

ELASTIČNE OPTIČKE MREŽE

Suzana Miladić¹, Goran Marković²

¹Univerzitet u Istočnom Sarajevu - Saobraćajni fakultet, miladics@hotmail.com

²Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, g.markovic@sf.bg.ac.rs

Sadržaj: *Elastične optičke mreže predstavljaju obećavajuće tehnološko rešenje za efikasno korišćenje optičkih mrežnih resursa. Njihove adaptibilne sposobnosti i mogućnost fleksibilnog održavanja različitih binarnih protoka prema specifičnim zahtevima korisnika predstavljaju ključne prednosti koje ih čine izuzetno atraktivnom solucijom za implementaciju od strane operatora mreža. U radu su predstavljeni aktuelni aspekti tehnologije elastičnih optičkih mreža kao potencijalnog rešenja optičkih mreža naredne generacije. Počevši od koncepta i arhitekture, istražuje se rutiranje i alokacija propusnog opsega, a zatim se poredi agregacija saobraćaja u klasičnim WDM mrežama i elastičnim optičkim mrežama. Na kraju su predstavljena otvorena pitanja i izazovi koji se postavljaju pred ovu vrstu fleksibilnog umrežavanja i tehnologije za buduće velike brzine prenosa.*

Ključne reči: *elastične optičke mreže, rutiranje i alokacija propusnog opsega, agregacija saobraćaja*

1. Uvod

Poslednjih nekoliko godina evidentan je eksponencijalni porast obima saobraćaja u okosnicama telekomunikacionih mreža, prvenstveno zbog Interneta i novih IP servisa. Tendencija rasta će se i dalje nastaviti zbog zahteva saobraćaja, koji se stalno povećavaju, pa je za očekivati da će se u bliskoj budućnosti dostići granica fizičkog kapaciteta optičkog vlakna.

Postojeći WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) sistemi već duže vreme koriste i do 80 kanala. Poslednjih godina, pojavili su se sistemi koji podržavaju prošireni spektar talasnih dužina, koji obuhvata do 192 talasne dužine. Talasne dužine koje se koriste u WDM sistemima su standardizovane ITU-T preporukama, koje definišu tzv. “rešetke” (*grid*), a podrazumevaju skupove uniformno raspoređenih talasnih dužina pogodnih za specifične primene. Za tehnike gustog multipleksiranja (*DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing*) definisano je nekoliko skupova talasnih dužina. Koriste se C-opseg (1528-1561 nm) i L-opseg (1561-1620 nm), a rastojanja između talasnih dužina su manja od 1 nm. Ovakvi komercijalno dostupni DWDM sistemi koji se koriste u okosnicama mreža omogućavaju bitski protok od 10 Gb/s ili 40 Gb/s po kanalu (talasnoj dužini), čime je omogućena brzina prenosa signala čiji red veličine dostiže ili prevazilazi 1 Tb/s. Međutim, zbog naglo rastućeg saobraćaja i zahteva koji se postavljaju pred buduće transportne mreže, u bliskoj budućnosti neće biti dovoljno ovo što nude

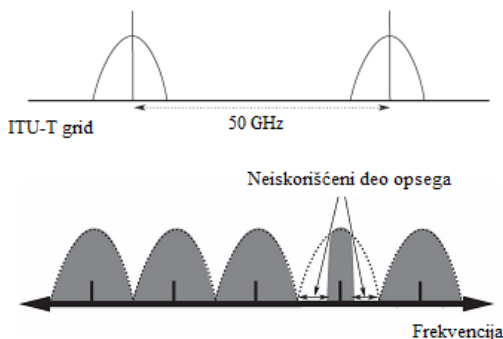
postojeći optički komunikacioni sistemi, obzirom da su veliki svetski mrežni operatori od nedavno već počeli sa implementacijom opreme za protoke od 100 Gb/s.

U radu su prikazani osnovni aspekti i prednosti tehnologije elastičnih optičkih mreža (*EON, Elastic Optical Networks*), kao potencijalnog rešenja za fleksibilno korišćenje resursa u mrežama naredne generacije. Opisan je koncept i arhitektura EON mreža, predstavljen problem rutiranja i alokacije optičkog propusnog opsega uz komparaciju agregacije saobraćaja kod klasičnih WDM i EON mreža. Razmatrana su i neka otvorena pitanja i izazovi u dizajnu i kontroli ovih mreža.

2. Koncept i arhitektura elastičnih optičkih mreža

Pošto trenutna WDM tehnologija neće biti u mogućnosti da podrži buduće saobraćajne zahteve, elastične optičke mreže smatraju se jednim od potencijalnih rešenja za dizajn optičkih mreža naredne generacije, koje bi mogle da zadovolje stalno rastuće zahteve koje diktiraju savremeni komunikacioni servisi. To bi se postiglo uvođenjem elastičnosti u optički domen, fleksibilnom alokacijom optičkog propusnog opsega (opseg talasnih dužina koje se simultano mogu pojačavati i prostirati kroz optičko vlakno), koja se bazira na konceptu *bandwidth on demand* (propusni opseg na zahtev) i trenutnom stanju mreže. Određeni parametri kao što su brzina prenosa, vrsta modulacije, razmak između kanala, koji su u trenutnim optičkim mrežama fiksni, u elastičnim optičkim mrežama postaju promenljivi i podesivi.

Današnji DWDM sistemi koriste fiksni razmak između kanala od 50 i 100 GHz, što neće odgovarati budućem bitskom protoku od 100 Gb/s po kanalu. Takođe, saobraćajni zahtevi su uobičajeno znatno manji od raspoloživog kapaciteta jednog puta svetlosti, pa je uspostavljanje puteva svetlosti sa malim stepenom iskorišćenosti kapaciteta neracionalno i veliki deo opsega ostaje neiskorišćen (Slika 1).



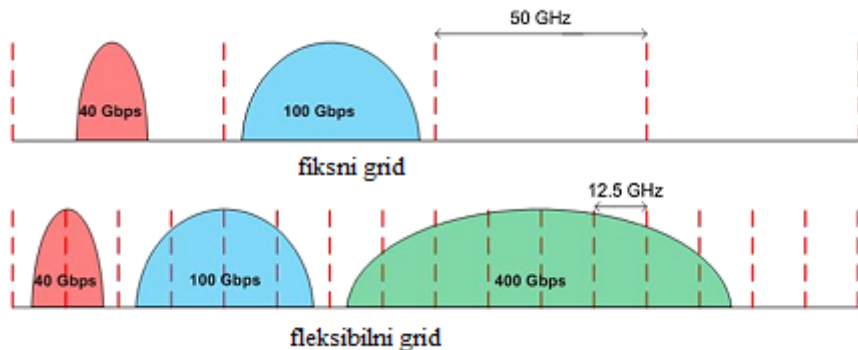
Slika 1. Alokacija propusnog opsega u klasičnim WDM optičkim mrežama

Sa porastom kapaciteta optičkog sistema za prenos, razmak između kanala multipleksiranih po talasnim dužinama mora da se smanji, da bi se bolje iskoristio ograničeni propusni opseg. Zbog toga je ITU-T preporukom G.694.1 [1] standardizovana fleksibilnost WDM optičkih mreža i koncept frekvencijskih slotova (*FS, Frequency Slots*), sa minimalnim razmakom između kanala od 12.5 GHz. Dakle, frekvencijski slot od 12.5 GHz podrazumeva opseg učestanosti koji može da zauzme optički signal. Na taj način, elastična optička mreža omogućava da se propusni opseg dodeli putevima svetlosti

u skladu sa saobraćajnim zahtevima. Ukupan raspoloživi opseg deli se na frekvencijske slotove, a svakoj konekciji dodeljuje se različit broj slotova. Prema tome, EON ili tzv. „flex-grid” optičke mreže smatraju se adekvatnom zamenom za trenutne DWDM mreže i pošto se prihvataju kao optičke transportne mreže naredne generacije, brojna istraživanja se baziraju na razvoju njihove arhitekture, mehanizmu alokacije propusnog opsega, načinima povećanja informacionog kapaciteta, razvoju nove kontrolne ravni i budućim izazovima [2-6].

Uvođenjem elastičnosti u optički domen značajno se može uticati na smanjenje troškova i poboljšanje korišćenja resursa mreže, efikasnom i skalabilnom upotrebom spektralnih resursa. Termin “elastična” mreža odnosi se na sledeće aspekte:

- optički propusni opseg se fleksibilno deli u skladu sa zahtevima,
- uspostavljanje elastičnih optičkih puteva (*EOP, Elastic Optical Paths*), odnosno puteva sa promenljivim protokom (Slika 2).

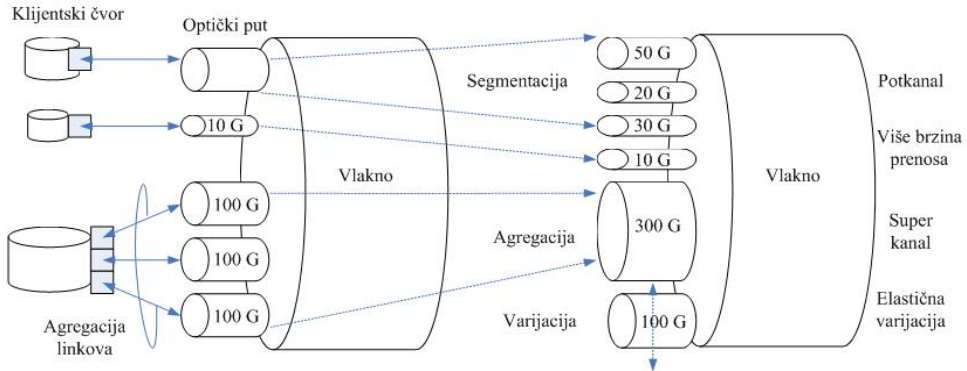


Slika 2. Alokacija opsega u "flex-grid" optičkoj mreži [7]

Ključne karakteristike i prednosti EON mreža u odnosu na klasične WDM optičke mreže uključuju sledeće (Slika 3):

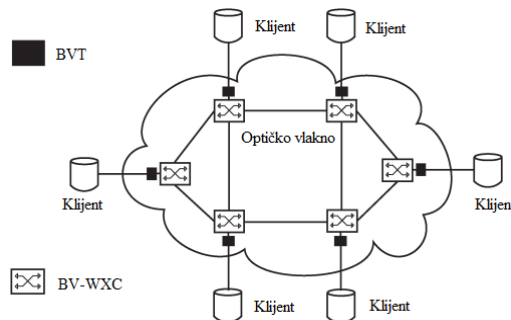
- segmentacija propusnog opsega (koncept potkanala) – u tradicionalnim WDM optičkim mrežama svakom saobraćajnom zahtevu dodeljuje se celokupan kapacitet kanala (jedne talasne dužine), bez obzira da li je taj kapacitet stvarno potreban ili ne. U elastičnim optičkim mrežama raspoloživi opseg (kapacitet) se dodeljuje na racionalniji način tj. zauzima se samo onaj deo opsega koji je neophodan za dati saobraćajni zahtev. Tako npr. ukupan raspoloživi kapacitet kanala od 100 Gb/s može se podeliti na tri potkanala od 50 Gb/s, 20 Gb/s i 30 Gb/s, kako bi se zadovoljila tri saobraćajna zahteva,
- agregacija propusnog opsega – grupisanje više optičkih puteva u jedan u optičkom domenu. Npr. 3 kanala kapaciteta po 100 Gb/s multiplesiraju se korišćenjem OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) tehnike u jedan od 300 Gb/s (tzv. super kanal),
- elastične brzine prenosa – mogućnost efikasnog podržavanja različitih brzina prenosa,
- varijabilno alociranje resursa – dinamičko povećanje i smanjenje zauzetog propusnog opsega promenom broja podnosilaca i vrste modulacije,

- spektralna efikasnost – postiže se primenom OFDM tehnike kojom se podaci prenose setom ortogonalnih nosilaca odnosno tok podataka velikog protoka deli se u nekoliko paralelnih tokova manjeg protoka, a svaki od tih redukovanih protoka se prenosi korišćenjem sopstvenog podnosioca; ortogonalnost dozvoljava spektralno preklapanje među nosiocima čime se postiže veća spektralna efikasnost,
- energetska efikasnost – ušteda u potrošnji energije može se postići isključivanjem iz rada određenog broja podnosilaca u situacijama kada je saobraćaj u mreži mali.



Slika 3. Karakteristike elastičnih optičkih mreža [5]

Osnovna prednost EON mrežnih arhitektura je u mogućnosti dodele propusnog opsega veličine OFDM podnosioca, što je racionalnije u odnosu na dodelu opsega veličine talasne dužine u tradicionalnim WDM optičkim mrežama. Arhitektura elastične optičke mreže zahteva primenu specifičnih hardverskih elemenata (Slika 4): optičkih kros-konektora promenljivog kapaciteta (*BV-WXC*, *Bandwidth Variable Wavelength Cross-Connect*) za rutiranje elastičnih puteva svetlosti, rekonfigurabilnih optičkih add/drop multipleksa (ROADM) koji se koriste za dinamičko izdvajanje ili prosleđivanje talasnih dužina bez optoelektronske konverzije u čvorovima, kao i adaptivnih optičkih predajnika i prijemnika (*BVT*, *Bandwidth Variable Transponder*), koji se softverski prilagođavaju protoku, vrsti modulacije i centralnoj frekvenciji dolaznog signala.

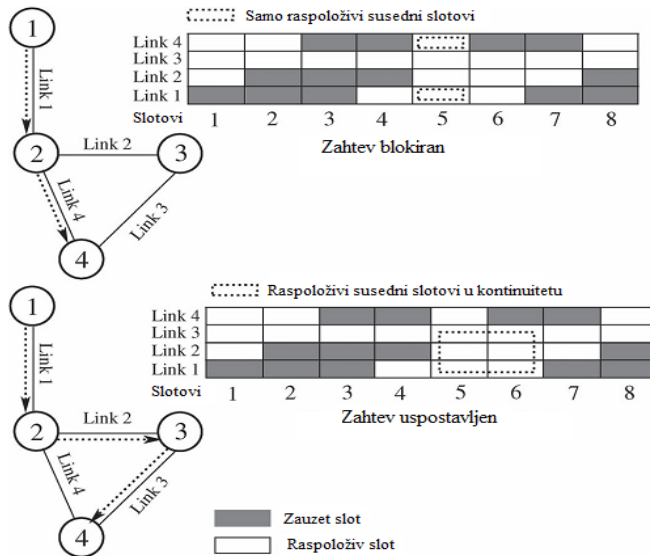


Slika 4. Arhitektura elastične optičke mreže

3. Rutiranje i alokacija propusnog opsega

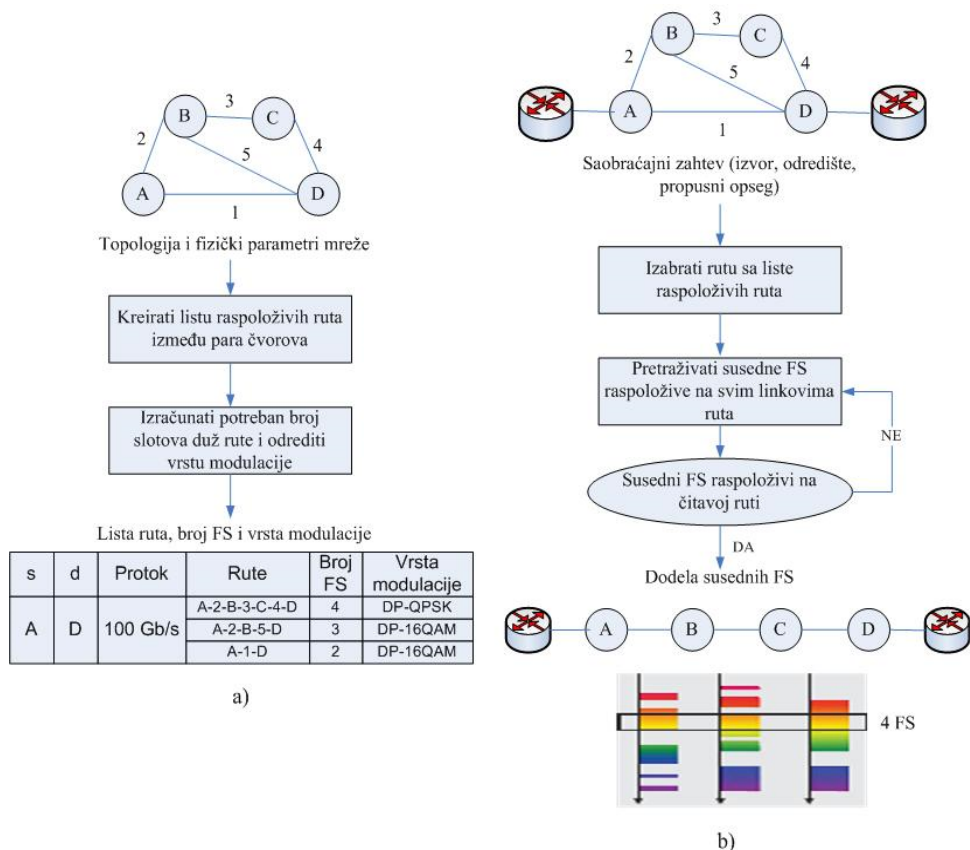
Jedan od osnovnih problema koji je potrebno rešiti u elastičnim optičkim mrežama je problem rutiranja i dodele propusnog opsega putevima svetlosti, RSA (*Routing and Spectrum Allocation*) i predstavlja generalizaciju problema RWA (*Routing and Wavelength Assignment*). Prvi deo RSA podrazumeva pronalazak raspoložive fizičke rute između para čvorova i izbor vrste modulacije, dok drugi podrazumeva dodelu odgovarajućih frekvencijskih slotova u okolini centralne učestanosti, odnosno dela opsega zahtevanom putu svetlosti. RSA problem u EON mrežama ekvivalentan je problemu RWA u tradicionalnim („*fixed grid*”) WDM optičkim mrežama. Razlika između RSA i RWA je u sposobnosti EON mrežnih arhitektura da omoguće fleksibilnu alokaciju propusnog opsega u skladu sa zahtevanim protokom. U slučaju RSA, saobraćajnim zahtevima se dodeljuje određen broj spektralnih slotova umesto talasnih dužina, kao u slučaju RWA. Dakle, problem RWA može se smatrati specijalnim slučajem RSA problema kada je broj talasnih dužina po linku jednak broju FS na svakom linku (jedna talasna dužina puta svetlosti - jedan frekvencijski slot na svim linkovima duž rute puta svetlosti) [2].

Osnovna ograničenja koja se javljaju pri rešavanju RSA problema odnose se na ograničenja susedstva i kontinuiteta frekvencijskih slotova (*spectrum contiguity and continuity constraints*). Ograničenje susedstva odnosi se na neophodnost rezervisanja susednih frekvencijskih slotova koji će biti korišćeni za uspostavljanje puta svetlosti, dok je drugo ograničenje ekvivalentno ograničenju kontinuiteta talasnih dužina kod RWA problema. Npr. ako neka konekcija zahteva t jedinica propusnog opsega, tada je tom zahtevu potrebno dodeliti t susednih slotova koji moraju biti isti na svim linkovima puta svetlosti (raspoloživost slotova na svim linkovima putanje). Na primeru prikazanom na Slici 5, ilustrovana su ograničenja susedstva i kontinuiteta frekvencijskih slotova u problemu RSA.



Slika 5. Ilustracija ograničenja susedstva i kontinuiteta FS u slučaju RSA problema

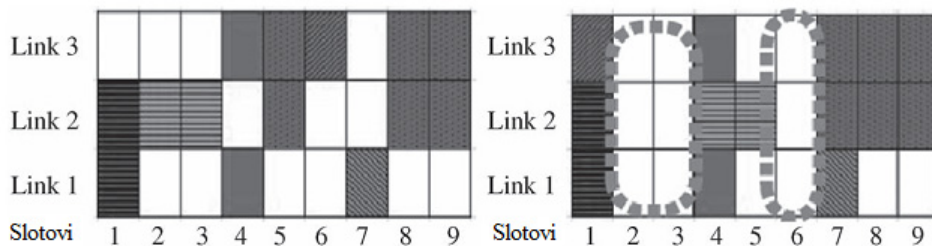
Neka je na posmatranom segmentu mreže od četiri čvora potrebno uspostaviti konekciju između izvornog čvora 1 i odredišnog čvora 4, čiji bitski protok zahteva zauzimanje dva frekvencijska slota. Na osnovu prikazane situacije, zahtev se ne može uspostaviti preko najkraće fizičke rute 1-2-4, obzirom da na linkovima 1-2 i 2-4, iako postoje dva slobodna frekvencijska slota, ograničenje kontinuiteta slotova nije ispunjeno. Međutim, ukoliko se za uspostavljanje zahtevane konekcije koristi putanja 1-2-3-4 i spektralni slotovi 5 i 6, oba ograničenja su ispunjena i zahtev može biti uspostavljen. Na Slici 6 šematski su ilustrovani potproblemi rutiranja i dodele propusnog opsega, koji objedinjeno predstavljaju problem RSA.



Slika 6. Šematski prikaz RSA problema: a) rutiranje i b) alokacija propusnog opsega

RSA problemi se kao i RWA, prema scenariju saobraćaja mogu podeliti na statičke i dinamičke. U optičkim WDM mrežama za potproblem rutiranja mogu se koristiti metode fiksnog, alternativnog i iscrpljujućeg rutiranja. Zbog ograničenja susedstva i kontinuiteta spektralnih slotova, u elastičnim optičkim mrežama razmatra se rutiranje po višestrukim rutama (*multi-path routing*) [8], posebno u slučaju dinamičkog saobraćajnog scenarija, kako bi se prevazišao problem horizontalne i vertikalne

fragmentacije opsega (Slika 7), tj. podele ukupnog opsega na delove koji se u određenim slučajevima ne mogu iskoristiti (fragменти su delovi raspoloživog propusnog opsega koji nakon dodele resursa uspostavljenim putevima svetlosti ostanu međusobno razdvojeni i neupotrebljivi za naredne zahteve). Kao posledica toga, iako individualni linkovi mogu imati dovoljno resursa da opsluže neki zahtev, zbog izolovanosti (diskontinuiteta) frekvencijskih slotova (posmatrano po pojedinim linkovima duž rute ili u frekvencijskom domenu na svakom linku) ipak može doći do blokade zahteva. U cilju prevazilaženja ovog problema razvijaju se razne tehnike defragmentacije. Procedura defragmentacije podrazumeva primenu tehnika rerutiranja i/ili realokacije frekvencijskih slotova kako bi se poboljšale performanse mreže, bez prekida saobraćaja.



Slika 7. Problem fragmentacije opsega [2]

Obzirom da RSA problem predstavlja NP-težak optimizacioni problem, on se uobičajeno rešava na sličan način kao i problem RWA, tj. razdvajanjem na dva nezavisna potproblema: problem rutiranja i problem dodele propusnog opsega. Takođe, u literaturi se mogu sresti i pristupi u kojima se potproblemi rutiranja i dodele propusnog opsega rešavaju objedinjeno (*Joint RSA*). Dodela propusnog opsega u okviru RSA razlikuje se za slučaj individualnih i grupnih zahteva. Za slučaj grupnih zahteva razlikuju se metode fiksne, polu-elastične i elastične dodele propusnog opsega u zavisnosti od promena koje se dozvoljavaju sa aspekta centralne frekvencije i širine opsega. Za slučaj individualnih zahteva, razlikujemo slične metode kao i kod RWA, kao što su *First Fit*, *Random Fit*, *Last Fit*, *Least Used*, *Most Used*, *Exact Fit*.

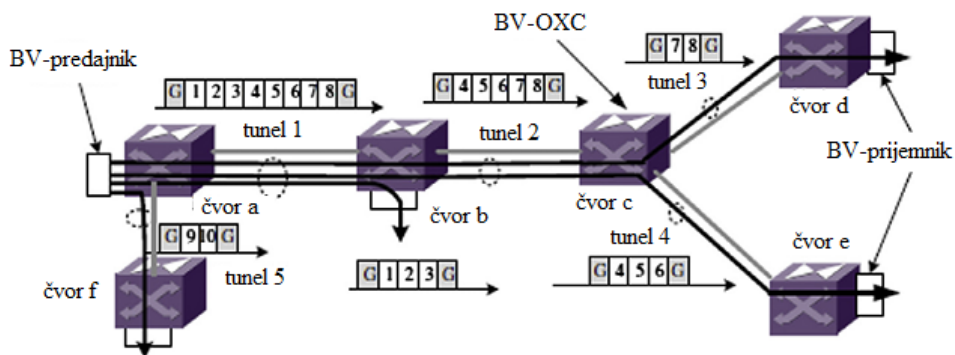
4. Agregacija saobraćaja u EON mrežama

U tradicionalnim optičkim WDM mrežama agregacija saobraćaja podrazumeva multipleksiranje manjih saobraćajnih zahteva u puteve svetlosti većeg kapaciteta radi bolje iskorišćenosti raspoloživog propusnog opsega talasne dužine. Put svetlosti se može koristiti za prenos saobraćaja između različitih parova čvorova. Na ovaj način se postiže veća propusnost mreže i smanjenje troškova, optimizacijom potrebnog broja ADM (*Add/Drop Multiplexer*) multipleksera u mreži. ADM multiplekser je u svakom čvoru rezervisan za samo jednu talasnu dužinu i grupiše nekoliko električnih signala koji se konvertuju u jedan optički, odnosno vrši se elektro-optička konverzija signala. Postupak je u literaturi poznat i kao *e-grooming* odnosno elektronsko grupisanje/agregacija koje nije ekonomično niti energetski efikasno.

U cilju daljeg unapređenja fleksibilnosti i eliminacije elektronskog multipleksiranja istraživanja u okviru elastičnih optičkih mreža usmerena su ka konceptu optičkog multipleksiranja (*o-grooming*), gde se saobraćajni zahtevi grupišu direktno na

optičkom sloju, bez potrebe za O-E-O konverzijom. Rešavanje RSA problema u kombinaciji sa optičkom agregacijom saobraćaja (*TG-RSA*, *Traffic Grooming - RSA*) je kompleksan problem, koji se zasniva na različitim formulacijama mešovitog celobrojnog programiranja i primeni heurističkih algoritama. U [9] autori su predložili heuristički algoritam za rešavanje problema TG-RSA, kojim se vrši minimizacija troškova mreže sa aspekta broja optičkih predajnika i prijemnika, uz istovremenu optimizaciju korišćenja propusnog opsega.

Na Slici 8 ilustrovan je postupak agregacije saobraćajnih zahteva (konekcija) u optičkom domenu.



Slika 8. Optička agregacija saobraćaja u EON mrežama [5]

Optički putevi (konekcije) sa zajedničkim izvornim čvorom, koje generiše isti BVT, grupišu se u optički kanal. Sve konekcije koje imaju isti izvorni i odredišni čvor komutiraju se kao jedinstven optički kanal. Konekcije koje imaju isti izvor, a različito odredište mogu se izdvojiti ili komutirati (transparentno proslediti) u svakom usputnom tranzitnom čvoru duž rute. U slučaju kada je potrebno da se neka konekcija izdvoji iz optičkog kanala u određenom čvoru, optički kanal se razdvaja na više manjih optičkih kanala (koji sadrže jednu ili više optičkih konekcija), koji se dalje rutiraju preko BV-OXC. Dakle, tehnikom optičke agregacije, individualne konekcije se mogu grupisati, razdvajati i rutirati na optičkom sloju.

5. Otvorena pitanja i izazovi u istraživanju EON mreža

Uvođenje elastičnosti u optički domen, pored brojnih prednosti takođe donosi i niz pitanja i izazova u dizajnu i kontroli takvih mreža. Zahtevaju se nove tehnike upravljanja spektrom koje bi rešavale pitanje skalabilnosti, kontinuiteta i susedstva spektra, koordinaciju i konfiguraciju BVT i BV-WXC svičeva po pitanju propusnog opsega.

Takođe, veoma važno pitanje jeste i mogućnost konverzije opsega, pitanje tehnike zaštite odnosno definisanje rezervnih puteva svetlosti u slučaju otkaza komponenta mreže kao i pitanje energetske efikasnosti.

U postojećim optičkim mrežama prenos i komutaciju preko različitih tipova mreža omogućava opšta GMPLS (*Generalized Multi-Protocol Label Switching*) kontrolna ravan koja upravlja konekcijama u korisničkoj ravni preko skupa signalizacionih, protokola rutiranja i protokola za upravljanje linkom: RSVP-TE

(*Resource Reservation Protocol- Traffic Engineering*), OSPF-TE (*Open Shortest Path First- Traffic Engineering*) i LMP (*Link Management Protocol*). Takođe, postoje različiti standardi kontrolne ravni (ASON, GMPLS). Zbog velikog broja protokola i interkonekcija optičkog i IP sloja, GMPLS je postao složeno rešenje za koncept elastičnih optičkih mreža. Iz tog razloga, predlaže se ekstenzija tj. proširenje GMPLS signalizacionih protokola dodavanjem određenih novih objekata u format signalizacionih poruka (*Record route object, Upstream label object* itd.) ili primena OpenFlow protokola koji je prvi komunikacioni protokol razvijen isključivo za rad SDN (*Software Defined Network*) mreže. U SDN mreži, kontrolnoj ravni se može pristupati pomoću otvorenih protokola putem softvera.

Poređenje GMPLS (distribuiranog) i OpenFlow (centralizovanog) protokola, koji se koriste u softverski definisanim (elastičnim) optičkim mrežama (*Software Defined Optical Networks, SDON*) koje omogućavaju potpuno razdvajanje kontrolne ravni i ravni podataka (korisnička ravan), prikazano je u [10], gde su autori testirali ova dva protokola na velikim optičkim mrežama od oko 1000 čvorova, dizajnom dve različite kontrolne ravni EON mreže: jedna je bazirana na GMPLS, a druga na OpenFlow protokolu. Numerički rezultati su pokazali da OpenFlow daje bolje rezultate sa aspekta verovatnoće blokiranja, iskorišćenosti talasnih dužina, uspostavljanja puteva svetlosti itd. Dakle, uspostavljanje kontrolne ravni je jedno od izazovnih pitanja za realizaciju EON mreža.

6. Zaključak

Elastične optičke mreže predstavljaju logičan pravac i nastavak u razvoju današnjih optičkih mreža. Proces je započeo uvođenjem rekonfigurabilnih OADM koji ne donose značajno povećanje troškova, a omogućavaju elastičnost. Jedna od osnovnih karakteristika optičkih mreža naredne generacije (optičkih NGN) jeste racionalno iskorištavanje resursa mreže što se postiže fleksibilnom alokacijom propusnog opsega, a što je glavna razlika u odnosu na postojeće optičke mreže, gde veliki deo optičkog propusnog opsega ostaje neiskorišćen. Ipak, ne može se sa sigurnošću reći da će sve optičke mreže postati elastične, ali je trenutno to aktuelna tendencija njihovog razvoja.

U radu je prikazan osnovni koncept EON mreža uključujući njihovu arhitekturu. Takođe, objašnjen je osnovni problem koji je potrebno rešiti u EON mreži, tj. problem RSA, kao i razlike u agregaciji optičkih WDM i EON mreža. Na kraju su prikazana otvorena pitanja koja je neophodno rešiti da bi se ostvarile sve prednosti EON mreža.

Zahvalnica. Rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekat tehnološkog razvoja TR 32025).

Literatura

- [1] ITU-T Recommendation G.694.1: "Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid", ITU-T Geneva, 2012.
- [2] B. C. Chatterjee et al., „Routing and spectrum allocation in elastic optical networks: A tutorial“, *IEEE Communications Surveys&Tutorials*, vol. 17, no. 3, pp. 1776-1800, August 2015.
- [3] O. Gerstel et al., „Elastic optical networking: A new dawn for the optical layer“, *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 2, pp. 12-20, February 2012.

- [4] S. Talebi et al., „Spectrum management techniques for elastic optical networks: A survey”, *Optical Switching and Networking*, vol. 13, pp. 34-48, July 2014.
- [5] J. C. Dantas et al., „Challenges and requirements of a control plane for elastic optical networks”, *Computer Networks*, vol. 72, pp. 156-171, October 2014.
- [6] G. Shen et al., „Survivable elastic optical networks: survey and perspective (invited)“, *Photonic Network Communications*, pp. 1-17, July 2015.
- [7] P. Bhaumik et al., „Software-defined optical networks (SDON): a survey“, *Photonic Network Communications*, vol. 28, no. 1, pp. 4-18, August 2014.
- [8] L. Ruan, N. Xiao, „Survivable multipath routing and spectrum allocation in OFDM-based flexible optical networks“, *IEEE Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 5, no. 3, pp. 172-182, March 2013.
- [9] G. Zhang et al., „Optical traffic grooming in OFDM-based elastic optical networks (invited)“, *IEEE Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 4, no. 11, pp. B17-B25, November 2012.
- [10] Y. Zhao et al., „Which is more suitable for the control over large scale optical networks, GMPLS or OpenFlow?“, *In Proceedings of Optical Fiber Communication Conference OFC 2013*, pp. 1-3, USA, 2013.

Abstract: *Elastic optical networks are now considered as a promising solution for efficient usage of optical network resources. Its adaptable features and possibilities to adjust data rates to fit specific client demands are key reasons for network operators to implement this technology in their infrastructures. In this paper, we reviewed the current state of the art in elastic optical networks as a potential solution for next generation optical networks. Beside the conceptual and architecture aspects, the paper studies the routing and spectrum allocation problem in elastic optical network, too. In addition, comparison of traffic grooming in conventional WDM and flexible optical networks is discussed. The paper ends by presenting open issues and challenges posed by this type of flexible networking and technology for future high-speed transmission.*

Keywords: *elastic optical networks, routing and spectrum allocation, traffic grooming*

ELASTIC OPTICAL NETWORKS

Suzana Miladić and Goran Marković