

PRIMOPREDAJNICI ZA PASIVNE OPTIČKE MREŽE TRANSCEIVERS FOR PASSIVE OPTICAL NETWORKS

Marija Avramović, Željens Trpovski, Dejan Nemec, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Dat je prikaz pasivnih optičkih mreža i njihove međusobne razlike. U ovom radu opisane su tehnologije primopredajnika, primopredajnički monitoring i princip rada OTDR-a.

Ključne reči: PON sistemi, EPON, GPON, OTDR

Abstract – Passive optical networks and their differences are presented. This thesis describes transceiver technologies, transceiver monitoring and the operating principle of OTDR.

Keywords: PON systems, EPON, GPON, OTDR

1. UVOD

Optički primopredajnici veoma su značajni za optičke komunikacije, jer obavljaju fundamentalan zadatak pretvaranja optičkog signala u električni i obrnuto. Koriste poluprovodničke lasere i detektore koji rade u sprezi sa integralnim kolima. Za FTTH (*Fiber To The Home*) sisteme primopredajnici predstavljaju ključnu komponentu i kao takvi trebaju se razvijati sa što većim performansama, da prevazilaze ograničenja u stvarnom svetu i budu što jeftiniji.

Mreže na bazi bakra, poput kablovskih modema ili digitalnih pretplatničkih mreža DSL (*Digital Subscriber Line*), ne pružaju toliki propusni opseg i potrebnu razdaljinu za prenošenje multimedijalnih servisa poput govora, podataka i video programa (IPTV; HDTV). Zato su pasivne optičke mreže isplativo i sigurno rešenje ovog problema.

PON (*Passive Optical Network*) sistem sastoji se iz optičkog linijskog terminala (OLT – *Optical Line Termination*), višestrukih mrežnih jedinica (ONU – *Optical Network Unit*) i pasivnog optičkog splitera (razdelnika), koji spaja OLT sisteme sa ONU sistemima.

Ovaj rad baviće se tehnologijom optičkih primopredajnika i njihovom primenom u modernom okruženju koje postavlja sve veće standarde po pitanju brzine protoka sve većih količina podataka.

Dat je prikaz pasivnih optičkih mreža i njihove međusobne razlike. Opisane su i tehnologije primopredajnika, primopredajnički monitoring i princip rada OTDR-a (*Optical Time Domain Reflectometer*).

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Željens Trpovski, vanr. prof.

2. ZAHTEVI PON SISTEMA

Postoje tri tipa PON-a, BPON (*Broadband PON*), GPON (*Gigabit PON*) i EPON (*Ethernet PON*). EPON podržava najmanje 16 splitova vlakana.

U tabeli 1. ilustrovan je odnos budžeta snage i sposobnost deljenja tipova PON-a. Maksimalni odnos splita PON-ova nije definisan, jer zavisi od gubitaka vlakana i sposobnosti fizičkog sloja. Budžeti optičkih linkova određuju se individualnim aktivnim komponentama prodavaca.

Tabela 1. Odnos budžeta snage i sposobnost deljenja (splita) tri tipa PON [1]

Type & protocol	Split ratio	Power budget
BPON	32 max	Channel loss (only ^b) Class A optics: 20 dB Class B optics: 25 dB Class C optics: 30 dB
GPON	64 max	Channel loss (only ^b) Class A optics: 20 dB Class B optics: 25 dB Class C optics: 30 dB
EPON	16 nominal 32 permitted	PX10 US: 23 dB PX10 DS: 21 dB PX20 US: 26 dB PX20 DS: 26 dB

2.1. Specifikacije fizičkog sloja

Specifikacije fizičkog sloja zavise su od fizičkog medijuma (PMD – *Physical Medium Dependent*) koji uključuje opto/elektronske konvertore i CDR-a (*Clock and Data Recovery*). Fizički sloj šalje podatke do fizičkog medijuma i obratno. Sloj fizičkog medijuma označava optičke primopredajnike i prijemnike sa snagom prenosa i vrednostima osetljivosti prijemnika za svaki budžet snage i brzinu prenosa.

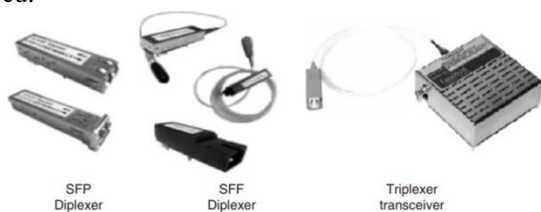
2.2. Vremenski zahtevi burst moda (u naletima)

Višestruki *upstream* pristup i ponašanje *burst* moda zahtevaju od ONU transmitera da generišu signale vremenski ograničene unutar alociranih vremenskih slojeva dodeljenih od strane MAC (*Medium Access Control*) sloja. Ovo znači da snaga lasera mora ostati stabilizovana unutar vremenskog okvira u kojem se signal šalje dok se vremenski slot ne završi. ONU prijemnik mora biti neaktivan i ne sme slati ni najmanji šum tokom alociranja signala na drugi ONU prijemnik, u suprotnom, doći će do unakrsnih razgovora i ometanja *upstream* servisa. Ovakav pristup zahteva brzo menjanje ONU predajnika.

3. TEHNOLOGIJE PRIMOPREDAJNIKA

Optički primopredajnici klasifikuju se prema talasnim dužinama, dometu, brzinama podataka, vrsti pakovanja, temperaturnim opsezima, električnim i optičkim interfejsom i drugo. Postoje dva standardna tipa primopre-

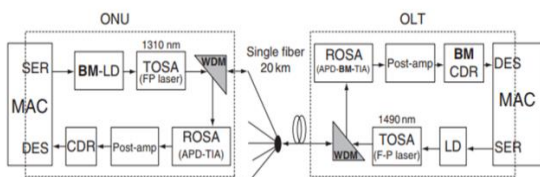
dajnika: dupleksni i tripleksni primopredajnici. Neke od primera prikazani su na slici 1. Kod dupleksnih primopredajnika talasne dužine su određene industrijskim standardima (1.310 nm za *upstream* smer, 1.490 nm za *downstream* smer). Kod tripleksnih se talasna dužina od 1.550 nm alokira za analogno emitovanje videa u *downstream* pravcu.



Slika 1. Razni PON dupleksni i tripleksni primopredajnici za optičke pristupne sisteme [2]

3.1. Izrada blokova primopredajnika

ONU strana sastoji se od *downstream* i *upstream* predajnika, dok se OLT strana sastoji od *downstream* i *upstream* prijemnika. *Upstream* ONU sastoji se od laserskog pogona *burst* moda i FP (*Fabry-Perot*) lasera u formi prenosa optičkog podsklopa (TOSA – *Transmitter Optical Sub Assembly*) što je prikazano na slici 2. OLT prijemnik sastoji se od PIN ili lavinske fotodiode u prijemnom optičkom podsklopu (ROSA - *Receiver Optical Sub Assembly*), ograničavajućeg postpojačavača (*post-amp*) i jedinice CDR u *burst* modu.



Slika 2. Struktura PON primopredajnika [3,4]

3.2. Optički uređaji prenosa i prijema

Optički primopredajnički uređaji sastoje se od DFB (*Distributed Feedback Laser*) lasera i F- laserske diode. DFB laseri veoma su pogodni za OLT uređaje, jer podnose visoke temperaturne opsege i ne zahtevaju hlađenje. Imaju i veliku brzinu odziva od 0,12 ns, što je vreme podizanja i padanja (20-80%) laserskog zraka. FP laseri koriste se najviše sa ONU strane primopredajnika da bi se smanjila cena sistema.

3.3. Bidirekcionalno optičko podsklapanje (BOSA)

Tehnologija koja se koristi za razvijanje bidirekcionalnog optičkog podsklopa (BOSA – *Bi-Directional Optical Sub Assembly*) bazirana je na *bulk-optic* tehnologiji sklapanja. Ova tehnologija suočava se sa ozbiljnom konkurencijom od strane novih naprednih tehnologija koje su zasnovane na visoko integrisanim planarnim svetlosno-talasnim kolima (PLC) i automatizovanom pasivnom sklopu.

3.4. Bulk-optic tehnologija

Konvencionalni dvotipni-TO-CAN BOSA sačinjen je od LD CAN, PD CAN i WDM filtera. U ovoj konfiguraciji, LD i PD aktivno se poravnavaju sa SMF-om, nezavisno.

3.5. Planarna svetlosno-talaska kola (PLC)

Planarna svetlosno-talaska kola prave se istom tehnologijom procesiranja kojom se prave IC-ovi. Kod PLC

pristupa, optički signali prolaze kroz talasovode čipa. Postoje dva konkurentna tipa PLC pristupa za FTTH tržište: eksterni filter PLC-ova i ugrađeni filter PLC-ova.

3.6. Moduli PON primopredajnika

Iz EPON/GPON kompatibilnosti sistema i pogleda na ponovno korišćenje, primopredajnički moduli mogu se podeliti na blokove BOSA, električni podsklop (ESA), kućište i kontrolu temperature. BOSA moduli moraju zadovoljiti optičku snagu predajnika, osetljivost prijemnika, itd. Razmatranja sa ESA strane uključuju *burst* mod upravljačke performanse zavisnog fizičkog medija (PMD), prihvatljivu sistemsku kontrolu signala, veliku osetljivost prijemnika i dinamički opseg snage prijemnika. ONU primopredajnički modul sastoji se od kućišta, LC ili SC konektora i štampanog kola, OSA i upravljačkog kola. OSA je na bazi mikro optike i sadrži optički *band-pass* filter, foto-detektor (PD), električno trans-impedansno pojačavačko (TIA) integralno kolo na strani prijemnika, FP lasersku diodu i monitor PD na strani predajnika. WDM (*Wavelength-Division Multiplexing*) multipleksira predajnik i prijemnik na jedno vlakno.

4. ELEKTRONIKA SA BURST MODOM

PON sistemi zahtevaju specijalni prenos i prijem *burst* moda kao jedan od ključnih tehnologija za *upstream* pravac. Ključne komponente takvog PON sistema su predajnik sa *burst* modom unutar ONU-a, koji se nalazi na pretplatničkom kraju i prijemnici, koji se realizuju upotrebom IC-ova.

4.1. Konvencionalni podaci naspram podataka *burst* moda

Prilikom slanja podataka uz pomoć *burst* moda odnos logičkih nula i jedinica i intervala između logičkih promena nije ograničen. Kod konvencionalnog, kontinualnog slanja odnos logičkih jedinica i nula je balansiran i interval između bilo koja dva logička simbola je strogo ograničen. Konvencionalni predajnici i prijemnici jedino su pogodni za kontinualni prenos podataka, dok se koristi naizmenično spajanje.

4.2. Predajnik koji koristi *burst* mod (BM Tx)

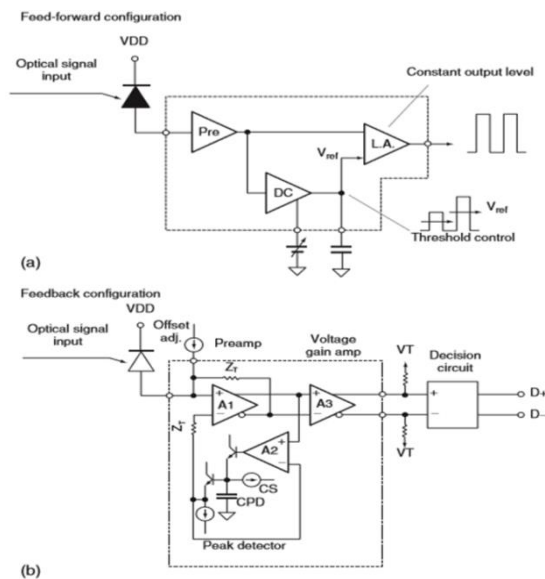
Predajnik BM-Tx kod ONU-a koristi lasersku diodu koja se nalazi u TOSA ili BOSA paketu i lasersku upravljačku diodu integralnog kola (LDD). Upravljačko integralno kolo mora da ima malu potrošnju snage pošto se mora pokrenuti uz pomoć rezervne baterije tokom nestanka struje.

4.3. Prijemnik koji koristi *burst* mod (BM Rx)

Prijemnici koji koriste *burst* mod mogu se podeliti na dve kategorije prema njihovim strukturama: "*feedforward*" konfiguracija i "*feedback*" konfiguracija.

U *feedforward* implementaciji, može se koristiti konvencionalno jednosmerno spojeni predpojačavač. Prilmljeni signal prvo se pojačava, zatim deli na dve grane. Prva grana izlaza iz predpojačavača jednosmerno se spaja na diferencijalni pojačavač. Druga grana se *feedforward*-uje na kolo detektora vrha kako bi se ekstrahovala informacija amplitude prilmljenih paketa. U *feedback* konfiguraciji, vraćanje signala amplitude vrši se

u predpojačavačkoj fazi. Kako bi se formirala povratna sprega koristi se diferencijalni ulazno/izlazni transimpedansni pojačavač sa kolom detektora vrha. Na slici 3. prikazane su implementacije optičkih prijemnika.



Slika 3. „Feedforward” i „feedback” implementacije optičkih prijemnika koji koriste mod praska [5]

5. PRIMOPREDAJNIČKI DIGITALNO - DIJAGNOSTIČKI MONITORING

Primopredajnička digitalna dijagnostika nadgleda temperaturu modula, snagu prijemnika, prednaponsku struju predajnika i snagu predajnika. Izvan ovih parametara modula, postoji potreba da se nadgledaju greške u linku vlakna.

5.1. Nadgledanje modulskih parametara

Radne i dijagnostičke informacije nadgledaju se i prijavljuju digitalnim dijagnostičkim primopredajničkim kontrolerom (DDTC – *Digital Diagnostics Transceiver Controller*). Izlaz fizičke vrednosti svakog parametra je analogni napon ili struja od transimpedansnog pojačavača, laserskog upravljača ili post-pojačavača.

5.2. Nadgledanje temperature

Zahteva se precizno nadgledanje apsolutnih temperatura u okolinama bez aktivnih temperaturno-kontrolnih šema, sa velikim dinamičkim opsegom i boljom sveukupnom varijacijom od 3°C. Koji god senzori da se odaberu, odlučujuć faktor su preciznost, stabilnost i ponovljivost opaženih rezultata.

5.3. Nadgledanje snage prijemnika

Zahteva se da preciznost nadgledanja snage prijemnika bude unutar $\pm 3\text{dB}$. Najvažniji faktori, pored brojnih koji utiču na preciznost nadgledanja optičke snage prijemnika, su varijacija reagovanja fotodetektora u odnosu na temperaturu, napon i starenje.

5.4. Nadgledanje prednaponske struje predajnika

Zahtev za nadgledanje prednaponske struje predajnika je da preciznost bude bolja od $\pm 10\%$. Ovo je uobičajeno preciznije od temperaturnog nadgledanja i nadgledanja snage prijemnika, zato što ne pokriva toliko širok dinamičan opseg.

5.5. Nadgledanje snage predajnika

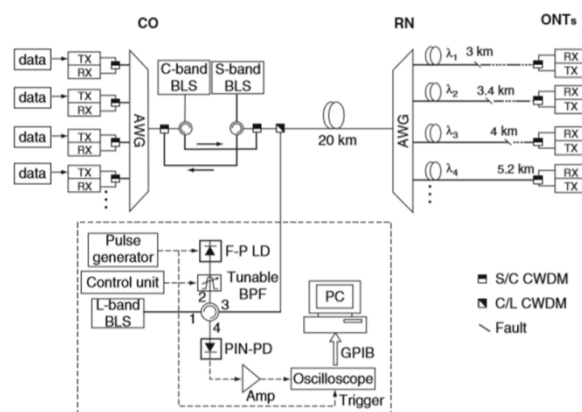
Zahtev za nadgledanje snage predajnika je $\pm 1\text{dB}$. Napon nadgledane snage predajnika uobičajeno je u opsegu od nekoliko stotina milivolti do nekoliko volti.

5.6. Nadgledanje OTDR vlakna

Nadgledanje vlakna obavlja se merama OTDR-a na strani OLT-a na nametljiv način. Podaci OLT OTDR-a trpe smanjenje osetljivosti zbog velikih gubitaka splitovanja i dvosmislenosti zbog superpozicije tragova OTDR-a koji potiču od različitih grana vlakana.

5.7. Principi rada OTDR-a

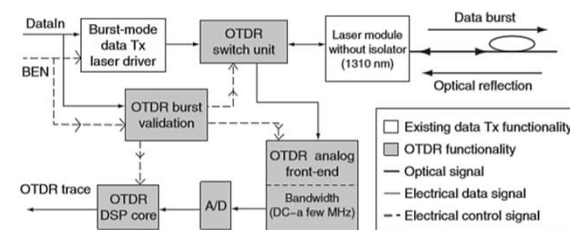
Prikazan je OTDR sistem u skladu sa tipičnom WDM-PON arhitekturom koja je bazirana na DFB LD-ovima ili na FP LD-ovima sa zaključanim talasnim dužinama (primer dat na slici 4.). Sastoji od širokopojasnog izvora svetlosti (BLS – *Broadband Light Source*), podesivog filtera za propusni opseg (BPF – *Broadband Bandpass Filter*), F-P LD-a, optičkog cirkulatora, OTDR prijemnika i drugih elektronskih delova.



Slika 4. Primer podesivog OTDR-a za „in-service” nadgledanje greške vlakna u WDM-PON-u [6]

5.8. OTDR koji je ugrađen u ONU

Integriranjem OTDR funkcionalnosti u optičke primopredajničke module, ugrađeni OTDR postaje integralni deo mreže kome se može pristupiti sistemom upravljanja PON-a kako bi se nadgledao i testirao kvalitet fizičkog sloja. Blok dijagram ONU predajnika koji koristi *burst* mod (BM-Tx) sa ugrađenom neometajućom funkcionalnošću OTDR-a, sadrži saobraćaj podataka ulaza (DataIn), *burst* signala kome je omogućena transmisija (BEN – *Burst Enable*) i trag izlaza OTDR-a što se vidi na slici 6. OTDR metod može dati dobru preciznost za lociranje naglih promena u slabljenju kao klasični impulsni odziv povratnog rasipanja.



Slika 6. Ugrađeni OTDR na ONU predajnik koji koristi *burst* mod. OTDR analogni prednji propusni opseg je ograničen na 5 MHz [7]

6. PROCENA SISTEMA PRIMOPREDAJNIKA PON-a

Testiranja PON primopredajničkih sistema moraju uzeti u obzir prirodu *burst* podataka i disparitet u daljinama od svakog ONU-a do OLT-a. Tokom procesa OLT karakterizacije prijemne osetljivosti, amplituda signala i faza sata mogu se razlikovati od paketa do paketa. Stoga se uzastopni paketi moraju uzeti u obzir sa velikom razlikom u optičkoj snazi i poravnanju faze sata kako bi se uhvatio najgori mogući scenario. Osetljivost OLT-a može se proceniti u tri scenarija: merenje kontinualnog moda, merenje jednog *burst* moda ONU-a i merenje dualnog *burst* moda ONU-a. Najvažniji parametri u proceni prijemnika *burst* moda su osetljivost, dinamički opseg i vreme reagovanja. Dinamički opseg sistema definisan je kao odnos najjačih i najslabijih optičkih signala koji mogu da se prime OLT prijemnikom koji koristi *burst* mod sa garantovanim specifikacijama performansi.

6.1. Procena sistema GPON prijemnika

GPON koristi implementaciju mehanizma izjednačavanja snage (PLM) kako bi se dobila specifikacija dinamičkog opsega od 21 dB OLT prijemnika. PLM dozvoljava ONU-ovima da rade u tri diskretna moda izlazne snage. PLM radi na sledeći način: OLT Rx prvo meri primljenu srednju snagu i upoređuje je sa dva praga napona. Onda odlučuje da li je dolazni optički signal previše nizak ili previše visok ili unutar opsega. Kada ONU primi poruku od OLT-a da promeni jedan mod u drugi, on postavlja svoju emitovanu snagu unutar opsega novog moda i onda nastavlja sa slanjem *upstream* podataka. Jedna prednost primenjivanja PLM-a je da se smanji zahtev dinamičkog opsega za 5-6 dB (od 21 dB do 15 dB) za OLT prijemnik. Još jedna prednost jeste da on povećava životni vek lasera i smanjuje potrošnju snage ONU-a kada radi u Modu 1 i/ili Modu 2.

6.2. EPON primopredajnici

EPON specifikacija dozvoljava naizmenično spojene OLT primopredajnike sa *burst* modom radi jednostavnosti i ekonomskih razloga. Postavke merenja *burst* moda prijemnika koji koristi dva ONU-a, češće su korišćene kako bi karakterisali EPON primopredajnike.

6.3. Uticaj analognog CATV "overlay"-a

PON primopredajnici mogu da podrže RF video „*overlay*” korišćenjem dodatne talasne dužine od 1.550 nm u *downstream*-u. Ovo ističe parametre optičke izolacije između analognih i digitalnih *downstream* talasnih dužina na ONU prijemniku i odlučuje kvalitet zahteva ONT WDM filtera.

7. ZAKLJUČAK

PON primopredajnici su jedinstveni bidirekionalni uređaji koji koriste različite talasne dužine kako bi preneli i primili signale između OLT-a i ONU-ova na jednom vlaknu. Različiti tipovi PON-a razlikuju se po bitskim brzinama *upstream* i *downstream* transmisije, dometa, odnosa deljenja i dinamike *burst* moda, koja utiče na specifikacije odgovarajućeg primopredajnika. Jedan od kritičnih problema za PON primopredajnike jeste odnos performansi i troškova koji je meren tehničkim specifikacijama i jediničnom cenom optičkih primopred-

ajnika. Glavni tehnološki izazovi u PON primopredajnicima su: (1) *upstream* tehnologije optičkog prenosa *burst* moda; (2) izlazna snaga optičkog predajnika kao i osetljivost optičkog prijemnika kako bi se zadovoljili zahtevi povećanja budžeta sistemskog linka; i (3) više brzine podataka. Iako su 1 Gbit/s PON sistemi kao što su EPON i GPON dobili na popularnosti, mnogo brži PON sistemi se zahtevaju u regijama gde mnogim biznis korisnicima trebaju linije većeg kapaciteta. Nedavno, IEEE 802.3 je započeo 802.3av radnu grupu koja aktivno razvija 10-Gbit/s EPON standarde. Ciljevi 10-G EPON radne grupe je da razviju simetrične i asimetrične 10-Gbit/s operacije linijske brzine gde će simetralna operacija raditi na 10 Gbit/s i u *downstream* i u *upstream* pravcu.

8. LITERATURA

- [1] G. Kramer, „What is Next for Ethernet PON?” The 5th International Conference on Optical Internet (COIN 2006); MoB2-1.
- [2] W. Huang, X. Li, C. Xu, X. Hong, C. Xu, and W. Liang, „Optical transceivers for fiber-to-the-premises applications: System requirements and enabling technologies,” J. Lightwave Technol. vol.25, pp11-27, 2007.
- [3] X.Z. Qiu, P. Ossieur, J. Bauwelinck, Y.C. Yi, D. Verhulst, J. Vandewege, B. De Vos, and P. Solina, „Development of G-PON upstream physical media dependent prototypes,” J. Lightwave Technol., vol.22, pp2498-2508, Nov., 2004.
- [4] Y. Chang and G. Noh, „1.25 Gb/s uplink burst-mode transmissions: System requirements and optical diagnostic challenges of EPON physical-layer chipset for enabling broadband optical Ethernet access networks,” OFC/NFOEC'06 Paper JThB84.
- [5] C.A. Eldering, „Theoretical determination of sensitivity penalty of burst-mode fiber optic receiver,” J. Lightwave Technol., vol.11, pp2145-2149, Dec., 1993.
- [6] J. Park, J. Baik, and C. Lee, „Fault-detection technique in a WDM-PON,” Opt. Exp., vol.15, pp1461-1466, 2007.
- [7] W. Chen, B.D. Mulder, J. Vandewege, X.Z. Qiu, J. Bauwelinck, and B. Baekelandt, „A novel technique for low-cost embedded non-intrusive fiber monitoring of P2MP optical access networks,” OFC'07, Paper OThE4.

Kratka biografija:

Marija Avramović rođena je u Smederevu 1984. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Telekomunikacije odbranila je 2019. god.

kontakt: avramovic.marija@gmail.com



Željen Trpovski rođen je u Rijeci 1957. godine. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 1998. god. Oblast interesovanja su telekomunikacije i obrada signala.



Dejan Nemeč rođen je 1972. god. Diplomirao, specijalizirao i magistrirao je na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva. Oblast interesovanja su telekomunikacije i obrada signala.