

PRIMJENA WDM MULTIPLEKSERA U OPTIČKIM KABELSKIM SUSTAVIMA

Sead Dubravić

Sažetak:

U suvremenim strukturalnim kabelskim sustavima značajno mjesto zauzima primjena svjetlovodnih vlakana za izgradnju njegovih pojedinih elemenata. Tehničke prednosti i danas prihvatljiva cijena optičke tehnologije uvjetuju da se projektanti mreža vrlo često odlučuju na takav izbor, posebice stoga što je primjena svjetlovodnih vlakana standardizirana i često jedini mogući tehnički izbor.

Još do nedavno, komunikacijske osobine svjetlovodnih vlakana bile su daleko iznad mogućnosti linijske opreme i zahtjeva na propusnost postavljenih od strane korisnika. Neki noviji standardi, kao npr. viši nivoi sinkrone digitalne hijerarhije (SDH) stvorili su potrebu za frekvenijskim pojasem koji dotiče granične vrijednosti propusnosti danas najmoćnijih-jednomodnih vlakana.

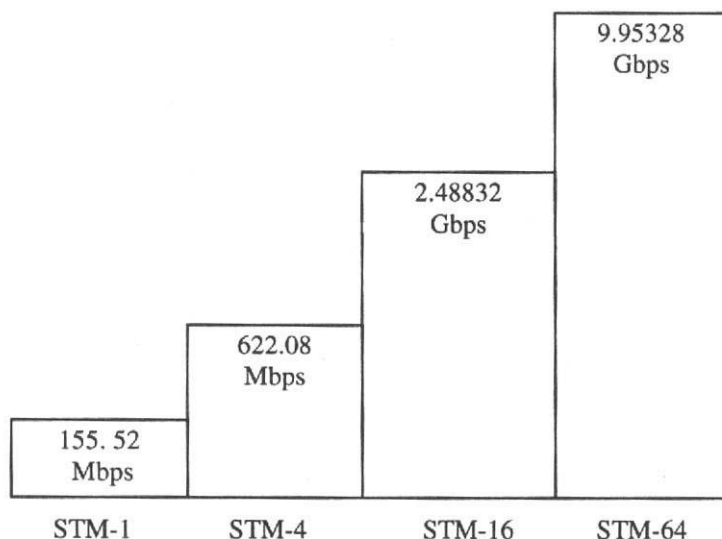
Dalje povećanje propusnosti optičkih kabelskih sustava treba dakle potražiti u nekim novim tehnologijama, kao što je tehnika raspodjeljivanja valnih duljina (WDM-Wavelength Division Multiplexing). Radi se o, za optičke sustave, svojstvenoj i jedinstvenoj tehnici multipleksiranja, gdje se prijenos korisničkog signala raspodjeljuje na različite valne duljine svjetlosnog nositelja, kako bi se povećao ukupni prijenosni kapacitet sustava. WDM tehnologija omogućuje efikasno i ekonomično povećanje kapaciteta komunikacijskog sustava na njegovoj fizičkoj razini. Ovo je posebno interesantno kada se metodama SDH hijerarhije dođe do limita propusnosti postojećeg kabelskog sustava.

Dodatnu vrijednost WDM sustavima daje i mogućnost obavljanja dvosmjernog optičkog prijenosa (Full Duplex) unutar istog svjetlovodnog vlakna.

1. UVOD

Današnji globalni komunikacijski sustavi zasnivaju se na prijenosu digitalnog signala u skladu sa ITU-T preporukama modela Sinkrone Digitalne Hijerarhije (SDH). Time su definirane brzine prijenosa, struktura multipleksiranja, metoda kodiranja, raspoređivanje pritoka, upravljanje itd. Radi se u biti o vremenskom multipleksiranju (TDM), čija je osnovna osobina da zahtjevi na frekvencijsku propusnost prijenosnog sustava rastu linearno sa povećanjem nominalne digitalne brzine i broja korisnika, odnosno sa razinom hijerarhije digitalnog sustava. Budući da raste broj i kvaliteta usluga koje se pružaju korisnicima, a u budućnosti se očekuje značajan iskorak prema većim brzinama prijenosa, SDH hijerarhija je zamišljena tako da podržava postojeće standarde prijenosa, uz stroge zahtjeve na sigurnost i pouzdanost, ali i mogućnost prilagodbe novim standardima. Tako je podržana starija PDH (Pleziokrona Digitalna Hijerarhija), koja je definirana za brzine do 140 Mbit/s, te noviji standardi SONET, Optical Channel (brzine 155Mbit/sec OC-3, 2.488 Mbit/s OC-48, 9.953 Mbit/s OC-192) i drugi.

Na *Slici 1. SDH-Sinkrona Digitalna Hijerarhija* prikazane su 4 osnovne normirane brzine prijenosa, koje se kreću od brzine 155 Mbit/s (STM-1), do 9,953 Gbit/s (STM-64). Očito



Slika 1. SDH-Sinkrona Digitalna Hijerarhija

je da viši nivoi SDH hijerarhije traže veliku frekvencijsku širinu. Uputno je napraviti kalkulaciju potrebne prijenosne širine svjetlovodnog vlakna za pojedine nivoe SDH.

Za STM-16 razinu brzine 2.488 Gbit/s, pretpostavimo kodiranje koje ima u sebi komponentu takta potrebnu za sinkronizaciju, što zahtjeva minimalnu frekvencijsku širinu od približno $B=2,5$ GHz. Kromatska disperzija najkvalitetnijih jednomodnih vlakna koja u biti limitira njihovu frekvencijsku širinu, tipično iznosi $T_R=3.5$ ps/nm/km za kvalitetna, komercijalno dobavljiva vlakna. Tipično nominalno gušenje komercijalnih vlakana u prozorima 1310/1550nm iznosi $<0,3$ dB/km. Maksimalni iznos premostivog gušenja za $BER=10^{-9}$ za tehnološku razinu današnjih optičkih prijemnika i predajnika za jednomodno vlakno iznosi 40dB.

Glede gušenja, maksimalna premostiva udaljenost, uz pretpostavku konektiranja svakih 2000 met (gušenje <0.5 dB/konektoru), i rezervu zbog vremensko-temperaturne degradacije od 3dB iznosi cca:

$$D_{\max} = (40-3)/(0,3+0,5/2)=67\text{km}, \text{ u praksi se zbog rezerve računa sa } 50\text{km}$$

Frekvencijske osobine vlakna moraju biti takve da za željenu brzinu prijenosa kromatska disperzija ne limitira domet, već samo iznos gušenja. Iz poznate relacije za vezu nominalne propusne širine 1km vlakna BW_0 i nominalne disperzije T_R dobije se vrijednost od:

$$BW_0 \text{ (MHz)}=350/T_R(\text{ns})= 33,33 \text{ GHz*km}$$

Budući da u jednomodnom vlaknu nema efekta miješanja modova, maksimalna premostiva udaljenost za STM-16 SDH izračunava se linearno, tj.:

$$D_{\max} = BW_0/B=33,33\text{GHz*km}/2,5\text{GHz} = 13 \text{ km za STM-16}$$

$$D_{\max} = BW_0/B=33,33\text{GHz*km}/10\text{GHz} = 3,3 \text{ km za STM-64}$$

Očito je da kromatska disperzija oštro ograničava domet za hijerarhije STM-16 i više, a ne gušenje vlakna. Drugim riječima, iznad STM-16 te udaljenosti postaju neprihvatljivo malene, čak i za optički prijenos, pa je uputno razraditi neke druge mogućnosti multipleksiranja, a ne TDM. Rješenje ovog problema nudi multipleksiranje po valnim duljinama (WDM), a treba napomenuti da su u razvoju i druga rješenja (npr.CDM). Postoje i drugi razlozi uvođenja WDM tehnologije u postojećim kabelskim sustavima. Na *Slici 2. Instalirana svjetlovodna vlakna u SAD (Izvor:Fiber Institute)* prikazano je godišnja instalacija optičkih kabela (normalizirano na količinu vlakana).

Godina	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Miliona km	6	8	10	11	13	(14)	(15)

Slici 2. Instalirana svjetlovodna vlakna u SAD (Izvor:Fiber Institute-SAD)

Radi se o milionima kilometara optičkih kabela, s time da je godišnji prirast uvijek veći od 100%. Uprkos tome, pojedine dionice su prezagušene i postojeći optički kapaciteti su u dobroj mjeri iskorišteni. Dodatno povećanje kapaciteta i ovdje se postiže WDM tehnologijom-instalacija novih optičkih kabela nije potrebna. Iz navedenih razloga WDM se u SAD naširoko primjenjuje.

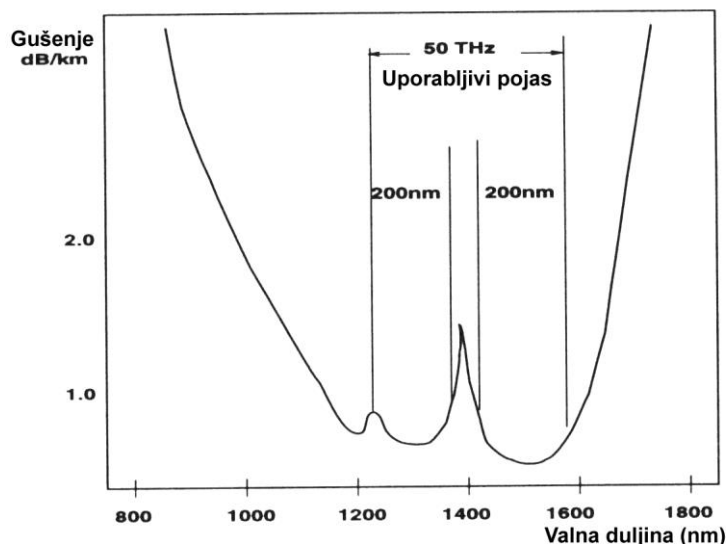
Ekonomske analize primjene WDM tehnologije u SAD pokazuju da je sustave razine STM-16 i STM-64, opravdano koristiti WDM tehnologiju za udaljenosti veće od 50km. Analize također pokazuju da WDM sudjeluje u cijeni STM-16 sa 40% ukupne vrijednosti linijskog terminala. U kabelskim sustavima gdje postoje slobodna kanalizacija, WDM tehnologija daje uštedu od 16% do 36% u odnosu na klasične optičke sustave koji se proširuju povećanjem broja niti. Ukoliko je kanalizacija pretrpana, samo zbog toga što nije potrebno polagati nova vlakna, postiže se ušteda od 33%.

U hrvatskoj nacionalnoj mreži, HPT razmatra prijelaz na STM-16 razinu SDH hijerarhije, kako bi se povećao kapacitet postojećih magistralnih linija. Prema navedenima kalkulacijama, radi se o prijenosnom pojasu koji postavlja granične uvjete na instalirana jednomodna vlakna, sa navedenim repetitorskim razmakom. Već na ovoj razini treba razmotriti alternativu-povećanja kapaciteta odabirom WDM tehnologije. Pogotovo zato, jer idući očekivani korak-prijelaz na STM-64 razinu, nije moguće ostvariti jednostavnim ubrzanjem linijske opreme po TDM modelu, zbog premalene premostive distance.

2. TEORIJA RADA WDM MULTIPLEKSERA

Princip multipleksiranja po valnim duljinama svjetlosnog nosioca u svojoj biti je potpuno drugačiji pristup od TDM tehnologije. Umjesto da se povećanje kapaciteta kanala ostvaruje povećanjem agregatne brzine kanala (u Gbit/s), čime se povećava zahtjevani prijenosni pojas, kod WDM-a se koristi prijenos signala u osnovnom pojasu, dakle brzinom koja je potrebna za prijenos upravo te informacije. Veći broj kanala ostvaruje se tako da se pojedinom signalu pridjeljuje određena, odabrana valna duljina L_n .

Na *Slici 3. Gušenje vlakna u ovisnosti o valnoj duljini nosioca* prikazana je tipična krivulja gušenja u vlaknu. Budući da je WDM tehnologija ekonomična upravo za magistralne optičke veze, koje se ostvaruju jednomodnim vlaknima, od interesa je promatrati drugi prozor (u okolici 1310nm) i treći prozor (u okolici 1550nm), jer je tu gušenje najmanje



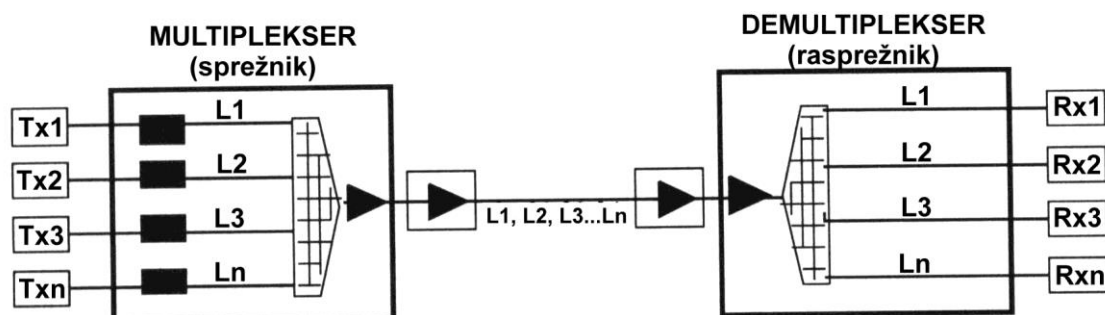
Slici 3. Gušenje vlakna u ovisnosti oi valnoj duljini nosioca

(<0,5dB/km). Spektralna širina iznosi približno 200nm po prozoru, što po poznatoj relaciji ovisnosti frekvencije o valnoj duljini $f=c/L$, (uz napomenu da je grupna brzina propagacije svjetlosti u staklenom vlaknu cca $c=200.000$ km/sec), daje ukupni prijenosni kapacitet od 25THz po prozoru, odnosno ukupno 50THz. Od interesa je proračunati koji maksimalni broj kanala i koje frekvencijske širine možemo "provući" kroz navedene prozore. Uočimo da za jednostavnu amplitudnu (intenzitetnu) modulaciju, kakva se danas koristi u optičkim sustavima, uz efikasno kodiranje sa sinkronizacijskim elementima, digitalni kanal agregatne brzine B (Gbit/s) zauzima širinu do max $2B$ (GHz). Prema istraživanjima C.A.Bracketta (vidi reference), razmak između kanala širine $2B$ mora iznositi barem $6B$, kako bi preslušavanje između kanala u WDM sustavu bilo u prihvatljivim granicama. Ukoliko želimo N kanala brzine B u jednom prozoru, tada teoretski, radi konačne spektralne širine moduliranog signala, zauzimamo frekvencijsku širinu BW od:

$$BW=2B \times N + 6B \times (N-1) , \text{ odakle je maksimalni broj kanala } N=(BW+6B)/8B$$

Ovom relacijom dobivamo da je u jednom prozoru širine 200nm, a zbog ograničenja spektralne širine amplitudno moduliranog signala, moguće multipleksirati WDM tehnologijom cca 313 kanala digitalne brzine 10 Gbit/sec (za STM-64) po prozoru, a čak 1250 za STM-16. Ovo ukazuje na ogromne teoretske mogućnosti WDM multipleksiranja. U praksi, međutim laseri koji se koriste za pobudu predajnika imaju konačno veliku spektralnu širinu (3nm tipično), ali i određenu temperaturnu ili starosnu nestabilnost, koja utječe da se preklapanje očituje u rasponu od 10nm. Iz ovog ,dakle za sada tehnološkog razloga, u prozor širine 200nm može se danas injektirati do 20-tak laserskih signala posmaknutih za po 10nm, ali se očekuje da će sa povećanjem primjene WDM tehnologije rasti i zahtjevi na stabilnost i uskopojasnost lasera, te će se broj kanala približiti gornjim teoretskim vrijednostima. Proizvode sa raspoloživih 20 WDM kanala po prozoru trenutno nude vodeći svjetski proizvođači, kao što su AT&T, Pirelli i IBM. Postoje i neki drugi problemi koji su za WDM tehnologiju bitni i koji su uspješno riješeni, npr. pobuda jednomodnog vlakna sa većim brojem laserskih predajnika, sprezanje i raspresanje optičkih signala, filtriranje valnih duljina itd.

Na Slici 4. Arhitektura WDM multipleksera prikazan je način rada ovog elementa kabelskog sustava.



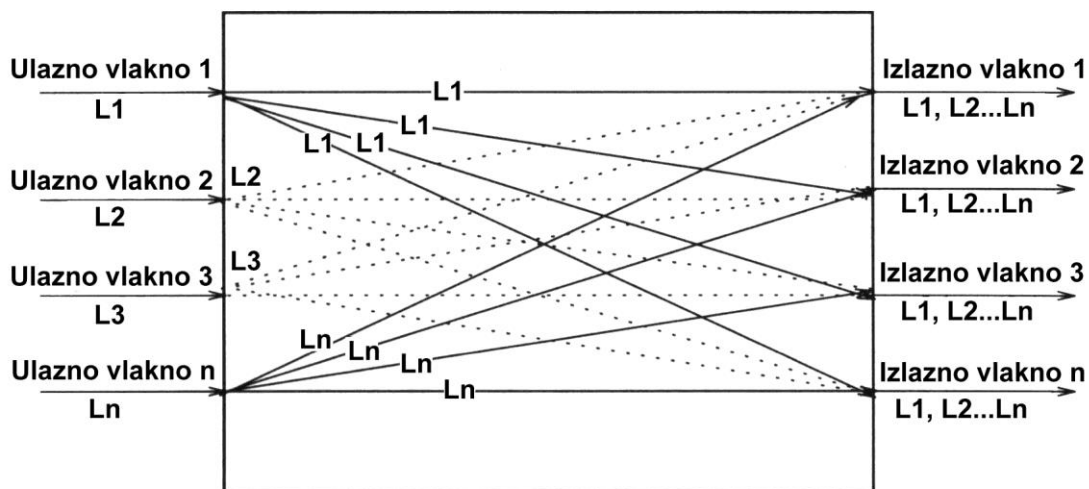
Slika 4. Arhitektura WDM multipleksera

U osnovi se radi o želji da se ostvari istovremena veza N optičkih predajnika Tx i N prijemnika Rx, na diskretnim valnim duljinama $L1, L2, \dots, Ln$, unutar jednog ili više prozora u jednom vlaknu. WDM multiplekser obavlja integraciju svjetlosnih signala N predajnika koji spreže unutar jednog svjetlovodnog vlakna. Na prijemnoj strani obavlja se rasporezanje odgovarajućih valnih duljina. Ukoliko su valne duljine $L1, L2, \dots, Ln$ razmaknute u spektru u skladu sa razmatranim kalkulacijama, WDM multipleksiranje se neposredno provodi. U slučaju da dolazi do preklapanja valnih duljina, potrebno je prethodno obaviti pretvorbu valnih duljina u željene diskretne vrijednosti, uporabom pretvornika valnih duljina (konvertera). Ukupna propusnost WDM-a uvjetovana je, dakle, širinom prozora u vlaknu, brzinama digitalnih kanala, i stabilnošću i koherentnosti optičkih pretvarača.

3. NAČINI IZVEDBE WDM MULTIPLESERA

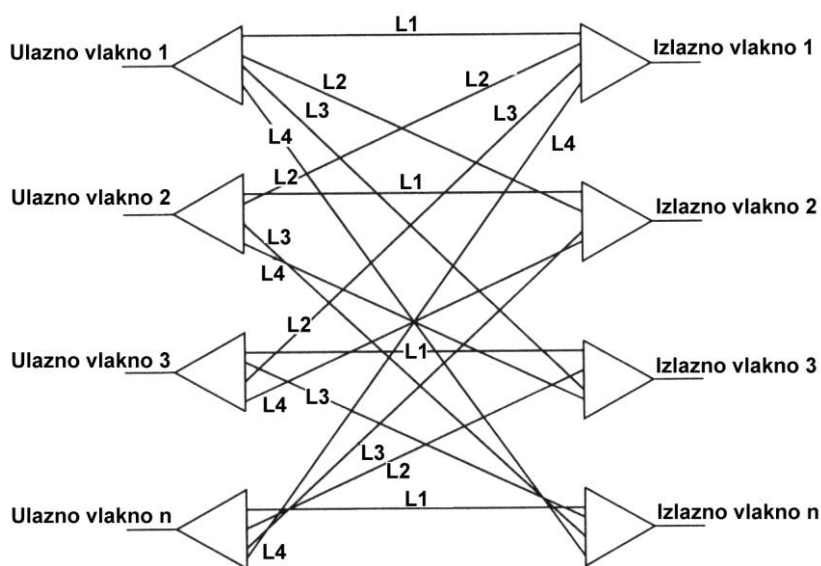
WDM se izvodi kao diskretni elemenat kabelskog sustava, sa različitom svrhom (funkcionalnošću). Najjednostavnije arhitekturno rješenje jeste tkzv. *pasivna zvijezda (Passive Star)*, kako je prikazano Slikom 5. WDM u topologiji pasivne zvijezde.

WDM-pasivna zvijezda je u svojoj biti "broadcast" uređaj, odnosno svjetlosni signali na ulaznim priključcima na valnim duljinama $L1, L2, \dots, Ln$ se u biti preslikavaju na svakom izlaznom priključku. Pri tome, optički signal određene valne duljine se jednoliko raspodjeljuje na svaki od izlaznih priključaka, odnosno dolazi do smanjenja izlazne snage za teoretski " N " puta, što ograničava njenu primjenjivost. Za manji broj priključaka (valnih duljina), ovaj tip WDM-a je veoma prikladan. Nedostatak ove tehnologije je mogućnost kolizije ukoliko barem 2 priključka koriste istu valnu duljinu. Ako pretpostavimo da takvog preklapanja nema, pasivni zvjezdasti multiplekser može ostvariti istovremeno " N " konekcija.



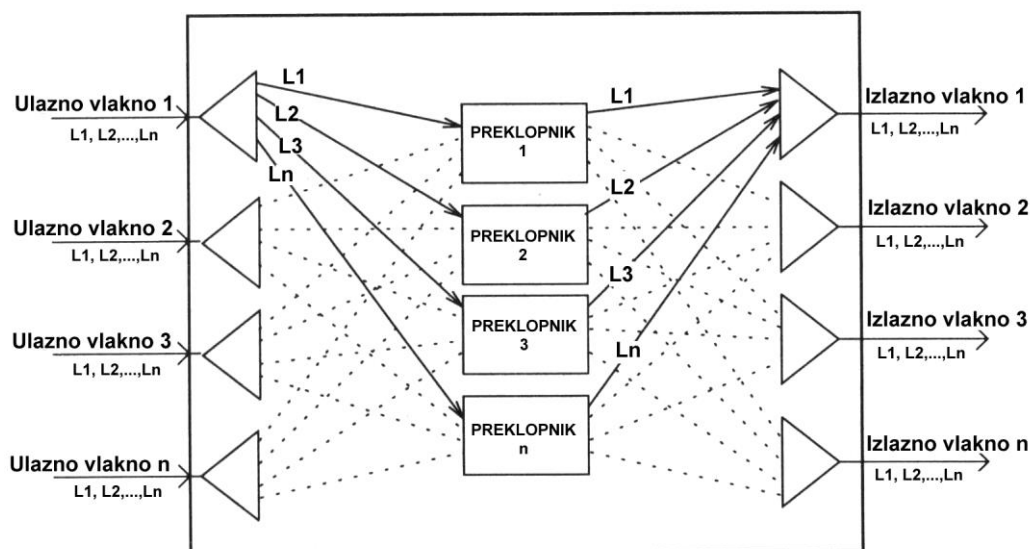
Slika 5. WDM u topologiji pasivne zvijezde

Za razliku od pasivne zvijezde, *pasivni WDM usmjerivač (WDM router)* može ostvariti istovremeno $N \times N = N^2$ istovremenih konekcija, kako je prikazano Slikom 6. WDM u topologiji pasivnog usmjerivača. Ovaj uređaj nije “broadcast” tipa, što je svakako nedostatak, ali omogućuje N puta veći broj istovremenih veza od pasivne zvijezde, te je moguće koristiti istu valnu duljinu i nekoliko puta (tj. prostorno je multipleksirati). Matrica ovog WDM usmjerivača je određena njegovom konstrukcijom, i ne može se dinamički mijenjati- pojedina valna duljina preusmjerava se na neke od izlaza, ostvarujući jednu od mogućih N^2 kombinacija.



Slika 6. WDM u topologiji pasivnog usmjerivača

Nefleksibilnost WDM usmjerivača prevladan je rješenjem novog tipa WDM multipleksera, tkzv. *WDM preklopnika* (WDM Switch), prema *Slici 7. WDM u topologiji aktivnog preklopnika*. Arhitektura mu je ista kao kod pasivnog usmjerivača, osim što je način preusmjerenja određen preklopnim elementom koji se elektronički kontrolira. I ovdje je moguće ostvariti $N \times N = N^2$ konekcija, ali se matrica uređaja može po želji mijenjati. Nedostatak WDM preklopnika je njegova kompliciranost i nepouzdanost (jer je to aktivan uređaj). Iz istog razloga, ovaj uređaj ima i prednost-moguće je unutar istog uređaja ujedno integrirati i (aktivni) pretvornik valnih duljina.

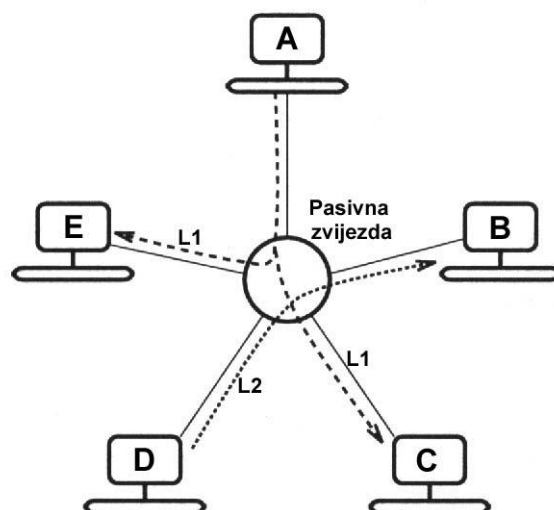


Slika 7. WDM u topologiji aktivnog preklopnika

Analizirajući osobine navedena 3 tipa WDM multipleksera, zaključujemo da pasivna zvijezda zadovoljava u većini primjena, pri čemu se eventualno prekrivanje valnih duljina jednostavno otklanja pretvornikom valnih duljina kao izdvojenim aktivnim predstupnjem.

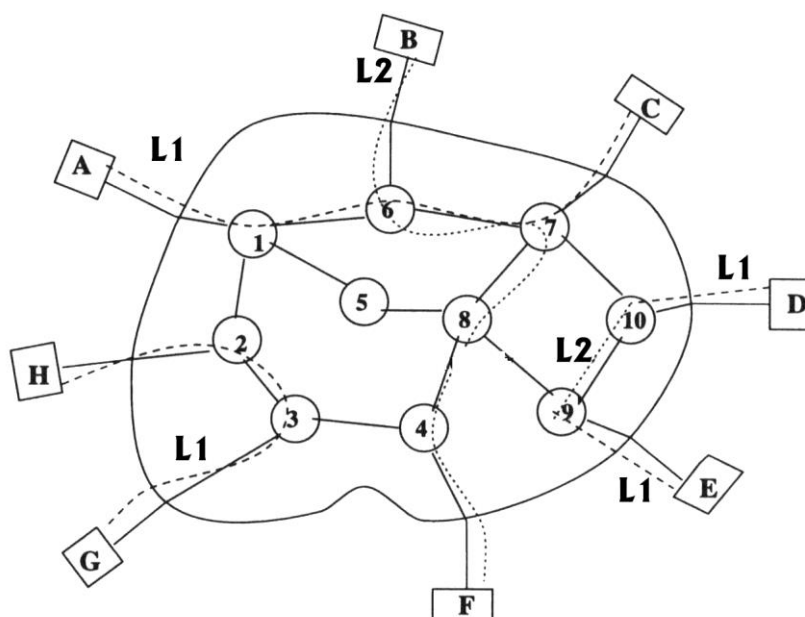
4. WDM U IZGRADNJI OPTIČKIH MREŽA

Lokalna optička mreža (LAN) najjednostavnije se izvodi uporabom WDM pasivne zvijezde prema *Slici 8. WDM optička mreža u formi pasivne zvijezde*. Čvorovi mreže emitiraju na odabranoj valnoj duljini L_1, L_2, \dots, L_n , pri čemu se mora izbjeći prekrivanje valnih duljina. Na strani prijarnika, optičkim filterom se izdvoji željena valna duljina na koju je namoduliran korisni signal. Ukoliko se koristi N valnih duljina sa kanalima digitalne brzine B , agregatna propusnost ove strukture jeste $N \times B$. Treba uočiti, da dok svaki predajnik ima svoju valnu duljina L_n , više prijarnika može biti podešeno na istu valnu duljinu L_n ("multicast"), ili čak svi ("broadcast"). Na taj način ostvaruju se sve željene komunikacijske usluge tipične za lokalne računalne mreže (LAN).



Slika 8. WDM optička lokalna mreža (LAN) u formi pasivne zvijezde

Promatrajmo međutim strukturu tipičnu za globalne mreže (WAN), kada je potrebno koristiti optičke WDM preklopničke mreže, kako je prikazano Slikom 9. WDM optička preklopnička mreža .



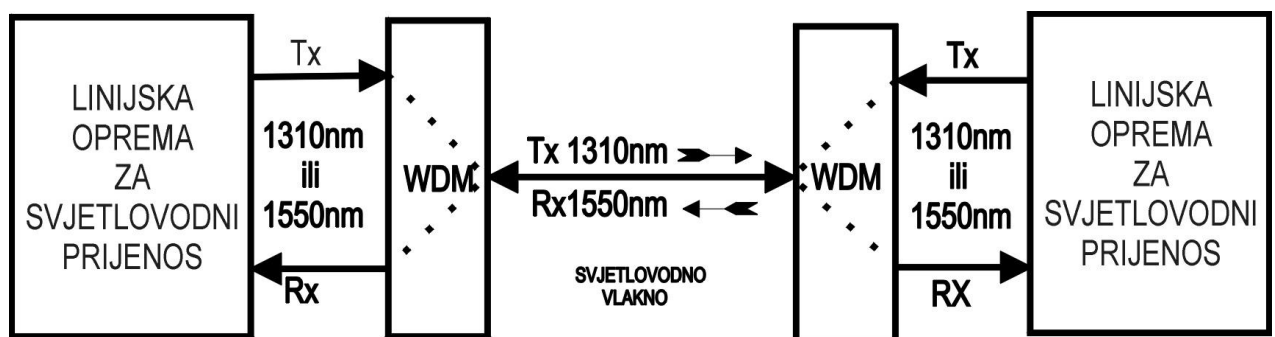
Slika 9. WDM optička preklopnička mreža (WAN)

Pretpostavimo da je mehanizam preklopnika neblokirajući, sa prostornim preklapanjem. Svaki od korisnika je direktnom optičkom linijom povezan na preklopnik, čineći mrežni čvor. Svaki od tako definiranih čvorova je opremljen prijamnikom i predajnikom podesive valne duljine L_1, L_2, \dots, L_n .

Uočimo da na "svjetlosnom putu" između dva krajnja čvora može biti aktivirano više preklopnika (npr. između čvorova A i C, ili B i F). Ukoliko u sustavu ne postoje pretvornici valnih duljina, svjetlosni put se mora ostvariti na istoj valnoj duljini L_n . Time je međutim ukupan broj mogućih veza ograničen, jer ako postoji zauzeće na određenoj valnoj duljini između dva čvora u mreži, isti put nije moguće koristiti za drugu vezu, ukoliko se želi koristiti određena valna duljina. Uporabom pretvornika valnih duljina unutar mreže može se valna duljina "pomaknuti" u slobodan prozor, pa je broj istovremenih konekcija veći, kao što je prikazano između čvorova D i E. Iz navedenih razloga, pretvornike valnih duljina je potrebno postaviti tik uz WDM preklopnik. Teoretski, preklopnik matrice $M \times M$ kanala u sustavu sa N odabranih valnih duljina, zahtjeva $M \times N$ optičkih pretvornika. Time se ostvaruju komunikacijske usluge tipične za globalne mreže (WAN).

5. MOGUĆNOSTI PRIMJENE WDM MULTIPLESERA U HPT MREŽI

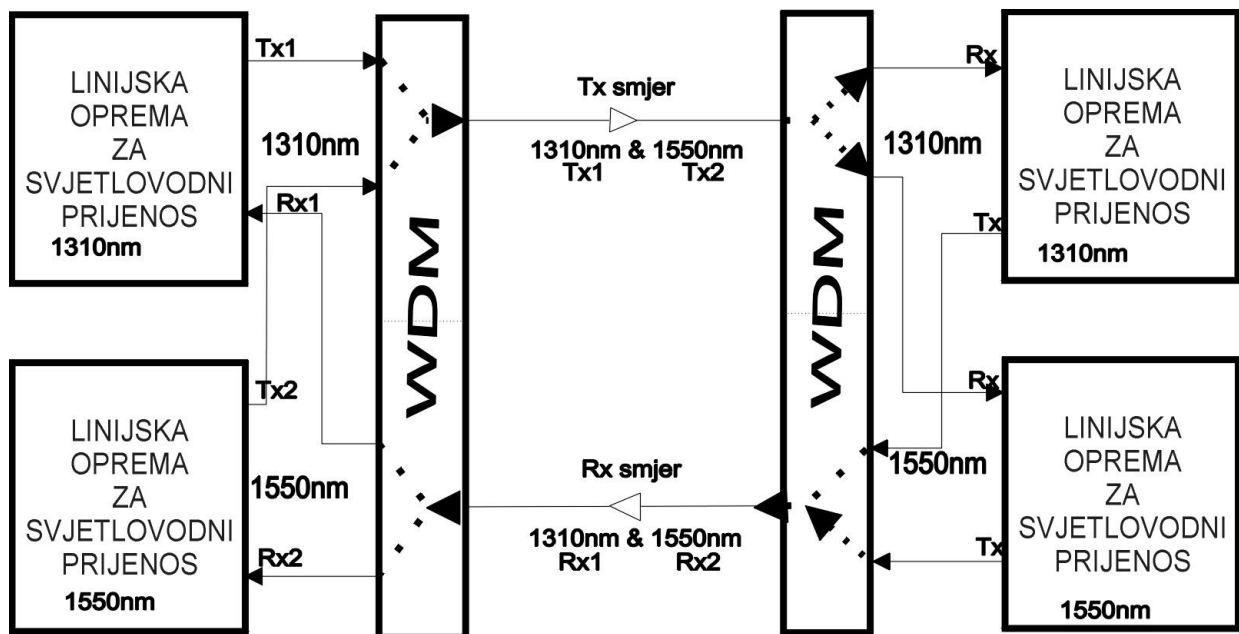
Jednostavnom primjenom WDM tehnologije moguće je višestruko povećati kapacitet postojećih HPT magistralnih optičkih veza. U klasičnom optičkom prijenosu odabere se željeni prozor u vlaknu, te se unutar njega obavlja prijenos signala – ovaj koncept zahtijeva 2 vlakna za dvosmjerni ("full duplex") način rada, te se na takvom konceptu trenutno baziraju postojeće HPT veze po svjetlovodnom vlaknu. Nedostatak takve orijentacije jeste dvostruko veći potreban broj optovlakana od stvarno dovoljnih za prijenos, što dovodi do prebukiranja postojećih optičkih parica, ili je potrebno polagati optičke kabele sa većim brojem niti.



Slika 10. Uporaba WDM-a za dvosmjerni prijenos jednim svjetlovodnim vlaknom

Ovo smatramo naročito interesantnim za postojeće HPT svjetlovodne veze koje su već zasićene, te se jednostavno i ekonomično postiže udvostručenje prijenosnih kapaciteta. Zbog pristupačne cijene, razmotriti ćemo za nas jednostavne i ekonomične slučajeve gdje se WDM sprezanje i raspresanje odvija u 2 zasebna prozora (1310 i 1550nm).

Na Slici 10. Uporaba WDM-a za dvosmjerni prijenos jednim svjetlovodnim vlaknom prikazana je mogućnost "full duplex" prijenosa po samo jednom vlaknu, tako da se za Tx smjer koristi jedan, a za Rx smjer drugi prozor. Na taj način se unutar vlakna odvija bidirekcionalni tok podataka. WDM obavlja potrebno sprezanje i raspresanje svjetlosnih nositelja. Od linijske opreme se zahtjeva da njen izlazni optički dio radi na različitim valnim duljinama, ovisno o smjeru prijenosa, a ukoliko to nije moguće, umeće se pretvornik valnih duljina za jedan od smjerova prijenosa. Time se preostalo optičko vlakno oslobađa za neki drugi prijenos, čime se kapaciteti u biti udvostručuju.



Slika 11. Uporaba WDM-a za udvostručenje kapaciteta prijenosnog sustava

Na Slici 11. Uporaba WDM-a za udvostručenje kapaciteta prijenosnog sustava prikazano je istovremeno prenošenje dva "full duplex" signala sa samo jednim parom svjetlovodnih vlakana, za što su inače potrebna 4 vlakna. Za ostvarenje ovog koncepta potrebno je odabrati opremu tako da optički izlazni/ulazni stupnjevi rade na različitim valnim duljinama, za različite tipove signala koji se prenose. Time se po svakom vlaknu odvija unidirekcionalan tip prijenosa, ali na različitim valnim duljinama – na ovaj način moguće je spregnuti i veći broj različitih signala, kako je opisano u prethodnim poglavljima. Ukoliko linijska oprema nema mogućnost ugradnje optičkih elemenata sa željenom valnom duljinom, i ovdje je moguće koristiti pretvornike valnih duljina kao diskretne međustupnjeve. Na tržištu su dobavljeni i uređaji koji su integracija WDM multipleksera i konvertera, tako da se može obavljati WDM multipleksiranje identične linijske opreme.

Na ovaj način ostvaruje se udvostručenje kapaciteta prijenosnih puteva na fizičkoj razini komunikacijske mreže, što je jednostavno za održavanje i instalaciju.

Navesti ćemo još neke važnije osobine komercijalno dobavljivih WDM multipleksera:

- WDM se može izvesti kao pasivni ili aktivni uređaj (sa ugrađenim ponavljalom), najčešće u formi pasivne zvijezde
- aktivni WDM se često integrira skupa sa pretvornikom valnih duljina radi jednostavnije primjene na postojeći sustav
- pasivni WDM se izvodi sa više završetaka – u “pigtail” izvedbi, sa raznim konektorima, sa golim vlaknima, kao unidirekcionalan ili bidirekcionalan, kao jednostruki ili dvostruki, višemodni ili jednomodni, za jedan ili dva (tri) prozora itd.
- tipično unešeno gušenje (“insertion loss”) dobrih WDM konvertera kreće se oko 0,3-1,0 dB, a gušenje refleksije na bližem kraju 15-45dB, a na daljem kraju 55-60dB, što zadovoljava potrebe HPT prijenosa (+ matematičko gušenje P_{in}/N)
- WDM može biti multiplekser (sprežnik) i demultiplekser (rasprežnik), ili kombinacija, ovisno o željenoj funkciji uređaja
- tipična cijena WDM uređaja znatno varira u ovisnosti o kvaliteti uređaja, kompleksnosti, načinu izvedbe, te da li je uređaj aktivan ili pasivan, i kreće se u rasponu 1.500-10.000 US \$.

6. ZAKLJUČAK

Svjetlovodna vlakna i pripadni optički kabeli još uvijek predstavljaju najkvalitetniji medij za izgradnju kabelačkih sustava kao podloge suvremenih komunikacijskih mreža. Postojeće norme predviđaju korištenje jednomodnih i višemodnih vlakana na fizičkoj razini suvremenih komunikacijskih sustava, bilo da se radi o direktnim vezama, lokalnim računalnim mrežama, globalnim komunikacijskim sustavima itd. Trenutno nije pronađen prijenosni medij koji bi pružio bolje komunikacijske osobine.

Sve zahtjevniji korisnici postavljaju zahtjeve koji, međutim, već danas nadilaze mogućnosti i nakvalitetnijih svjetlovodnih vlakana. Potrebno je iznaći nove metode za povećanje propusnosti već prebukiranih optičkih kabelačkih sustava i prenatrpane kanalizacije. Milioni i milioni kilometara položenih optičkih dionica ukazuju na ovaj zaključak. WDM tehnologija jedno je od trenutno najperspektivnijih rješenja ovoga problema.

Široko primjenjivana u SAD, WDM tehnologija polako se seli u Evropu čiji smo i mi integralni dio. Stanje nacionalne mreže u Hrvatskoj ukazuje na potrebu skore primjene STM-16 razine SDH hijerarhije, radi proširenja kapaciteta magistralnih optičkih veza. Sa time u svezi već su napravljene i određene pilot instalacije. Nabava TDM uređaja ove razine, međutim, daleko nadmašuje vrijednost WDM opreme kojoj se postiže isti efekat-povećanje prijenosnog kapaciteta.

Ovim radom razmotreni su osnovni principi WDM multipleksiranja i trenutno stanje tehnologije. Očito je da su tehničko-tehnološki problemi riješeni i tržište je već puno komercijalno dobavljivih WDM uređaja kao građevnog elementa suvremenih kabelačkih sustava po svjetlovodnim vlaknima. Jedino cijena, ili još više-određeni način razmišljanja, mogu kočiti široku uporabu ove moderne tehnologije. Ekonomske analize predočene ovim radom ukazuju da se uporabom WDM-a zapravo vrši značajna ušteda. Stoga ne iznenađuje njihova široka uporaba u mrežama SAD-a.

Mišljenja smo da je upravo sada pravi trenutak da se razmotri mogućnost primjene WDM tehnologije u nacionalnoj mreži HPT-a. Da li se koristiti povećanjem razine postojeće

SDH hijerarhije, kako bi se povećala propusnost postojećih optičkih sustava, za što smo pokazali da traži frekvencijsku širinu koju vrlo uskoro niti svjetlovodna vlakna neće moći pružiti? Ili se prikloniti WDM tehnologiji koja taj problem rješava u svojoj biti? To su svakako pitanja koja će trebati kvalitetno riješiti. Želja autora ovoga rada je upravo bila da se potakne jedna takva analiza na razini koncepta nacionalne mreže RH. Pogotovo stoga što su upravo sada sazreli uvjeti za strategijske odluke.

LITERATURA

- C.A.Brackett, "Dense Wavelength Division Multiplexing Networks:Principles and Applications", , *IEEE Journal on Selected areas in Communicatins*", vol.8, p.p. 948-964, Aug. 1990.
- I.Chlamtac, A. Fumagalli, "Quadro-Stars:High Performance Optical WDM Star Networks", *Proceedings, IEEE Globecom '91, Phoenix, AZ,pp.2582-1229, Dec.1991*
- C.Chen, S.Banerjee, "A New Model for Optimal Routing and Wavelength Assigment in WDM Optical networks", *Proceedings, IEEE INFOCOM '96, pp.164-171, 1996.*
- P.W.Dowd, "Wavelength Division Multiple acces Channel Hipercube Processor interconnection", *IEEE Transatcions on Computers, 1992.*
- A.Ganz, Z.Koren, "WDM Passive Star protocols and Performance Analysis", *Proceddings, IEEE INFOCOM '91, Bal Harbour, FL, pp.991-1000, April 1991*
- ISO/IEC 11801 International Standard, *The International Organization for Standardization, May 1995, Generic Cabling for Customer Premises, First Edition*
- Mr Sead Dubravić "Primjena optičkih kabela u lokalnim računalnim mrežama po standardima ISO", , *KOM'95: Zbornik radova sa Savjetovanja, prosinac 1995,*
- Mr Sead Dubravić "Projektiranje i izgradnja monolitnih optičkih kabelskih sustava" , *KOM'97: Zbornik radova sa Savjetovanja, pp. 1-18, prosinac 1995,*
- Charles K.Kao, "Optical Fiber Systems: technology, design and applications", *McGraw -Hill Book company, Charles K.Kao, 1985,*
- W.J.Goralski, "SONET – a Guide to Synchronous Optical Networks", *Macgraw Hill, pp. 371-439, 1997,*
- ISO 9314International Standard, *The International Organization for Standardization, April 1989, Fibre Distributed Data Interface , First Edition*

Autor:

Mr Sead Dubravić, NETIKS d.o.o. za telekomunikacije i informatiku , E-mail: netiks@zg.tel.hr, Borovje 19B, 10000 ZAGREB, tel (01)6137201, 6137202, fax 6137282