

Анализа коегзистенције NG-PON1 (10G-PON) мрежа са постојећим GPON мрежама

Марија Д. Мраковић, Петар С. Матавуљ

Садржај — У раду је приказан симулациони модел коегзистирајућих GPON (Гигабитна пасивна оптичка мрежа) и NG-PON1 (10G-PON) система, који омогућава анализу изводљивости и имплементације ове коегзистенције. Циљ је да се анализира утицај најважнијих параметара компоненти, које су неопходне за нове мрежне елементе, на перформансе ових мрежа. На основу добијених резултата дефинисани су оптимални параметри нових системских компоненти.

Кључне речи: — Гигабитне пасивне оптичке мреже (GPON), коегзистенција, NG-PON (PON следеће генерације).

I. УВОД

ИАКО се сматра да GPON системи могу да обезбеде довољно капацитета за неколико наредних година, врло брзо ће доћи тренутак када ће садашње xPON мреже морати да мигрирају на решења са већим пропусним опсегом. Међутим, овај развој мора бити остварен тако да обезбеђује постепен прелаз са постојећих на нове системе.

У складу са новим планом развоја система следеће генерације који је успоставио FSAN (Приступне мреже са пуним сервисом) конзорцијум, NG-PON системи су подељени у две категорије - фазе развоја: NG-PON1 и NG-PON2. Системи прве фазе (NG-PON1) ће имати два основна циља: четвороструко повећање протока по кориснику у односу на постојеће GPON системе барем у смеру преноса ка кориснику и обавезно обезбеђивање коегзистенције са GPON мрежама на истим ODN (Оптичка дистрибутивна мрежа), што обезбеђује глатку надоградњу појединачним преносом корисника са постојећег на нови систем када се за то јави потреба, без ометања осталих корисника. У оквиру NG-PON1 дефинисани су XG-PON системи са брзином преноса од 10 Gb/s у смеру ка кориснику. Почетком 2010. године су званично издате и прве ITU-T препоруке серије G.987 које дефинишу ове системе [1-3].

Најједноставнији начин за додавање 10G-PON мреже на већ постојећу GPON мрежу је коришћење посебне таласне дужине за пренос сигнала новог система у оба смера преноса према ITU-T препоруци G.987: опсег од 1260-1280 nm за пренос у *upstream* (US) смеру и опсег од 1575-1580 nm за пренос у *downstream* (DS) смеру. На OLT (Оптички линијски терминал) страни, два система се комбинују са оптичким филтерима, који су названи WDM1.

Због захтева да се коегзистенција мора обавити на истој, постојећој, ODN мрежи без њених измена, постојеће карактеристике на које 10 Gb/s системи у самом старту (приликом реализације коегзистенције) неће моћи да утичу, а то су елементи и компоненте ове мреже, се прихватају као затечено стање. Зато ће перформансе оваквих мрежа зависити од оних параметара нових елемената који ће моћи да се оптимизују и због тога је важно размотрити који су то параметри који могу утицати на њихове перформансе.

II. ФОРМИРАЊЕ МОДЕЛА GPON СИСТЕМА

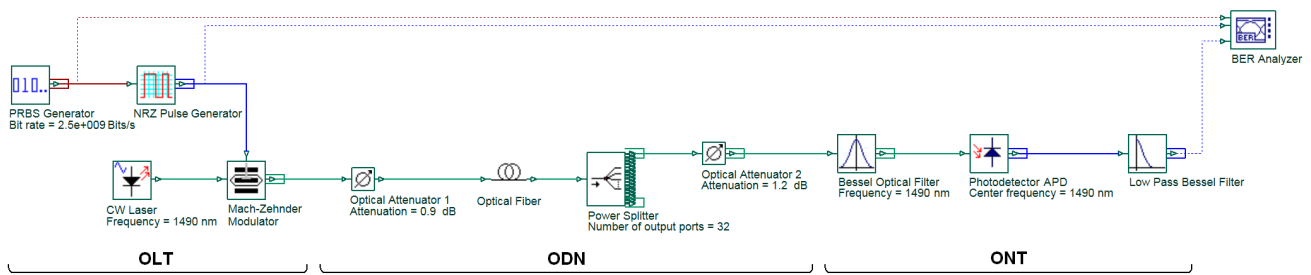
У овој анализи је обављено моделовање GPON система који припада класи слабљења B+ (са буџетом снаге од максимално 28 dB) са централизованим сплитерима деобног односа 1:32. По препоруци G.984 у њему се мора остварити домет од минимум 20 km при вероватноћи грешке од $BER < 10^{-10}$ [4, 5]. Моделован је DS смер преноса сигнала. У симулацији је разматран пренос тока података брзином од 2,5 Gb/s. Симулациони модел се састоји од три секције које представљају OLT предајник, ODN и ONT (Оптички мрежни терминал) пријемник.

OLT предајник: сигнал података је дат у форми псеудослучајне секвенце бита са битском брзином од 2,5 Gb/s, а модел предајника се састоји од PRBS (Псеудо-случајна секвенца бита) генератора, импулсног генератора NRZ сигнала, CW (континуалног) ласера и *Mach-Zehnder* екстерног модулятора [6].

ODN мрежа је моделована коришћењем симулационих елемената који представљају оптичко влакно *feeder* оптичког кабла (симулиране су карактеристике ITU-T G.652D Corning SMF28e влакна), оптички сплитер (деобног односа 1:32) и два атенуатора који симулирају слабљење услед свих конекторских и сплајс спојева на оптичком линку од OLT до сплитера (атенуатор 1) и од сплитера до ONT (атенуатор 2). Деонице дистрибутивних и *drop* каблова у предложеној архитектури су кратке па на њима нису постављени симулатори оптичког влакна.

М. Д. Мраковић, Телеком Србија а. д., Булевар краља Александра 84, 11000 Београд, Србија (телефон: 381-64-6514371, e-mail: marija@telekom.rs)

П. С. Матавуљ, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73, 11000 Београд, Србија (e-mail: matavulji@ctf.rs).



Сл. 1. Модел GPON система за DS смер преноса (приказан је само један од 32 корисника система), реализован у оквиру OptiSystem софтверског пакета коришћеног за симулацију [7].

ONT пријемник је представљен оптичким филтером (који симулира ефекат диплексера који постоји у пријемнику), APD фотодиодом и електричним NF филтером, а као најважнији мерни елемент је употребљен BER анализатор.

Модел целог GPON система је приказан на сл. 1.

Вредности параметара коришћених компоненти су дате у табели 1.

ТАБЕЛА 1. ПАРАМЕТРИ МОДЕЛА GPON СИСТЕМА.

Компонента	Параметар	Вредност
PRBS генератор	Битска брзина	2,5 Gb/s
Ел. пулсни ген.	Модулациони формат	NRZ
CW ласер	DS таласна дужина	1490 nm
	Снага ласера	1,5 - 5 dBm
	Спектр. ширина извора	1 nm
Оптичко влакно	Подужно слабљење	0,25 dB/km
	Таласна дужина нулте дисперзије λ_0	1313 nm
	Нагиб нулте дисперзије S_0	0.086 ps/(nm ² ·km)
Сплитер	Унето слабљење	17,5 dB
APD фотодиода	Струја цурења	10 nA

Пре додавања новог 10G-PON система на овако моделован GPON систем и посматрања њихове коегзистенције, мора се испитати валидност модела анализом његових перформанси приликом симулације и упоређивањем са захтевима ITU-T G.984 препорука.

III. СИМУЛАЦИЈА GPON МОДЕЛА И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Мерењем снаге сигнала на предаји и пријему у предложеном GPON моделу утврђено је да укупно слабљење оптичког сигнала у ODN износи 27,65 dB и у складу је са Б+ класом. При томе је остварен BER од $8,4 \cdot 10^{-11} < 10^{-10}$. На основу ових резултата, закључено је да предложени модел може да се прихвати.

IV. ДОДАВАЊЕ 10G-PON СИСТЕМА НА ПОСТОЈЕЋИ GPON СИСТЕМ

10-GPON систем се на постојећу GPON мрежу додаје коришћењем WDM мултиплексера. Елементи предајника и пријемника су исти као за GPON, али са различитим параметрима. Параметри који се разликују су дефинисани препоруком G.987.2 [3], а њихов опсег препоручених вредности је анализиран у симулацији и посматрано је како оне утичу на перформансе система. Ове вредности су дате у табели 2, а новопостављени коегзистентни систем је приказан на сл. 2.

ТАБЕЛА 2. ПАРАМЕТРИ МОДЕЛА 10G-PON СИСТЕМА.

Компонента	Параметар	Вредност
PRBS генератор	Битска брзина	10 Gb/s
Ел. импулсни г.	Модулациони формат	NRZ
CW ласер	DS таласна дужина	1577 nm
	Снага ласера	2 - 6 dBm
MZM модулатор	Extinction ratio	> 8,2 dB
WDM1 MUX (карактеристике филтера)	Ширина п.о. филтера	20 nm
	Изолација изван п.о. филтера)	45 dB
	Унето слабљење	0,7 dB

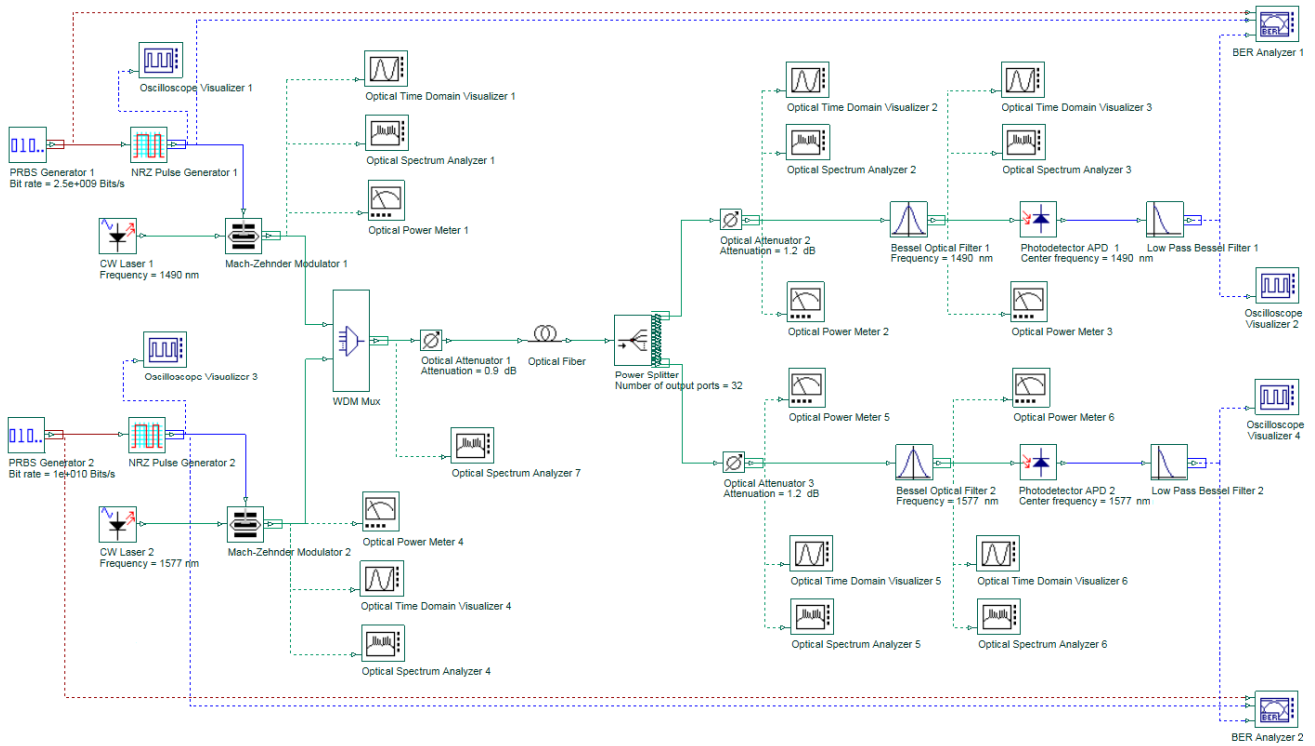
V. АНАЛИЗА РАДА КОЕГЗИСТЕНТНИХ GPON И 10G-PON СИСТЕМА

Након постављања 10G-PON система на GPON систем прво је утврђено да ли су нарушене перформансе постојећег GPON система. Мерењем вредности BER GPON сигнала при минималној вредности снаге GPON OLT од 1,5 dBm и максималној вредности снаге 10G-PON OLT од 6 dBm уочено је мало погоршање ових вредности у односу на првобитни систем, али су перформансе GPON система ипак задржане у складу са дефинисаним: BER остварен на растојању од 20 km је $9,2 \cdot 10^{-11} < 10^{-10}$. Укупно измерено слабљење сигнала кроз ODN је 27,93 dB, што је у складу са класом Б+.

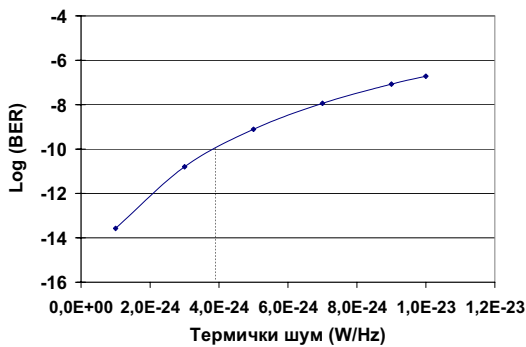
После ових закључака извршена је оптимизација 10G-PON пријемника подешавањем вредности термичког шума APD фотодиоде, а онда је анализирано како на перформансе 10G-PON система утичу предајна снага и спектрална ширина ласера у OLT, однос нивоа нуле и јединице предајног сигнала (extinction ratio) и утврђене су њихове граничне и оптималне вредности.

A. Оптимизација 10G-PON система

Пре оптимизације пријемника измерено је укупно слабљење 10G-PON сигнала у ODN мрежи за растојање од 20 km, које је износило 28,35 dB. Класе слабљења дефинисане за 10G-PON системе су N1 са макс. 29 dB и N2 са макс. 31 dB [3]. Према томе, нови 10G-PON систем може користити оптичке компоненте класе N1. Након ове анализе обављено је подешавање осетљивости 10G-PON ONT пријемника посматрањем зависности BER од вредности термичког шума APD фотодиоде и одабиром оптималне вредности на основу добијених резултата (сл. 3). Као што се види са графика, максимална вредност



Сл. 2. Модел система са коегзистенцијом GPON и 10G-PON мрежа (за DS смер преноса), реализован у оквиру OptiSystem софтверског пакета коришћеног за симулацију [7].



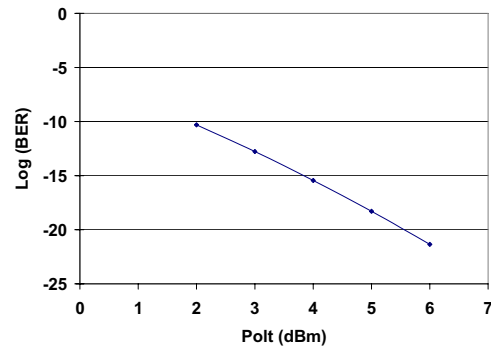
Сл. 3. Зависност оствареног BER од термичког шума APD фотодиоде за 10G-PON систем, при $P_{OLT}=2$ dBm.

термичког шума који сме уносити APD фотодиода при минималној снази предајника а да се одржи $BER < 10^{-10}$ је $3,85 \cdot 10^{-24}$ W/Hz. Важно је нагласити да је ово гранична вредност термичког шума при минималној снази предајника. Међутим уколико је потребно реализовати мање скупе пријемнике, тј. корисничку ONT опрему, она се може реализовати и уз веће вредности термичког шума, али се у том случају морају користити и веће снаге предајника.

У складу са овим резултатима, за коришћење у даљој симулацији је одабрана вредност термичког шума APD фотодиоде од $3,5 \cdot 10^{-24}$ W/Hz.

Б. Анализа утицаја предајне снаге 10G-PON OLT

Предајна снага 10G-PON OLT је дефинисана вредностима 2 - 6 dBm [3]. Опсег промене вредности BER у зависности од промене снаге предајника може се видети на сл. 4. Анализа је обављена за дужину оптичког линка од 20 km. Види се да је за повећање снаге од 4 dBm постигнуто више него значајно



Сл. 4. Зависност оствареног BER 10G-PON система од предајне снаге 10G-PON OLT за $l=20$ km.

побољшање вредности BER. Релативни однос BER који је остварен при макс. и мин. снази је око 10^{11} .

В. Анализа утицаја вредности спектралне ширине извора 10G-PON OLT

Интересантно је испитати у којој мери особине оптичког извора светлости утичу на перформансе

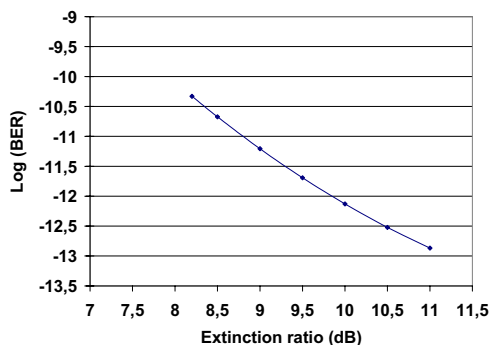


Сл. 5. Зависност оствареног BER 10G-PON система од спектралне ширине оптичког извора 10G-PON OLT.

система, а конкретно како на њега утиче спектрална ширина извора. Утицај је посматран у опсегу вредности спектралне ширине од 0,1 - 1 nm, тј. 12-120 MHz (на 1577 nm). Резултати су приказани на сл. 5. Са графика се може закључити да утицај спектралне ширине извора на BER постоји, али није много велики.

Г. Анализа утицаја вредности extinction ratio

Минимална вредност extinction ratio за 10G-PON системе износи 8,2 dB [3]. На сл. 6 је приказан утицај вредности ове величине на BER 10G-PON система.



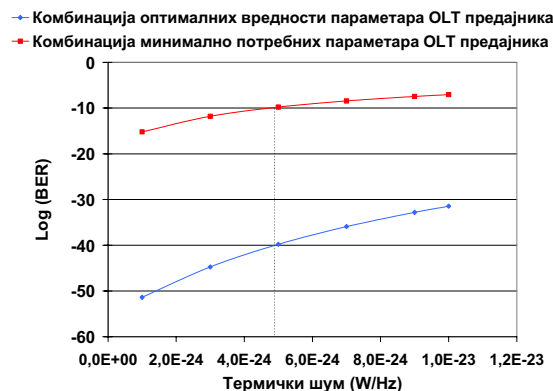
Сл. 6. Зависност оствареног BER 10G-PON система од вредности extinction ratio 10G-PON OLT.

Посматрањем графика се може закључити да се променом вредности extinction ratio могу обавити „финија“ подешавања перформанси система. Утицај extinction ratio на BER постоји, али није много велики.

Д. Дефинисање оптималних параметара 10G-PON

Анализе које су обављене у претходним поглављима дају информације о начину одабира вредности наведених параметара да би се за конкретан систем обезбедиле потребне перформансе. Интензитет утицаја ових параметара на систем је најважнија информација која је из њих добијена. Приликом одабира OLT и ONT за 10G-PON систем, њихове карактеристике се могу међусобно допуњавати, у зависности од разлика у цени (које ће свакако имати компоненте са различитим вредностима потребних параметара), што је изузетно значајно, јер се приликом процене исплативости инвестиције та разлика у цени код OLT дели, а код ONT множи са бројем корисника, што цену ONT чини осетљивијом на ове разлике.

На сл. 7 је приказан опсег дозвољених вредности термичког шума APD у зависности од конфигурације постојећег 10G-PON OLT предајника. Посматране су његове две екстремне конфигурације: оптимална - са снагом предајника од 6 dBm, ширином оптичког извора 12 MHz и extinction ratio од 10 dB и минимално потребна - са снагом предајника од 2 dBm, ширином оптичког извора 120 MHz и extinction ratio од 8,2 dB. Између ове две криве налазе се криве свих осталих препоручених OLT конфигурација и на основу криве конкретног имплементираниог модела OLT могу се, као на примеру ова два екстремна случаја, анализирати потребне вредности термичког шума APD као параметра који одређује осетљивост ONT пријемника, што је најважнија карактеристика пријемника која



Сл. 7. Разлика у дозвољеним вредностима термичког шума APD фотодиоде 10G-PON ONT.

директно утиче на његову цену и перформансе.

Примећује се да се за исту вредност термичког шума пријемника у зависности од конфигурације OLT може остварити разлика у вредности BER до 10^{37} пута.

VI. ЗАКЉУЧАК

Постоји доста места за технолошким побољшањем компоненти нових мрежних елемената који су важни за будуће GPON мреже. На основу резултата који су добијени симулацијом приказаног система указано је на потребне правце развоја најважнијих компоненти.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ITU-T Recommendation G.987: „10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations, and acronyms“, 2010.
- [2] ITU-T Recommendation G.987.1: „10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements“, 2010.
- [3] ITU-T Recommendation G.987.2: „10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification“, 2010.
- [4] ITU-T Recommendation G.984.2: „Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification“, 2003.
- [5] D. P. Shea, J. E. Mitchell, A 10-Gb/s 1024-Way-Split 100-km Long-Reach Optical-Access Network, Journal of Lightwave Technology, Vol. 25, No 3, мапр 2007., pp. 685-693.
- [6] A. Vuković, K. Maamoun, H. Hua, M. Savoie, Performance Characterization of PON Technologies, Proceedings of the SPIE, Vol. 6796, 2007., pp. 67962W.
- [7] OptiSystem software package, Optiwave, 2010. http://www.optiwave.com/products/system_overview.html

ABSTRACT

In this paper, the simulation model of coexisting GPON and NG-PON1 (10G-PON) systems has been implemented for the analysis of feasibility and implementation issues of this coexistence. The aim was to analyze the impact of the most important parameters of the components, that are needed for new network elements, to the performance of these networks. On the basis of the results obtained, the optimal parameters of the new system components are defined.

THE ANALYSIS OF THE COEXISTING GPON AND NG-PON1 (10G-PON) SYSTEMS

Marija Mraković, Petar Matavulj