

Fakultet elektrotehnike i računarstva
Sveučilište u Zagrebu

Fotoničke telekomunikacijske mreže

Priprema za 1. međuispit



Zagreb, listopad 2010.

1. Zadane su komponente pasivna zvijezda (slika 1.11.), statički valni usmjeritelj (slika 1.12.) i aktivni usmjeritelj (slika 1.13.). Koji od ovih uređaja mogu podržati sljedeće istovremene konekcije? (**Napomena:** na slici 1.12. greškom su krivo označeni izlazne valne duljine na 3. ulaznom portu. Njihove oznake trebaju biti kao i na svim ostalim ulazima – gornji izlaz λ_1 , drugi λ_2 , treći λ_3 i donji λ_4).

- a) Valna duljina λ_1 od ulaznog vlakna 1 do izlaznog vlakna 1.
Valna duljina λ_1 od ulaznog vlakna 1 do izlaznog vlakna 2.
Valna duljina λ_2 od ulaznog vlakna 2 do izlaznog vlakna 1.
- b) Valna duljina λ_2 od ulaznog vlakna 1 do izlaznog vlakna 2.
Valna duljina λ_2 od ulaznog vlakna 2 do izlaznog vlakna 1.
Valna duljina λ_3 od ulaznog vlakna 3 do izlaznog vlakna 1.
- c) Valna duljina λ_1 od ulaznog vlakna 1 do izlaznog vlakna 1.
Valna duljina λ_2 od ulaznog vlakna 2 do izlaznog vlakna 1.
Valna duljina λ_3 od ulaznog vlakna 3 do izlaznog vlakna 1.

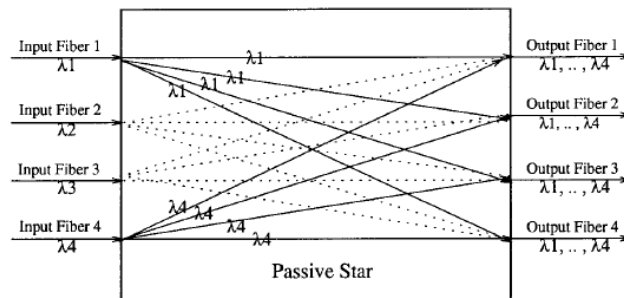


Figure 1.11 A 4×4 passive star.

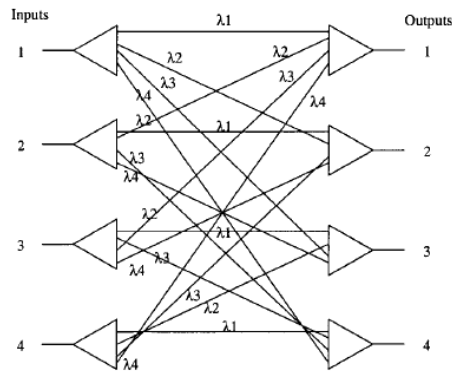


Figure 1.12 A 4×4 passive router (four wavelengths).

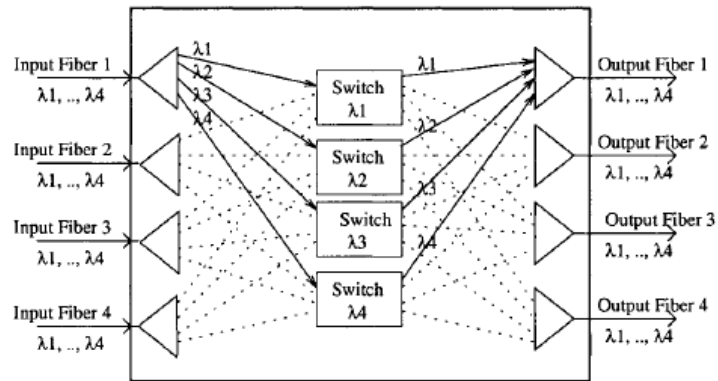


Figure 1.13 A 4×4 active switch (four wavelengths).

Rješenje:

- Pasivna zvijezda podržava višedredišno slanje (multicast) na λ_1 s ulaznog vlakna 1 na izlaze 1 i 2. Ostale arhitekture ne podržavaju ovaj multicast.
 - Pasivna zvijezda ne podržava slanje različitih valnih duljina s istog ulaznog vlakna (wavelength reuse), pa ne može podržati dvije različite konekcije na valnoj duljini λ_2 . Pasivni router može podržati ove konekcije samo ako su one u skladu s njegovom fiksnom matricom usmjeravanja, što je u ovom slučaju zadovoljeno. I aktivni usmjeritelj ih može podržati.
 - Sva tri uređaja podržavaju konekcije.
2. $N \times N$ matrica usmjeravanja za statički usmjeritelj zove se $N \times N$ Latin Square. Je li sljedeća matrica Latin Square, odnosno, može li ona biti matrica usmjeravanja za statički usmjeritelj?

$$A = \begin{matrix} & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 \\ \lambda_1 & & & & \\ \lambda_2 & & & & \\ \lambda_3 & & & & \\ \lambda_4 & & & & \end{matrix}$$

Rješenje:

Retci matrice označavaju ulazne, a stupci izlazne portove usmjeritelja. Ovo nije valjana matrica usmjeravanja za statički usmjeritelj jer na isti izlazni port (port 3) usmjerava signale s ulaznih portova 1 i 3 na istoj valnoj duljini λ_3 .

3. Slika 1.17 prikazuje jednostavnu WDM mrežu s valnim usmjeravanjem. Dvije konekcije već su uspostavljene: A-B na valnoj duljini λ_1 i C-B na λ_2 . Uspostavite konekcije D-B i C-D koristeći minimalan broj valnih duljina. Na koji bi se način rješenje promijenilo kada bi nam u svakom čvoru na raspolaganju bili pretvornici valnih duljina?

Rješenje:

Uspostavi konekciju D-B koristeći valnu duljinu λ_3 i konekciju C-D koristeći λ_1 .

Rješenje se uz prisutnost valnih pretvornika ne mijenja.

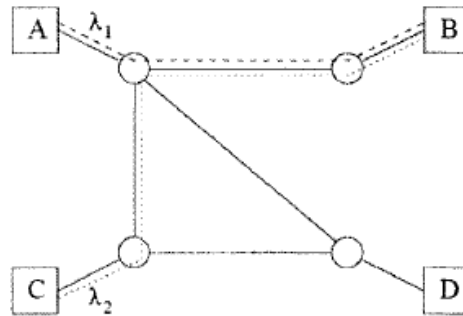


Figure 1.17 A wavelength-routed WDM network.

4. Signal snage 1 mW na valnoj duljini 1550 nm prenosi se preko 5 km optičkog vlakna. Prolazi kroz 8x8 pasivni raspoređnik i još 15 km vlakna prije nego dođe do odredišta. Ne koriste se pojačala. Kolika je snaga signala na odredištu?

L – duljina [km]

$P(L)$ – snaga signal nakon L km [dB]

A – zagušenje [dB/km] \rightarrow na 1550 nm $A = 0.2$ dB/km

$P(0)$ – snaga signala na predajniku [dB]

$$P(L) = 10^{\frac{A \cdot L}{10}} \cdot P(0)$$

Rješenje:

$L_1 = 5$ km

$L_2 = 15$ km

$$P(L_1) = 10^{\frac{0.2 \text{ dB/km} \cdot 5 \text{ km}}{10}} \cdot 1 \text{ mW} = 0.794 \text{ mW}$$

$$P(\text{star}) = \frac{0.794 \text{ mW}}{8} = 0.0993 \text{ mW}$$

$$P(L_2) = 10^{\frac{0.2 \text{ dB/km} \cdot 15 \text{ km}}{10}} \cdot 0.0993 \text{ mW} = 0.0498 \text{ mW}$$

5. Pasivna zvijezda 16 x 16 sastavljena je od spreznika kao na slici 2.7. Svaki sprežnik unosi gubitak od 3 dB. Svaki klijent se nalazi 10 km udaljen od zvijezde, a gušenje signal iznosi 0.2 dB/km. Ako svaki klijent mora primiti signal razine snage barem 0.01 mW kako bi ga mogao ispravno prepoznati, koja mora biti razina snage na svakom klijentu?

Rješenje:

$P_{(izl)} = 0,01 \text{ mW}$ – minimalna razina snage na prijmniku

$P(0) = ?$ – potrebna snaga na predajniku

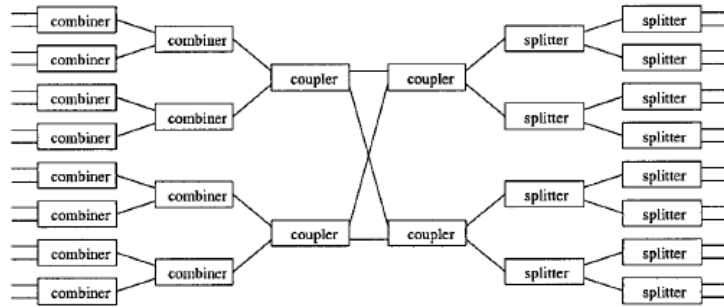


Figure 2.7 A 16×16 passive-star coupler.

Ukupni gubici unutar zvijezde:

$\text{Loss}_1 = 6 \times 3 \text{ dB} = 18 \text{ dB}$ (svaki signal mora prijeći 6 spreznika na putu od ulaza do izlaza iz zvijezde)

Ukupni gubici na vlaknu:

$\text{Loss}_2 = 2 \times 10 \text{ km} \times 0.2 \text{ dB/km} = 4 \text{ dB}$

Ukupni gubici:

$\text{Loss} = \text{Loss}_1 + \text{Loss}_2 = 22 \text{ dB}$

$$P_{(izl)} = 10^{\frac{22 \text{ dB}}{10}} \cdot P(0)$$

$$10^{\frac{22}{10}} \cdot P(0) \geq 0,01 \text{ mW}$$

$$P(0) \geq 1,58 \text{ mW}$$

6. Optička pojačala se pri velikim razinama izlazne snage nalaze u zasićenju. Neka je izlazna snaga EDFA pojačala u zasićenju 20 mW, a njegov gain 5dB/mW snage pumpe. Snaga pumpe je 5 mW. Koja je najveća razina ulazne snage koja može biti pojačana bez da pojačalo ode u zasićenje?

Rješenje:

$G = 5 \text{ mW} \times 5 \text{ dB/mW} = 25 \text{ dB}$ ukupno pojačanje

$$P_{izl} \leq 20 \text{ mW} = 10 \log \frac{20 \text{ mW}}{1 \text{ mW}} = 13 \text{ dB} \text{ konačna snaga na izlazu}$$

$$P_{ul} + G = P_{izl}$$

$$P_{ul} < -12 \text{ dB} \Rightarrow 0,06 \text{ mW}$$

7. Ako laserska dioda ima širinu spektra od 0.2 nm, a radi u drugom optičkom prozoru (1310 nm), kolika joj je odgovarajuća širina spektra u GHz?

Rješenje:

$$\lambda = 1310 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\Delta\lambda = 0,2 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\Delta f = \frac{c}{\lambda^2} \cdot \Delta\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{(1310 \cdot 10^{-9} \text{ m})^2} \cdot 0,2 \cdot 10^{-9} \text{ m} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,7161 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2} \cdot 0,2 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 3,4963 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1} \approx 35 \text{ GHz}$$

8. Želimo dizajnirati sustav sa 16 kanala, svaki brzine 1Gbit/s. Koliki nam je frekvencijski pojas potreban? Širina frekvencijskog pojasa svakog kanala dva je puta veća od njegove brzine, a potrebni razmak između kanala je 3 puta veći od širine frekvencijskog pojasa jednog kanala.

Rješenje:

B [Gbit/s] = 1Gbit/s - brzina svakog kanala

2B - širina frekvencijskog pojasa svakog kanala

3 x 2B = 6B - razmak između kanala

W - broj kanala (broj razmaka između kanala = W-1)

$$\Delta f = 2B \cdot W + 6B \cdot (W - 1) = 2 \text{ GHz} \cdot 16 + 3 \cdot 2 \text{ GHz} \cdot 15 = 122 \text{ GHz}$$

9. U optičkom komunikacijskom sustavu raspon predajnika je od 1450 nm do 1600 nm, a raspon prijamnika je od 1500 nm do 1650 nm. Koliko se kanala brzine 1 Gbit/s može prenijeti ovim sustavom? Specifikacija sustava je ista kao u zadatku 8.

Rješenje:

$\Delta T = [1450, 1600 \text{ nm}]$ – raspon predajnika

$\Delta R = [1500, 1650 \text{ nm}]$ – raspon prijamnika

B = 1Gbit/s

$BW_T = \Delta\lambda = [1500, 1600 \text{ nm}]$ – širina na kojoj se može ostvariti konekcija, presjek raspona predajnika i prijamnika

$\lambda = 1500 \text{ nm} + (1600 \text{ nm} - 1500 \text{ nm})/2 = 1550 \text{ nm}$ – centralna valna duljina u rasponu BW_T

$$\Delta f = \frac{c \cdot \Delta\lambda}{\lambda^2} = \frac{c \cdot BW_T}{\lambda^2} = 12,5 \text{ THz}$$

$$W = \frac{\Delta f + 6B}{8B} = 1563 \text{ kanala}$$

10. Neka je raspon optičkog predajnika od 1550 nm do 1560 nm, a prijamnika od 1555 nm do 1570 nm. Željena brzina prijenosa podataka je 1 Gbit/s. Pretpostavimo da je potreban razmak kanala 10 puta veći od brzine prijenosa podataka na kanalu. Širina frekvencijskog pojasa svakog kanala dva je puta veća od njegove brzine. Koliko je maksimalno kanala moguće prenijeti ovim sustavom?

$$\Delta T = [155$$
$$\Delta R = [1555, 1570 \text{ nm}] - \text{raspon prijarnika}$$
$$B = 1\text{Gbit/s}$$
$$BW_T = \Delta\lambda = [1555, 1560 \text{ nm}]$$
$$\lambda = 1555\text{nm} + (1560\text{nm} - 1555\text{nm})/2 = 1575,5 \text{ nm}$$

$$\Delta f = \frac{c \cdot \Delta \lambda}{\lambda^2} = \frac{c \cdot BW_T}{\lambda^2} = 412,23 \text{ GHz}$$

$$\Delta f = 2B \cdot W + 10B(W - 1)$$

$$W = \frac{\Delta f + 10B}{12B} = 35 \text{ kanala}$$

1) H-2-3-4-8-9-E

2) C-7-8-4-F

3) B-6-7-8-9-E

4) D-10-7-C

U kojim je čvorovima potrebno koristiti pretvarače valnih duljina i koliko je konverzija potrebno u tim čvorovima? Objasnite.

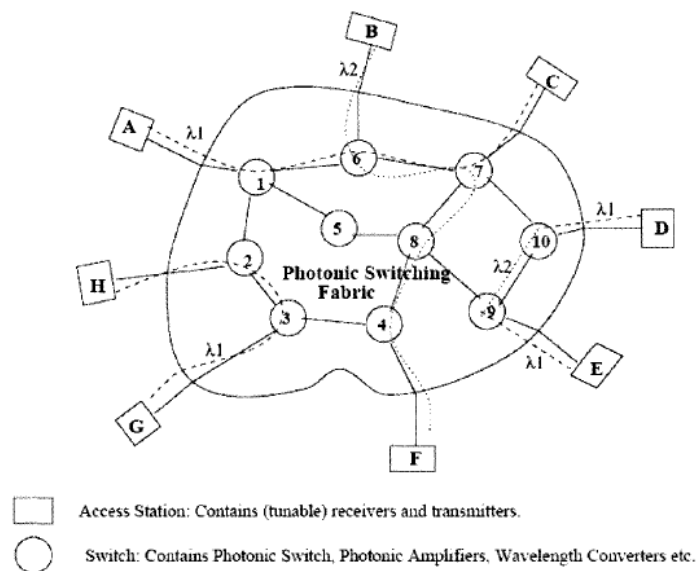


Figure 2.37 Lightpath routing in a WDM WAN.

Rješenje:

Konekcija 3 dijeli zajedničke fizičke linkove 8-9 i 9-E s konekcijom 1, što znači da im barem na tim linkovima ne mogu biti dodijeljene iste valne duljine. Konekcija 3 dijeli fizički link 7-8 s konekcijom 2, pa i konekcija 2 mora imati različitu valnu duljinu od konekcije 3 barem na tom linku. Kada konekcije 1 i 2 ne bi dijelile fizički link 4-8, mogle bi imati istu valnu duljinu, različitu od one konekcije 3, ali to ovdje nije slučaj. Zbog toga se jednoj od tih konekcija mora promijeniti valna duljina u čvoru 8.