

ARHITEKTURA PSPON PRISTUPNIH OPTIČKIH MREŽA

Mr Andrija Kunarac¹, Dr Petar Matavulj², Dr Jovan Radunović²

¹Telekom Srbija a.d., ²Elektrotehnički fakultet Beograd

1. Uvod

Prva FTTH pristupna mreža instalirana je na Floridi 1986. godine. Premda je tehnološki to bila najsavršenija mreža, telekomunikacioni operateri su u to vreme odustali od daljne instalacije FTTH mreža zbog nekoliko razloga. Prvi razlog je što regulacioni propisi u to vreme nisu postojali, a i tržište nije bilo pripremljeno za korišćenje takvih širokopropusnih mreža. Cena servisa koje je nudila takva mreža bila je višestruko veća od cene istih koje nude klasične pristupne mreže primarno zbog jako skupih optičkih komponentata. Čak i danas, iako cena optičkih komponenti stalno pada, ovi razlozi nisu prevaziđeni, mada se stanje iz dana u dan menja.

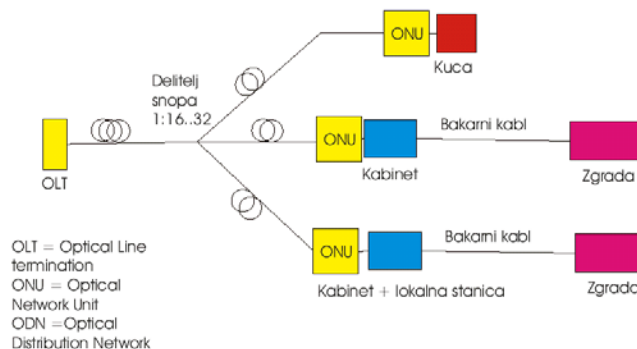
Jasno je bilo već tada da će cena biti glavi ograničavajući faktor primene FTTH PTP (*Point to Point*) mreže pa se prešlo na drugačiju arhitekturu koja bi omogućila PTM (*Point to Multipoint*) pristup. Time bi se sa povećanjem broja korisnika umanjila cena same mreže i mogla ponuditi manja cena servisa. Danas, HFC mreže imaju PTM arhitekturu sa optičkim kablovima koji se sve više približavaju krajnjem korisniku (FTTx) i predstavljaju prelazno rešenja ka FTTH mrežama.

Da bi PTM pristupna mreža bila efikasna, lako održavana i imala početnu nisku cenu neophodno je da u sebi sadrži isključivo pasivnu arhitekturu. Prenos signala ka korisniku može da se obavlja na dva načina, te se na osnovu toga sve PON mreže dele u dve grupe: PSPON (*Power-Splitting PON* – PON sa delenjem optičkog snopa) i WDM PON (*Wavelength Routing PON* – PON sa multipleksiranjem/rutiranjem signala po talasnim dužinama). Obzirom da PSPON mreže postoje već instalirane u pojedinim azijskim zemljama i u SAD kao i da su WDM PON mreže još uvek u fazi razvoja i istraživanja, autori su se odlučili da prikažu arhitekturu PSPON mreža.

2. Arhitektura PSPON

Najjednostavnije PSPON mreže poseduju samo jedan delitelj snopa, koji se postavlja na podjednakoj udaljenosti od ONU-a u izlaznom delu ODN-a (na kraju transmisionog dela ODN-a), kako bi se minimizirala dužina optičkih vlakana koja se koriste u mreži. Drugi princip strukturiranja PON mreže jeste korišćenje više delitelja snopa. U ovom slučaju se povećava dužina korišćenih optičkih vlakana (kao i cena – više vlakana, više pasivnih optičkih komponenti) ali se omogućava fleksibilno preuređenje mreže promenom konekcija između delitelja snopa i ONU-a. To može povećati performanse mreže kad dođe do prezasićenja nekog ONU ili više njih vezanih na isti delitelj snopa. Takođe je moguće koristiti kaskadno povezane delitelje snopa (prvi delitelj na kraju transmisionog dela mreže a ostali iza njega u

distribucionom delu mreže), čime se može povećati ukupan broj ONU-a ali i povećati uticaji šuma i interferencionih efekata. Ovakav vid fleksibilne konfiguracije je naročito pogodan za buduću nadogradnju mreže, jer početna viša cena instalacije u budućnosti uz male troškove podmiruje povećane zahteve korisnika. Npr. određeni broj korisnika izrazi želju za većim brzinama konekcije na pristupnoj mreži. To uslovljava zasićenje delitelja snopa na kom se nalazi ONU za koji su vezani ti korisnici. Problem se prevazilazi dodavanjem novog delitelja snopa ili više njih koji mogu biti sad povezani i na dodatno rezervno optičko vlakno (*dark fiber*), koje je u transmisionom delu ODN-a bilo izvedeno kad je prvi put implementirana PSPON mreža.



Slika 1: Pristupna mreža bazirana na PON

Maksimalni broj delitelja snopa zavisi od proračuna gubitaka optičkog snopa u PSPON mreži i od korišćenog PON protokola. Što se više deli snop to se smanjuje kapacitet linka koji se nudi pojedinim korisnicima kao i domet linka, jer se smanjuje optička snaga koja se prenosi duž njega. Tu se pravi kompromis sa postignutom niskom cenom linka po korisniku, jer se uz isti transmisioni fiber i blago uvećanje broja jeftinih pasivnih optičkih komponentata i ONU jedinica naglo povećava broj korisnika koji se može priključiti na mrežu. Izračunavanja pokazuju da se ekonomski optimum postiže kad na ONU jedinice stiže 16 do 32 puta manja optička snaga nego što je na transmisionoj linije tj. kad je OSR (*Optical Split Ratio* – multiplicirano slabljenje na deliteljima snopa duž linka) između 16 i 32. Ovo se odnosi na simetrični PSPON kapaciteta 155Mb/s.

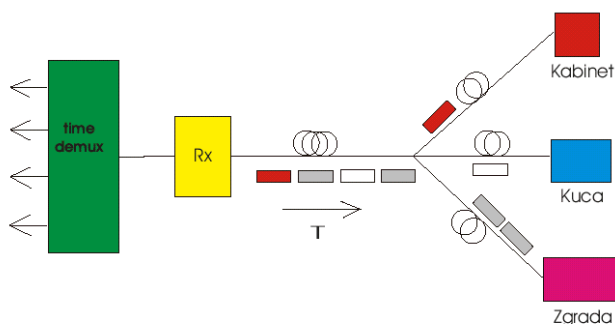
3. Način odvijanja saobraćaja

Kao što je rečeno saobraćaj ka korisniku na PSPON-u je multipleksiran i poslat svim ONU-ima preko ODN-a. Multipleksiranje se može izvršiti u električnom ili optičkom domenu. U električnom domenu se koristi TDM, pa ONU-i moraju obaviti vremensko demultipleksiranje i izvući korisan

signal. Za saobraćaj od korisnika u PSPON mrežama se koriste tehnike višestrukog pristupa. U upotrebi su: TDMA (*Time-Division Multiple Access*), SCMA (*Subcarrier Multiple Access*) i WDMA (*Wavelength-Division Multiple Access*).

TDMA

U TDMA ONU-i baferuju saobraćaj od korisnika i šalju ga kao burst signal. Pošto OLT može da primi samo jedan burst signal u isto vreme, svi burstovi od raznih ONU-a moraju biti uređeni u vremenu. Stoga je u OLT-u neophodan specijalan prijemnik koji radi u burst modu (BMR – *Burst Mode Receiver*). Takođe se zahteva poseban vrlo kratki signal - zaglavlje (*overhead*), koji prethodi svakom burst signalu. On se sastoji iz tri dela: kratkog reset perioda – reset signal (*guard time*) koji omogućava BMR-u da se resetuje za prijem sledećeg bursta i da poništi greške koje su posledice loše vremenske korelacije, preambule koja sadrži fiksni kod svake ONU jedinice i delimitatora koji identifikuje nailazak burst signala. Cilj je minimizirati trajanje zaglavlja. Obično zaglavlje signala iznosi oko 5% od burst signala. (slika 2)



Slika 2: Uprošćena šema funkcionisanja TDMA

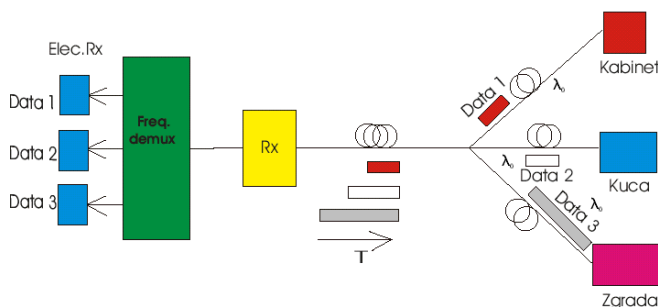
Konačna brzina svetlosti je takođe faktor koji igra ulogu u prenosu signala od korisnika. Da bi se OLT zaštitio od kolizije signala od svakog ONU-a se zahteva da pre slanja svog burst signala čeka određeno vreme. To vreme zavisi od udaljenosti između OLT-a i ONU-a. Kako je ona različita neophodno je da OLT inicira proces merenja kružnog kašnjenja signala što se naziva sinhronizaciono podešavanje (*ranging*). Kašnjenje je različito za različite ONU pa da se ne bi koristilo za sve ONU isto maksimalno kašnjenje koje važi za najudaljeniju ONU, razvijaju se odgovarajuće metode za varijaciju perioda sinhronizacionog podešavanja i definisanje protokola sinhronizacionog podešavanja kako bi se postigao maksimalan propusni opseg sistema. Sinhronizaciono podešavanje podrazumeva sinhronizaciju trajanja pojedinih delova zaglavlja, posebno reset signala, sa periodom sinhronizacionog podešavanja.

Za pravilno funkcionisanje TDMA PON mreža neophodan je i protokol za kontrolu pristupa nazvan MAC (*Medium Access Control Protocol*). MAC omogućava ONU-ima da šalju saobraćaj od korisnika pravilno i efikasno i predstavlja pandam Eternetu u LAN mrežama. MAC funkcioniše na principu master-slejev. Master je OLT, a ONU-i su slejvovi. Mehanizam je sledeći: MAC algoritam je lociran u OLT-u, saobraćaj se šalje od ONU-a ka OLT-u i OLT daje dozvolu ONU-ima da proslede signal. MAC definiše prioritet, tj. koja ONU prva šalje signal što zavisi od

kvaliteta servisa koji su ponudeni na mreži. Postoje dva osnovna tipa MAC protokola: statički i dinamički. Statički određuje propusni opseg ONU-ima manuelno prema ugovoru koji operater ima sa pojedinim korisnikom. Ovaj MAC mora da obezbedi garantovan propusni opseg i stalan servis definisane brzine. Dinamički MAC dodeljuje propusni opseg adaptivno u zavisnosti kako se menja količina podataka koju šalju pojedini ONU-i. Ovakav protokol može povećati efikasnost mreže i dobar je za mreže kod kojih nije veliki trenutni broj korisnika. Generalno MAC algoritam mora garantovati korisnicima dobar kvalitet servisa i istovremeno zadovoljiti operatera sa maksimalnom efikasnošću mreže.

SCMA

U SCMA ONU-i istovremeno simultano šalju signal od korisnika, ali na različitim njima dodeljenim RF nosiocima. Svaki ONU moduliše svoj RF nosilac podacima koje šalje u električnom domenu, a potom takav signal moduliše optički izvor. OLT prima sve ONU-ima poslate signale konvertuje ih u električni signal, a potom vrši demultipleksiranje u električnom domenu. Neophodno je prefiltriranje u električnom domenu i u ONU-ima i u OLT-u kako bi se minimiziralo preslušavanje, kao i adekvatna linearizacija da se ne bi generisali harmonici višeg reda i povećali interferenciju. Za to se koriste FSK (*Frequency Shift Keying*) tehnike.



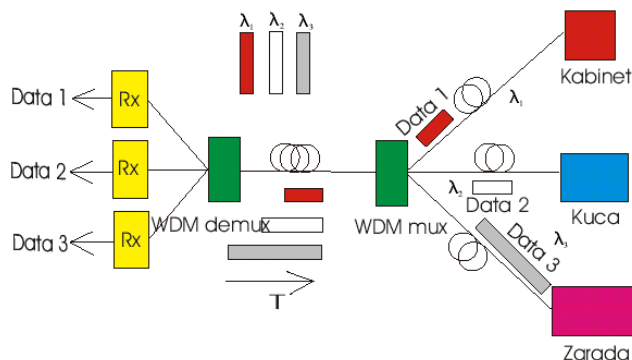
Slika 3: Uprošćena šema funkcionisanja SCMA

Glavna prednosti SCMA u odnosu na TDMA je veća brzina prenosa jer je manje kašnjenje – nema baferovanja i nepostoji sinhronizaciono podešavanje, pa su varijacije u kašnjenju signala od korisnika izbegnute. Sem toga, ONU-i mogu da rade sa sopstvenom brzinom prenosa podataka koja ne mora biti jednaka brzini na drugim ONU-ima. Bez obzira na ove prednosti SCMA još uvek nije korišćena na nekom komercijalnom PSPON sistemu. Razlog za to je što trenutno zahtevane brzine prenosa podataka mogu biti ostvarene sa TDMA, koji koristi jeftiniju digitalnu elektroniku koja se može i integrisati, dok je za SCMA neophodna dodatna RF elektronika koja povećava cenu implementacije.

WDMA

WDMA može biti korišćen u PSPON mrežama na isti način kao i za DWDM prenos ka korisniku. ONU-i šalju signale na definisanim talasnim dužinama, a potom se svi signali različite talasne dužine kombinuju u ODN-u, demultipleksiraju u OLT-u i šalju na odgovarajuće

prijemnike. Ovo je jedini prenos od korisnika koji je potpuno inverzan prenosu podataka ka korisniku, pa je zato i prilično jednostavan. Međutim, neophodna je kontrola talasne dužine koju emituju ONU-i, što značajno povećava cenu ovakvih sistema.



Slika 4: Uprošćena šema funkcionisanja WDMA

Važan aspekt u PSPON mrežama je privatnost i sigurnost mreže. Privatnost podrazumeva otpornost mreže da signali koji su namenjeni jednom korisniku ne budu primljeni od strane drugog korisnika na mreži. Iz tog razloga je razvijen drugi nivo zaštite kroz kriptovanje signala ka korisniku označen kao "talasanje" ("churning"). On je definisan standardom ITU-T G.983.1 i predstavlja relativno blago kriptovanje signala. Sigurnost podrazumeva otpornost mreže na hakerske upade sa strane od neautorizovanih korisnika. Ona je obezbeđena uvođenjem lozinki kroz verifikacioni protokol, takođe definisan u ITU-T G.983.1 standardu, i podrazumeva da OLT zna identifikacioni broj i lozinku svakog ONU-a na početku inicijalizacije. Poređenja pokazuju da PON mreže obezbeđuju dovoljno dobru privatnost i sigurnost kakva postoji u drugim telekomunikacionim mrežama.

Neposredno posle prve implementacije PON mreža počela je debata da li je bolja TDM/TDMA PSPON ili PTP arhitektura. Zato što nema deljenja snopa, PTP link poseduje višestruko veći propusni opseg, lakše obezbeđivanje zahtevanih servisa pojedinim korisnicima, manju fluktuaciju u saobraćaju (kad se poredi sa TDMA PON-om), lakšu implementaciju i lako lociranje prekida veze. Osim toga laka je implementacija i Ethernet hardvera u PTP link, ako razvoj mreža krene u tom pravcu, a veća je i privatnost i sigurnost korisnika. Kad je reč o budućoj nadgradnji PTP opet ima prednost jer će PON mnogo pre iscrpiti raspoloživi propusni opseg po korisniku. Međutim PON ima mnogo bolju iskoristljivost optičkih vlakana, manji broj OLT-a koji zahtevaju posebno održavanje kao i jeftiniji ODN posebno za duže veze (iako ima veći broj pasivnih optičkih komponenata poseduje mnogo manju dužinu optičkih vlakana). PON takođe poseduje osobinu lakše nadgradnje nad postojećim klasičnim pristupnim mrežama i prirodija je arhitektura za emitovanje postojećih širokopojsnih servisa. Nepostoji pravi odgovor koja arhitektura je bolja. Ako je parametar poređenja cena priključka po korisniku onda je PON bolja arhitektura (pristupna mreža za stanovništvo), a ako je parametar cena po jediničnom propusnom opsegu onda je PTP bolja arhitektura (pristupna mreža za srednje i veće poslovne objekte).

4. Zaključak

Kao što je rečeno i na početku budućnost pripada FTTC, tj. PON i HFC mrežama. HFC mreže imaju početnu prednost jer lakom nadogradnjom kablovskih pristupnih mreža brzo mogu biti implementirane, ali PON arhitekture, a posebno PSPON, imaju osobine da kasnije (nakon implementacije) bez velikih rekonfiguracija obezbede ubedljivo najveći propusni opseg i postanu arhitekture koje će moći odgovoriti na sve zahteve korisnika u dužem vremenskom periodu (dužem od 10 godina). To je i glavni razlog zašto vodeće svetske telekomunikacione kompanije traže najpodesniji scenario nadgradnje kojim će obezbediti korisnicima kombinovani telefonski servis, interaktivne uskopojasne servise i digitalni video servis. Postavlja se samo pitanje gde preći iz optičkog u električni prenos, tj. da li koristiti FTTC ili FTTB ili pak FTTH. Sigurno je samo da je FTTH na kraju neminovnost.

Literatura

- [1] [KL, 02] Kaminow, I. and Li, T.: *Optical Fiber Telecommunications IVB: Systems and Imparments*, Academic Press, San Diego, 2002.
- [2] [RS, 98] Ramaswami, R. and Sivarajan, K.: *Optical Networks – A Practical Perspective*, Morgan Kaufman Publisher, Inc., San Francisco, 1998.
- [3] [FJ, 00] Franc, J. and Jain, V.: *Optical Communications – Components and Systems*, Narosa Publishing House, New Delhi, 2000.
- [4] [Hec, 02] Hecht, J.: *Understanding Fiber Optics*, fourth edition, Prentice-Hall International Limited, London, 2002.
- [5] ECOC – IOOC 2003, *Short course notes - PON*

Abstract: This article presents architecture of PSPON access networks and has theoretical value. PSPON networks are the future of access networks and the article points up it.

ARCHITECTURE OF PSPON OPTICAL ACCESS NETWORK, Andrija Kunarac, Petar Matavulj, Jovan Radunović