se ostvari tražena verovatnoća uspeha.

Ako je verovatnoća uspešne registracije jedne ONU u prvom pokušaju P , tada je verovatnoća uspešnog registrovanja n ONU, $0 \leq n \leq N$ data binomnom raspodelom,

$$P_n = \binom{N}{n} P^n (1 - P)^{N-n}. \quad (3)$$

Preostalih $N - n$ ONU nadmeću se za uspešnu registraciju u narednom prozoru pronalazjenja. Primitimo da je očekivani broj ONU koje se uspešno registruju iz prvog pokušaja NP .

Predloženi postupak optimizacije je sledeći: za željenu vrednost verovatnoće uspešnog registrovanja n ONU (ili, ekvivalentno, zadat očekivani broj uspešno registrovanih ONU), iz (3) se odredi potrebna verovatnoća P , pa se sa slike 6 očita korespondirajuća vrednost maksimalnog slučajnog kašnjenja, w_{max} . Na primer, ako se u mreži sa 10 ONU zahteva da se iz prvog pokušaja uspešno registruje u proseku njih 8, potrebno maksimalno kašnjenje iznosiće 40 μ s. Preostale 2 ONU registrovaće se u narednom pokušaju s verovatnoćom većom od 0,9.

Neke ostale mogućnosti za optimizaciju ovih mreža, npr. tako da se minimiziraju periodi „tišine” na linku, diskutovane su u [6].

IV. ZAKLJUČAK

Zbog široke rasprostranjenosti Ethernet tehnologije, opravdano je očekivati da će nova generacija pasivnih optičkih mreža, koja je opisana standardom IEEE 802.3av i u našoj zemlji naći značajno mesto u pristupnoj ravni telekomunikacionih mreža. Po prvi put u našoj literaturi, u ovom radu su razmotrene neke karakteristike ovih mreža. Nizom računarskih simulacija ispitane su performanse njihovog fizičkog sloja i sloja linka podataka, pri čemu simulacioni scenariji odražavaju realne mogućnosti primene. Dobijeni rezultati su potvrdili dobre osobine ovih mreža, a na osnovu njih je formulisana jednostavan heuristički metod za brzu optimizaciju u praksi.

LITERATURA

- [1] “802.3av-2009 IEEE Standard for Information Technology — Part 3: (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 1: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10Gb/s Passive Optical Networks,” IEEE, October 2009.
- [2] G. Kramer, *Ethernet Passive Optical Networks*. McGraw-Hill, 2005.
- [3] S. Bhatia and R. Bartoš, “Closed-form expression for the collision probability in the IEEE Ethernet passive optical network registration scheme,” *J. Opt. Netw.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–14, 2006.
- [4] M. Bjelica, “Modeliranje i simulacija fizičkog sloja pasivnih optičkih Ethernet mreža,” *prihvaćeno za objavljivanje u časopisu Telekomunikacije*, 2010.
- [5] R. M. Fujimoto, K. S. Perumalla, and G. F. Riley, *Network Simulation*. Morgan & Claypool, 2007.
- [6] M. Bjelica, “Performance analysis of registration procedure in IEEE 802.3av networks,” *prihvaćeno za ECCSC*, 2010.

ABSTRACT

The paper presents simulation results of performance analysis for passive optical networks compliant to new standard IEEE 802.3av (10G-EPON). Bit error rate was observed as performance metric on physical layer, while probability of successful registration was observed on medium access control sublayer. The obtained results were used to identify the space and formulate the guidelines for possible optimization of these networks.

SIMULATION ANALYSIS OF IEEE 802.3av NETWORKS PERFORMANCES

Milan Bjelica