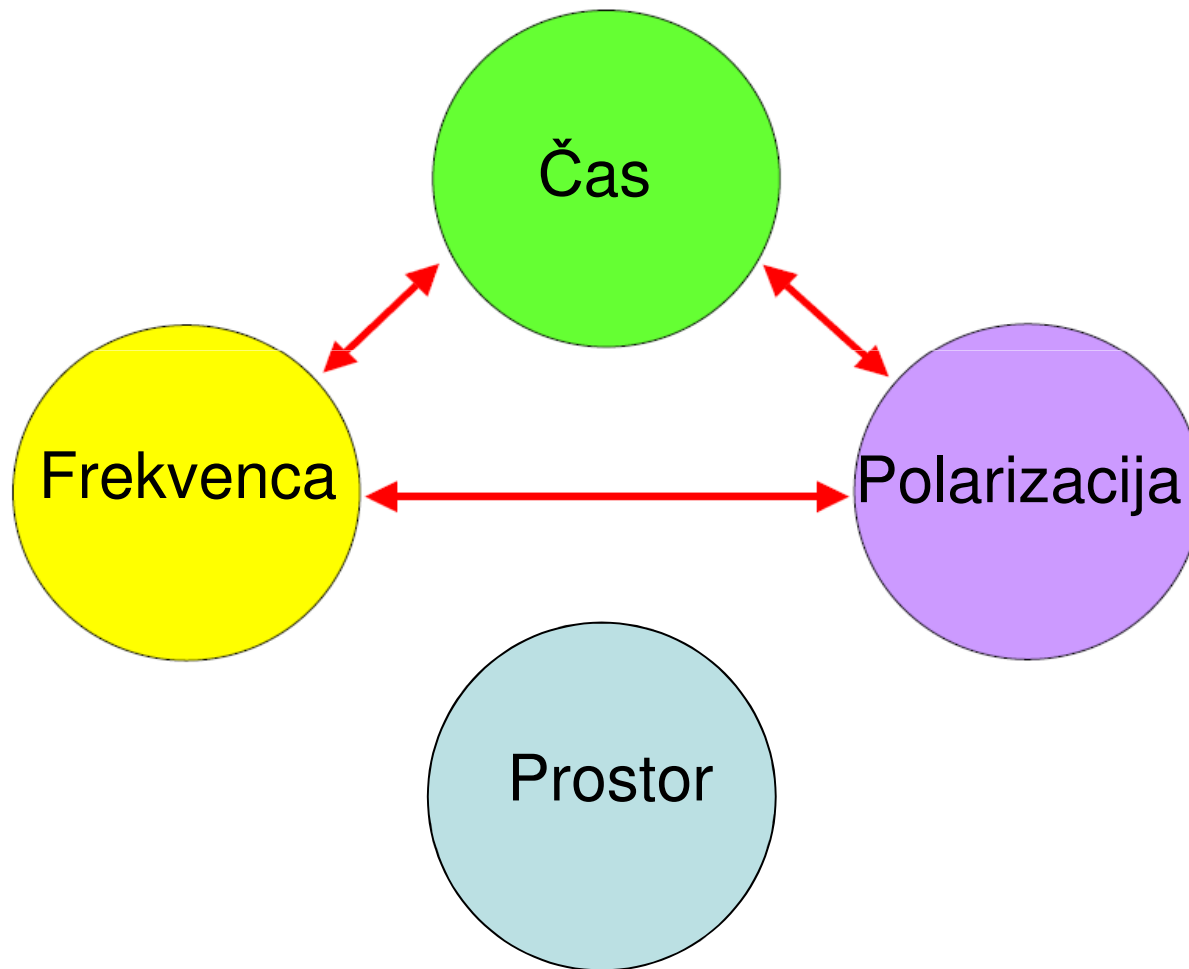


Razvrščanje

1



Mobitel d.d.,
izobraževanje

1. 10. 2010,
predavanje 16

Prof. dr. Jožko
Budin

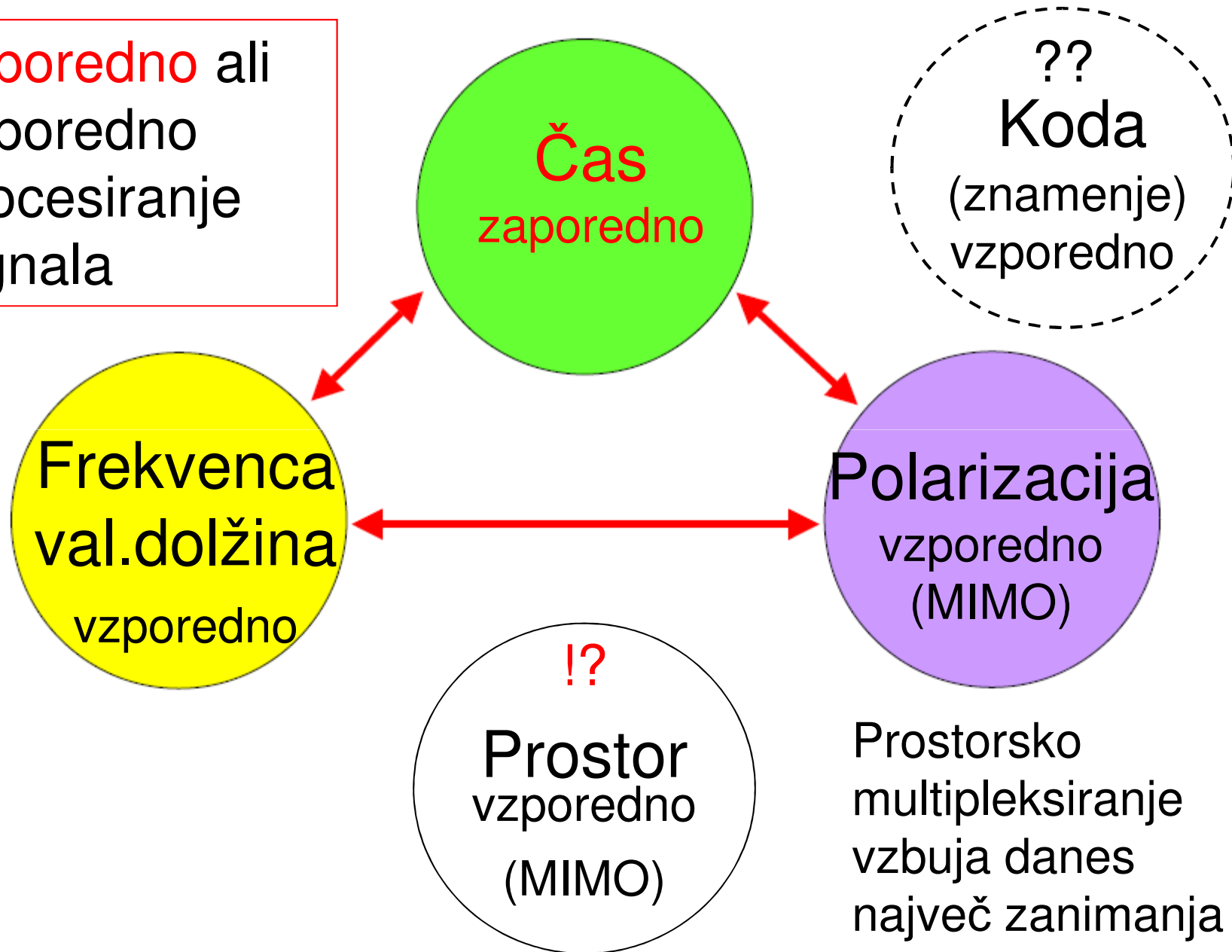
Vsebina

Vrste multipleksiranja:

- Časovno, TDM, ETDM, OTDM
- Frekvenčno, FDM
- Ortogonalno frekvenčno, OFDM
- Valovno, WDM
- Podnosilniško, SCM
- Kodno, CDM
- Prostorsko, SDM

Čas, frekvenca, polarizacija in prostor ³

- **Zaporedno** ali vzporedno procesiranje signala



Načini povečevanja zmogljivosti prenosa $B \times L$

4

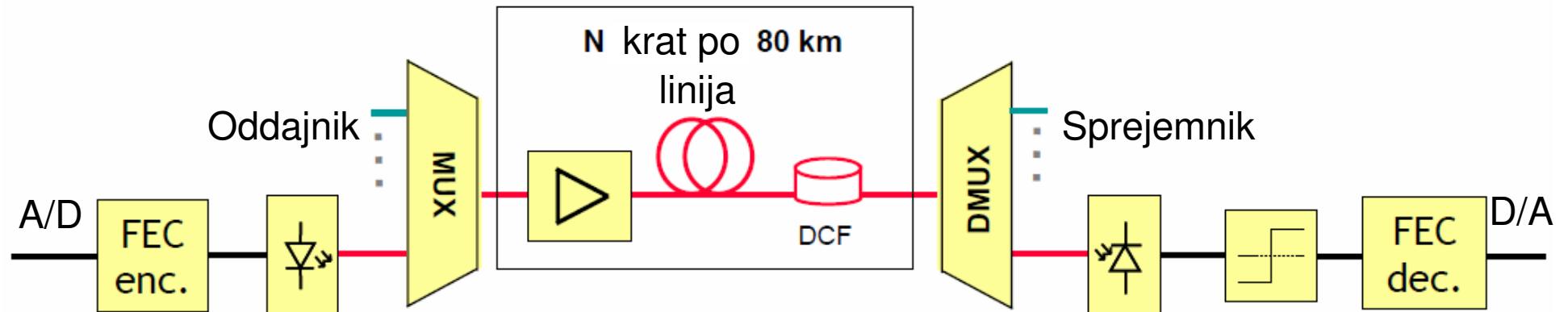
- 1. Povečevanje skupnega bitnega prenosa B (b/s) z multipleksiranjem:**
 - Večanje bitne hitrosti TDM kanala – TDM Mux;
 - Večanje števila WDM kanalov – WDM Mux;
 - Podvojitvev zveze z ortog. polarizacijama - POL Mux.
- 2. Povečevanje dosega L (km):**
 - Ojačevanje in kompenzacija disperzije, regeneracija;
 - OFDM, FEC.
- 3. Izkoriščanje razpoložljivega spektra:**
 - Spektralni izkoristek; povečuje bitni pretok (b/s) pri omejenem spektru (npr. vlakenskega ojačevalnika).
 - Načini kodiranja in modulacijski formati.

Operacije s signalom

- A/D in D/A pretvorba
- Kanalsko kodiranje in dekodiranje (FEC)
- Kodiranje in dekodiranje vira
- Linijsko kodiranje in dekodiranje
- Modulacija in demodulacija
- Multipleksiranje in demultipleksiranje:
čas, valovna dolžina, polarizacija in
prostor (potrebna je ortogonalnost rodov)

Optična zveza

- Konvencionalna vlakenska zveza na večje razdalje



Funkcije:

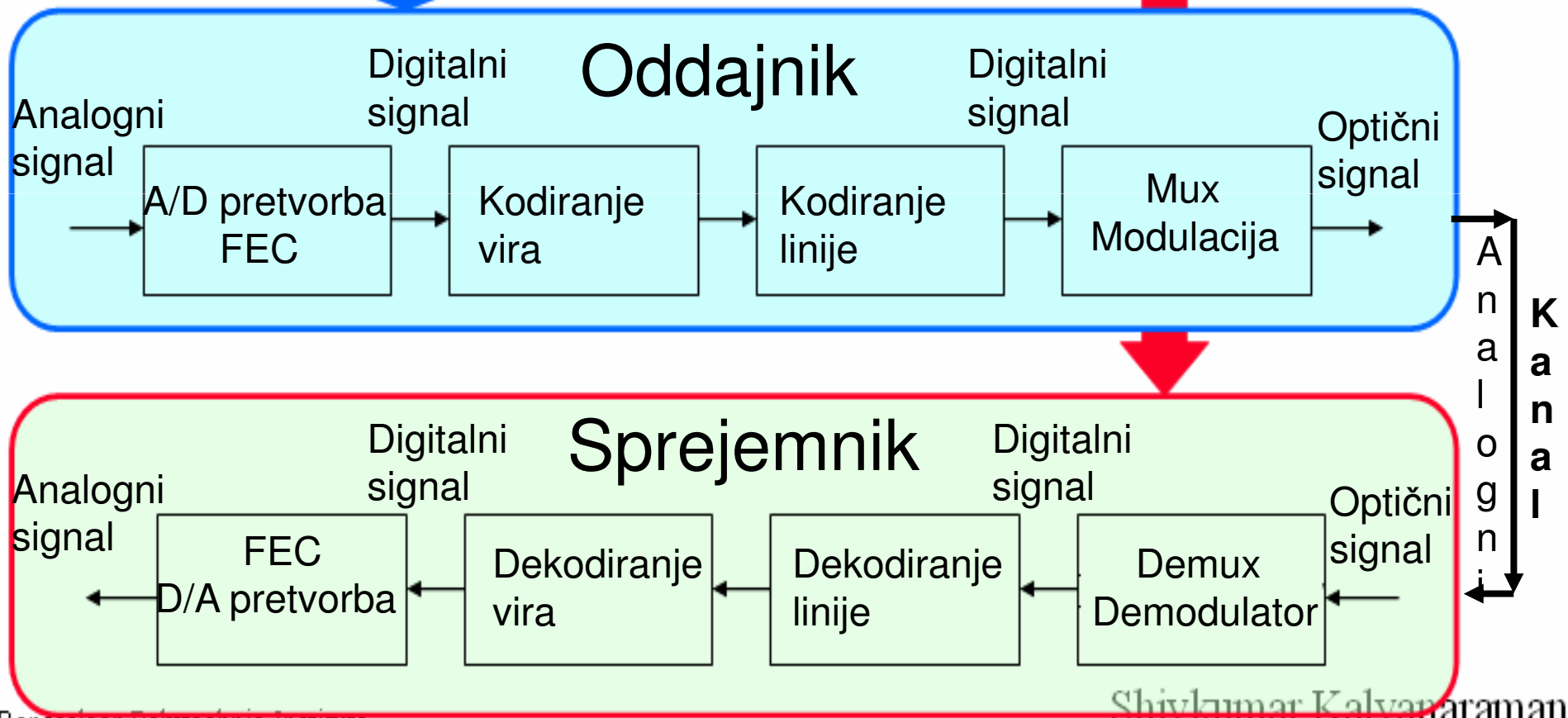
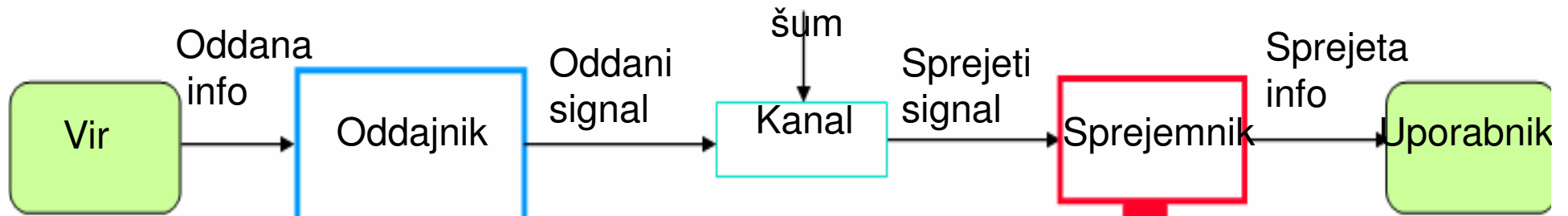
- FEC, kanalsko kodiranje
- Oddajnik, modulacija (IM-RZ, NRZ)
- Multipleksiranje: časovno, valovno, kodno
- Vlakensko ojačevanje ali regeneracija
- Prenos po odseku vlakna, N krat
- Optična kompenzacija disperzije
- Demultipleksiranje
- Sprejemnik, detekcija (DD)
- Ojačevanje v osnovnem pasu
- FEC, kanalsko dekodiranje

Z novimi tehnologijami se bo prihodnja vlakenska zveza močno spremenila. Sedanji sistem OK (OOK IM/DD) izhaja iz nekdanje telegrafije oz. iz radijskih komunikacij pred preходом na analogno modulacijo. Prihodnji sistem OK naj bi se s preходом na **koherentni sprejem** približal radijskim komunikacijam.

Signalne operacije

- **Kodiranje kanala** (Channel coding) na začetku in koncu linije
Naprejšnje kodiranje signala FEC (Forward Error Correction) za nižanje BER.
- **A/D in D/A** pretvorba (A/D, D/A conversion).
- **Kodiranje in dekodiranje vira** (Source coding), odstranitev redundance, npr. kompresija in dekompresija signala.
- **Linjsko kodiranje** (Line coding) za prilagajanje oblike impulza pogojem na liniji.
- **Modulacija in demodulacija.**

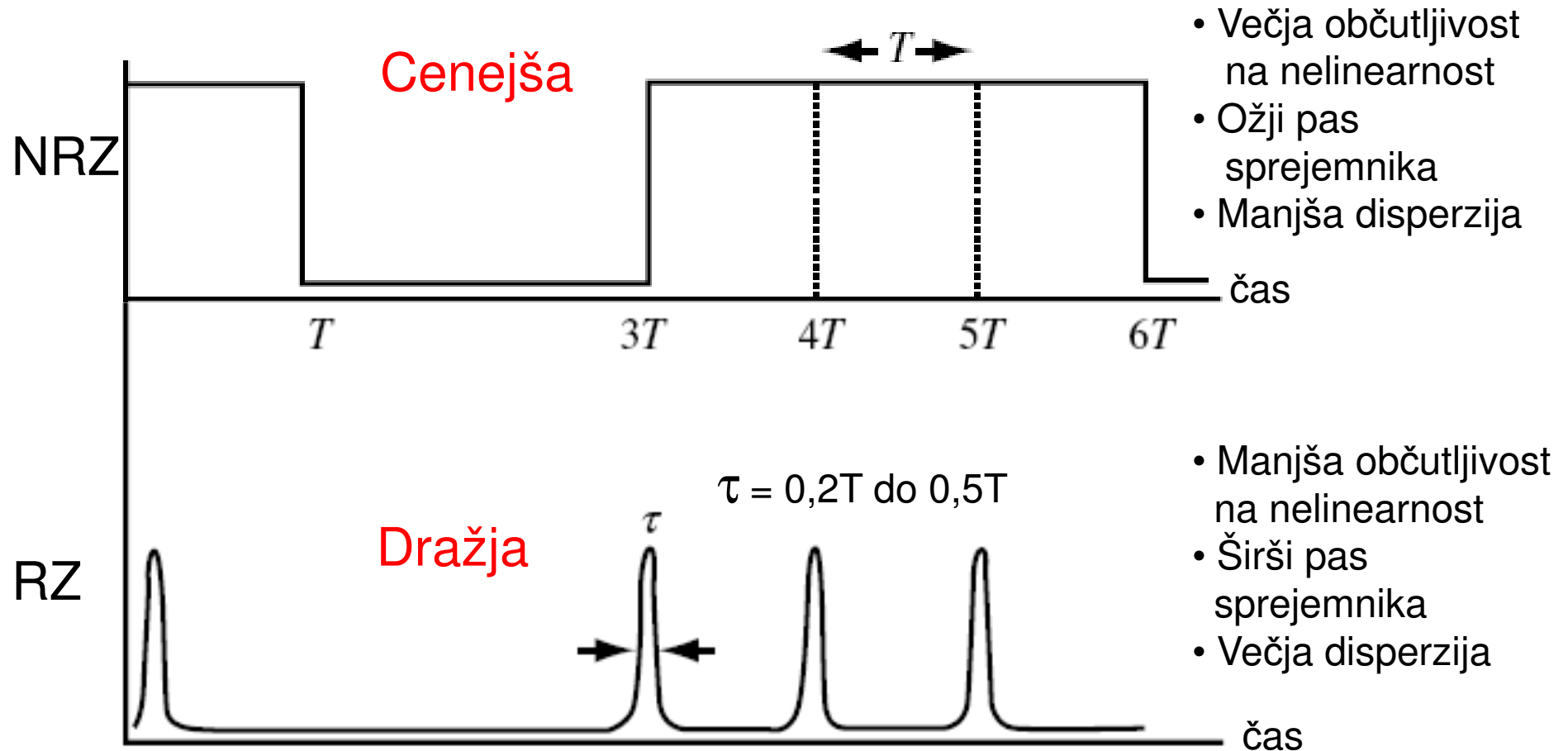
Signalne operacije v komunikacijski kanalu⁸



Oblika linijskega signala

NRZ – Non Return to Zero

RZ – Return to Zero



RZ daje boljše prenosne rezultate. Disperzijo obvladujemo z DSP. V današnjih optičnih zvezah prevladuje linijsko kodiranje NRZ predvsem zaradi nižje cene.

Kaj je Mux/Demux

- **Multipleks** (uvrščanje) je kombinacija danih (počasnih) informacijskih tokov (tributaries) iz različnih virov za hkraten (hiter) zaporeden ali vzporeden prenos po enem prenosnem mediju (vlaknu).
- **Demultipleks** (razvrščanje) je obratna kombinacija prenašanih informacijskih tokov v prvotno obliko teh tokov.
- Način prenosa:
 - zaporeden:** informacija se širi zaporedno
 - vzporeden:** informacija se širi vzporedno

Kaj je modulacija?

Uporaba **amplitude, frekvence in faze** (analognega in digitalnega) signala za zaznamovanje:

- informacije v harmoničnem signalu in prenos informacije po prenosni liniji:
- Amplitudna, fazna in amplitudno-fazna modulacija
- Dvonivojska modulacija $(A, 0)$, $(\pi, 0)$
- Več- in mnogonivojska modulacija (multi-level mod.)

Z večanjem števila nivojev večamo količino informacije v signalu. Povečujemo število bitov na simbol in s tem spektralni izkoristek (število bitov na sekundo na Hz, b/s/Hz).

Parametri signala

Izmenični signal amplitude A , frekvence ω_c in faze Φ :

$$x(t) = A \cos[\omega_c t + \Phi(t)] = \Re\{A e^{j[\omega_c t + \Phi(t)]}\}$$

A oz. $A(t)$ je konstantna ali spremenljiva amplituda nosilnika

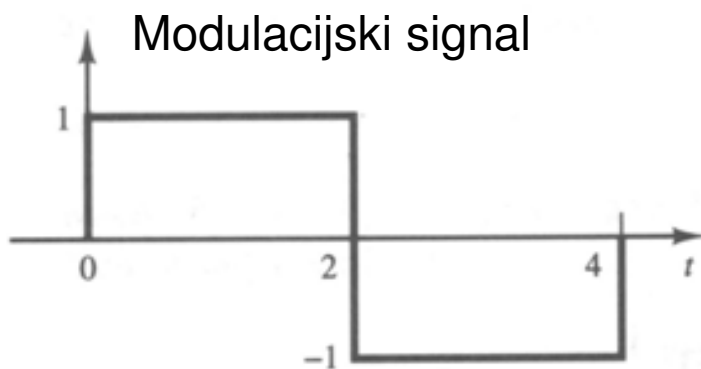
Trenutna faza nosilnika:

$$\Theta_i(t) = \omega_c t + \Phi(t),$$

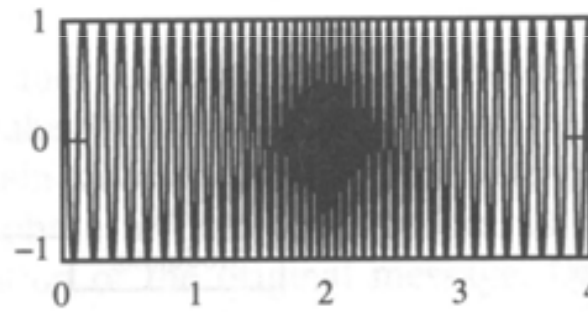
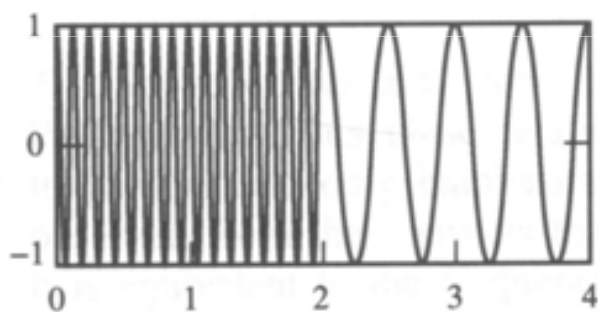
Trenutna frekvenca nosilnika:

$$\omega_i(t) = \frac{d\Theta_i(t)}{dt} = \omega_c + \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

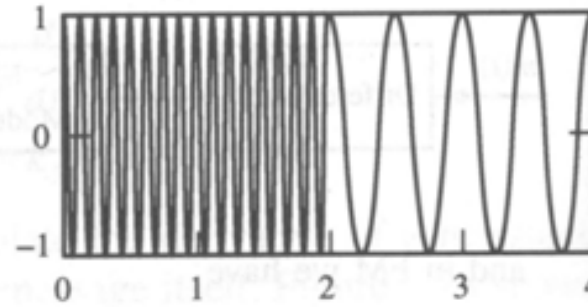
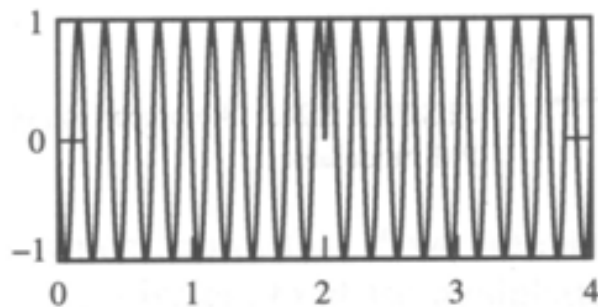
Kotna modulacija z nesinusnim signalom ¹³



FM

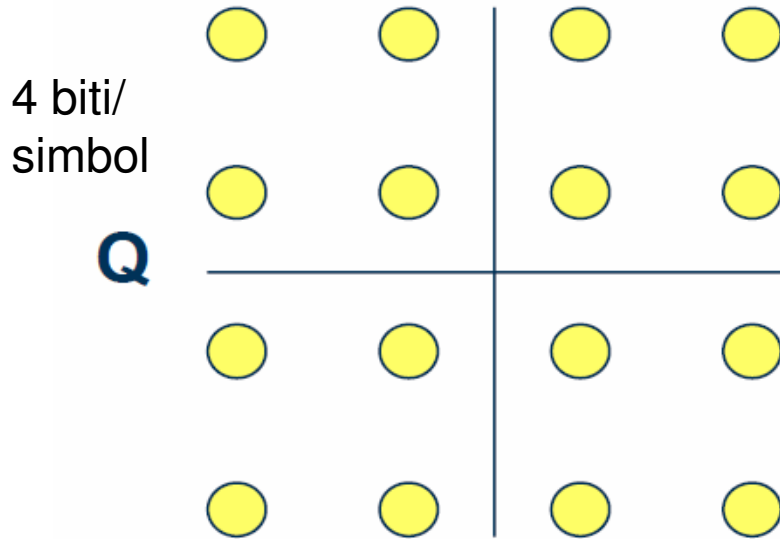
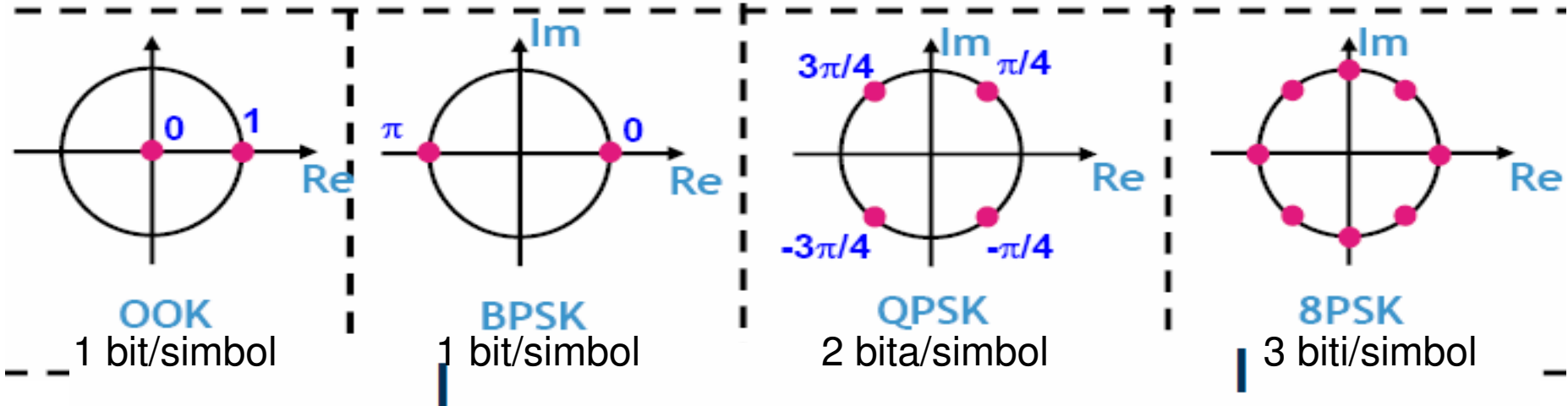


PM



Konstelacija glavnih digitalnih formatov

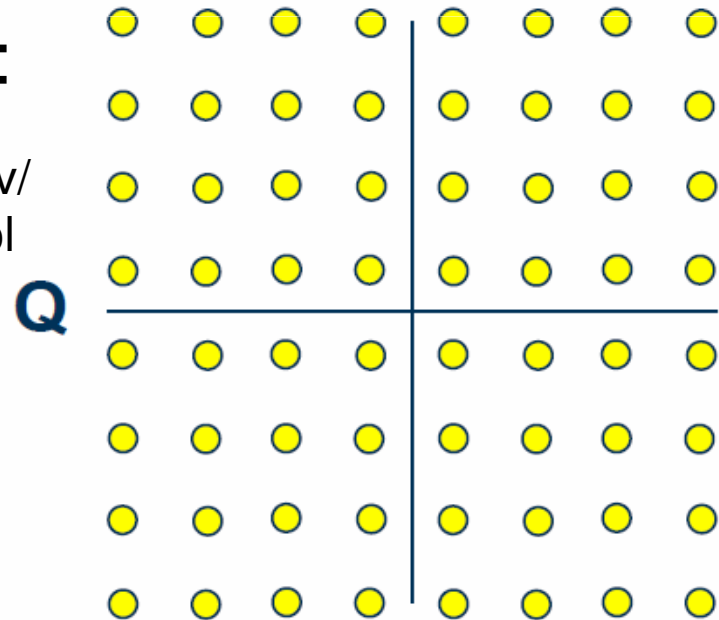
Pregled spektralno učinkovitih digitalnih modulacijskih formatov



16QAM

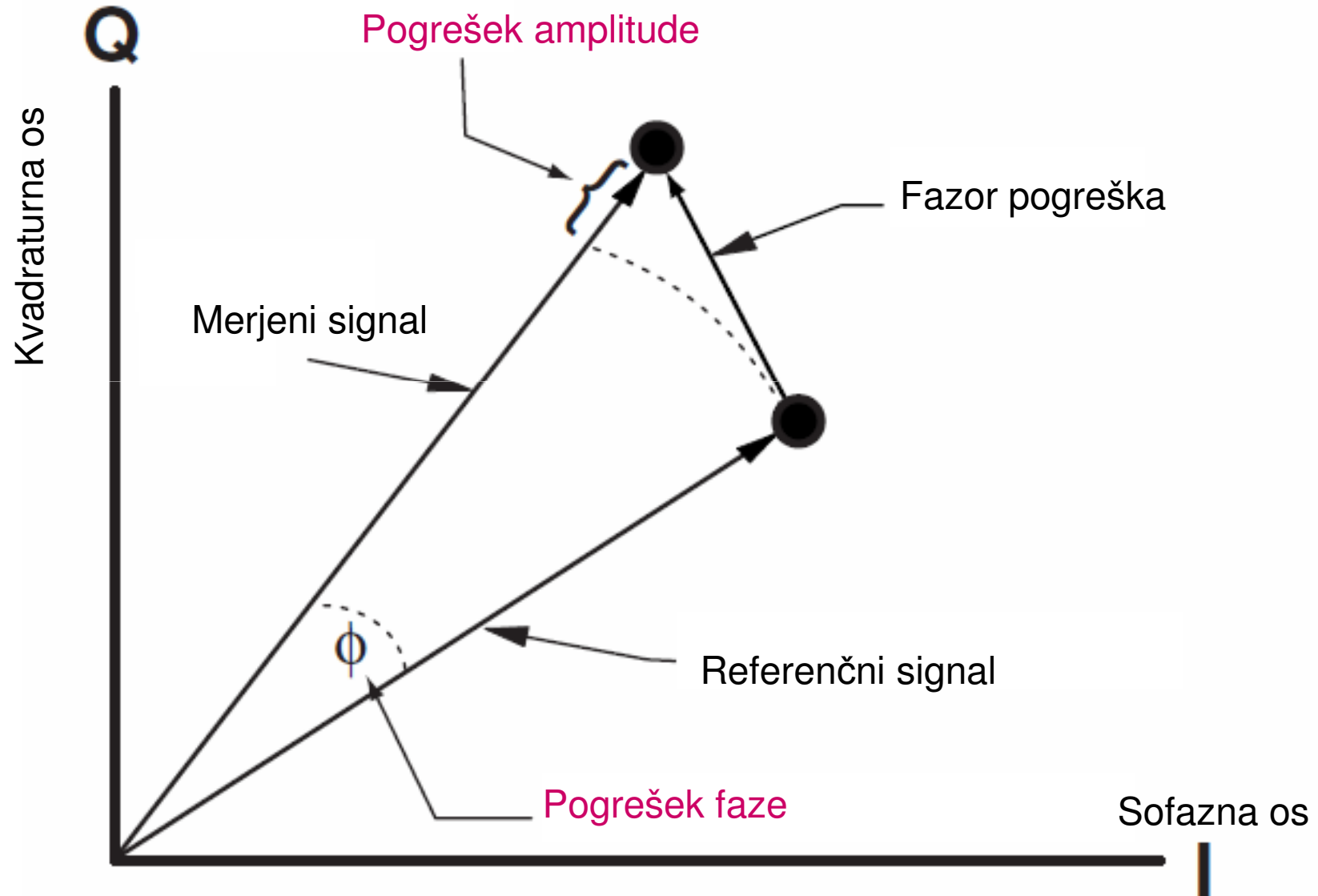
QAM:

6 bitov/
simbol

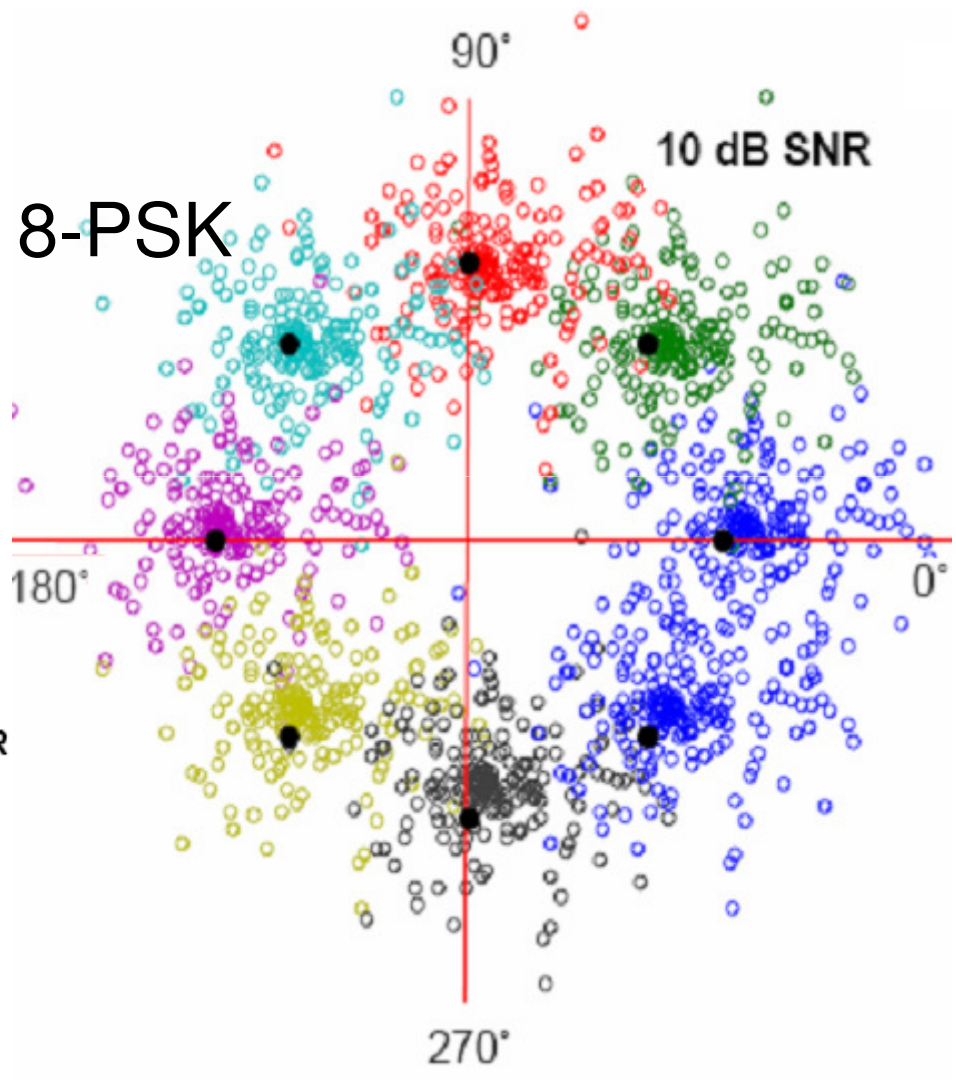
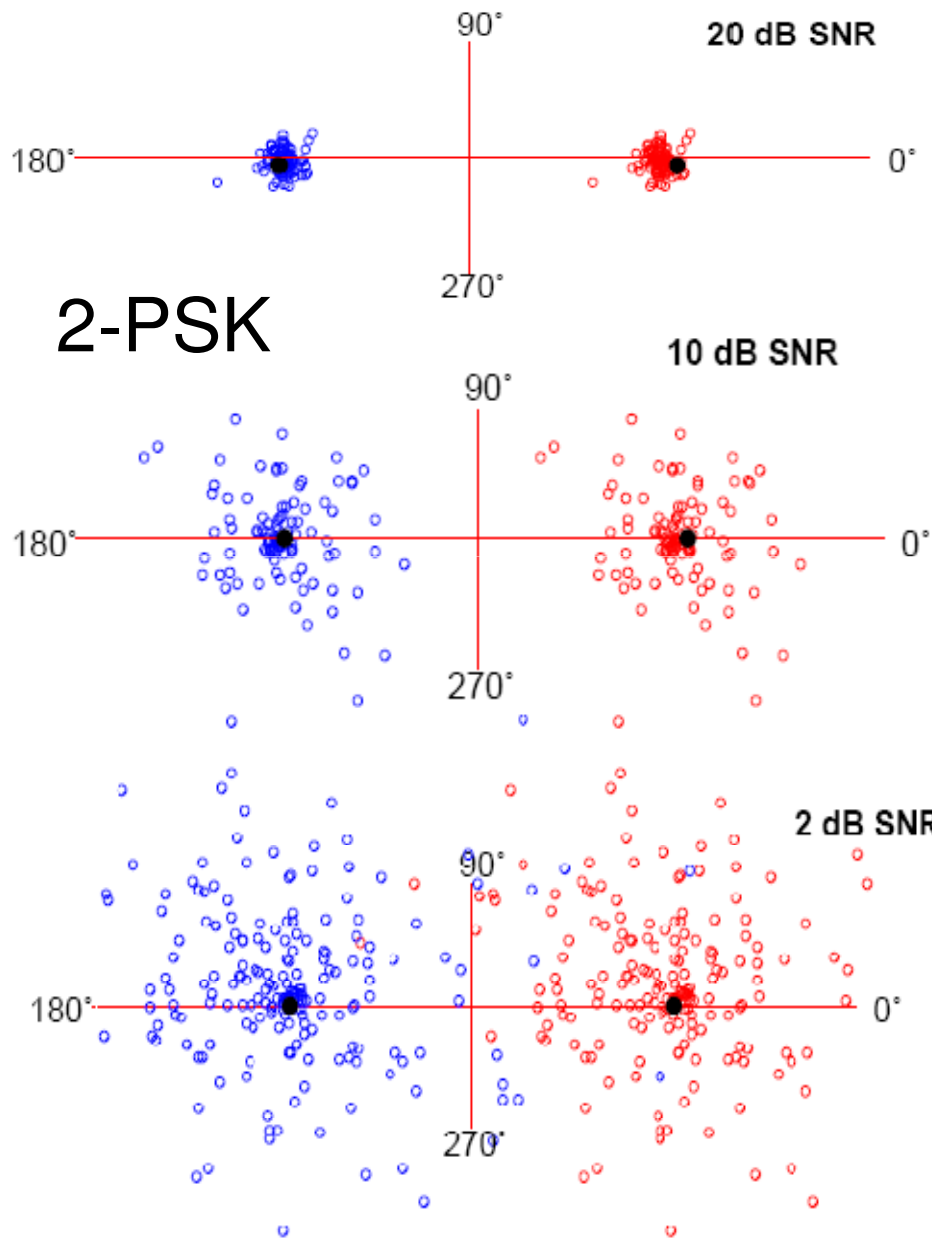


64QAM

Pogrešek amplitude in faze



Učinek šuma (2-PSK, 8-PSK)



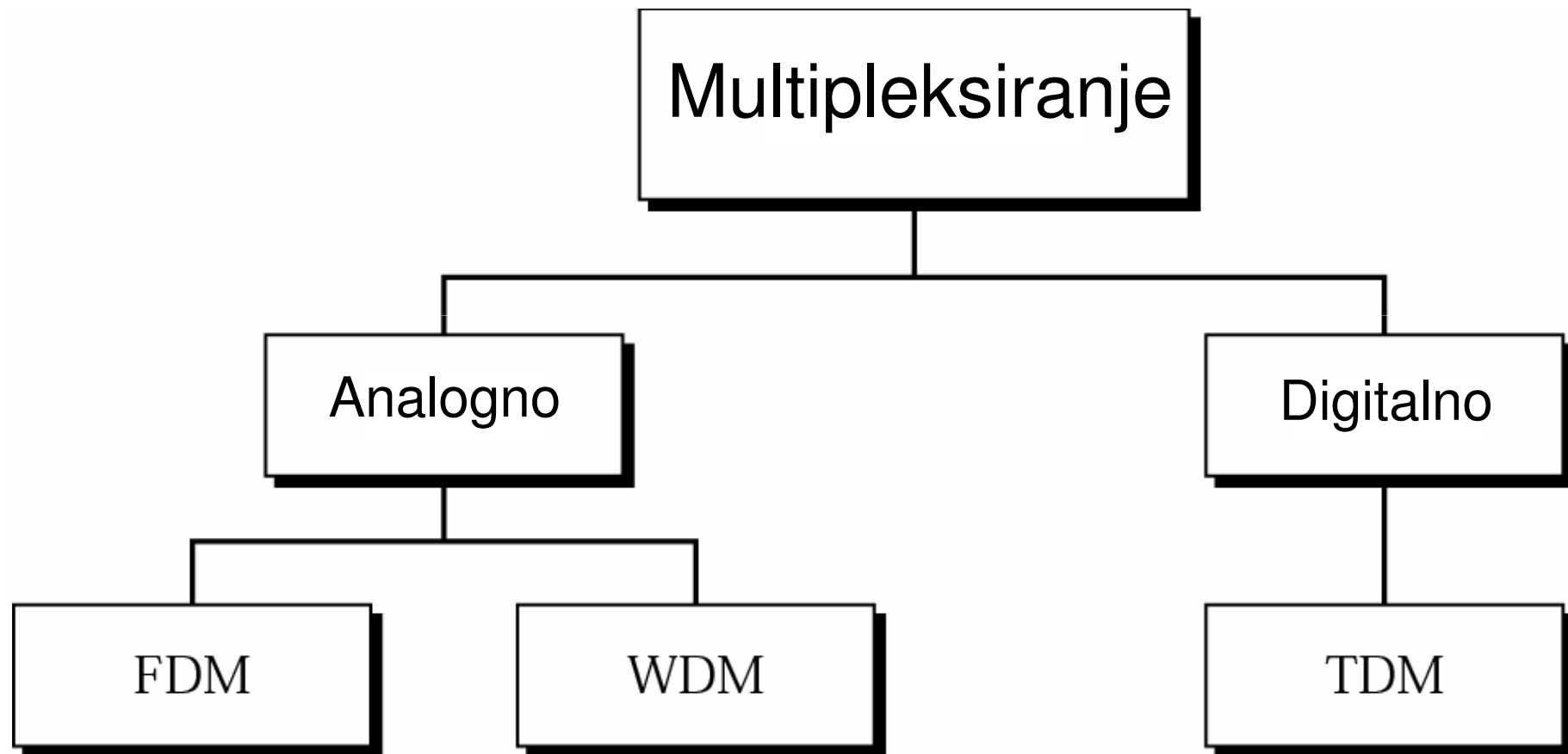
Vrste razvrščanja

- Časovno – TDM, TDMA:
(E)TDM, (O)TDM
- Frekvenčno - FDM, FDMA
OFDM, OFDMA
- Valovno – WDM, WDMA
CWDM, DWDM, xWDM
- Prostorsko – SDM
- Podnosilniško – SCM

-
- Kodno – CDM, CDMA

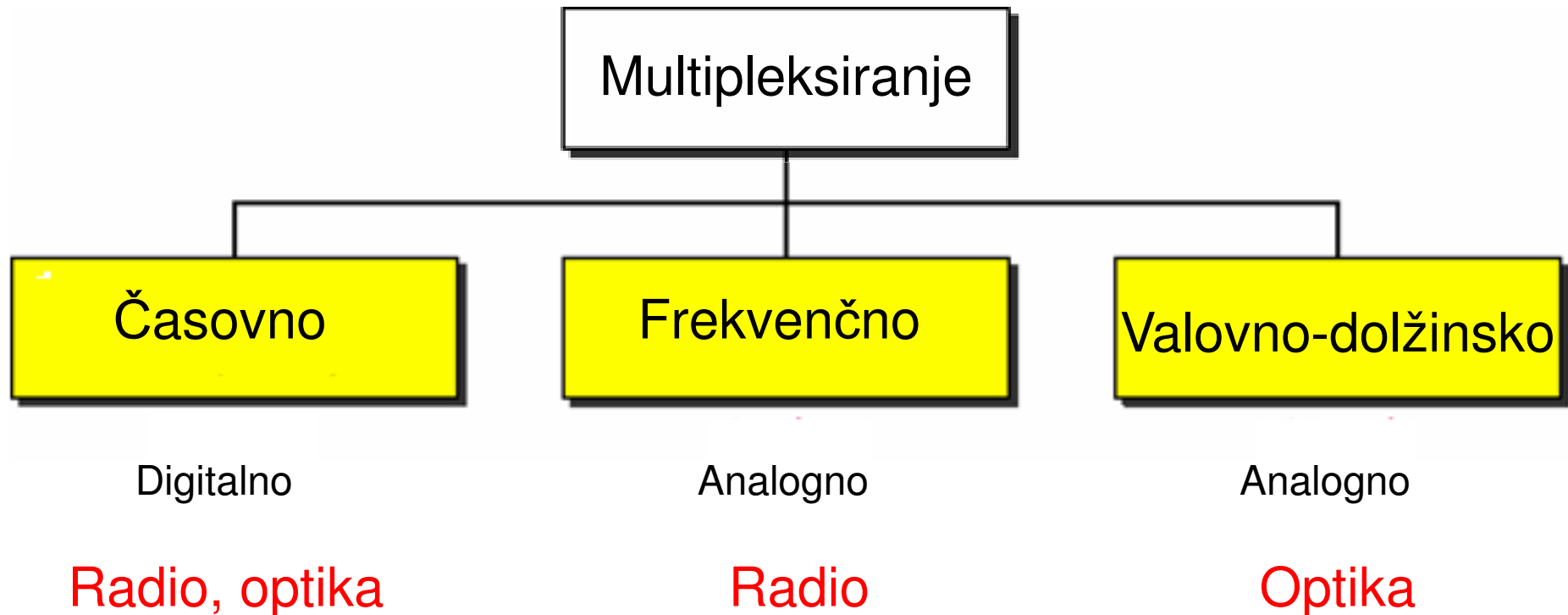
* A pomeni v dostopu (Access)

Analogno in digitalno multipleksiranje



Glavne načini v radiu in optiki

Trije glavni načini multipleksiranja v radijskih in optičnih komunikacijah:



Terminologija

- Multipleks – večje število (kompleks) posameznih enot
- Multipleksiranje – sestavljanje kompleksov
- Demultipleksiranje – razstavljanje kompleksov

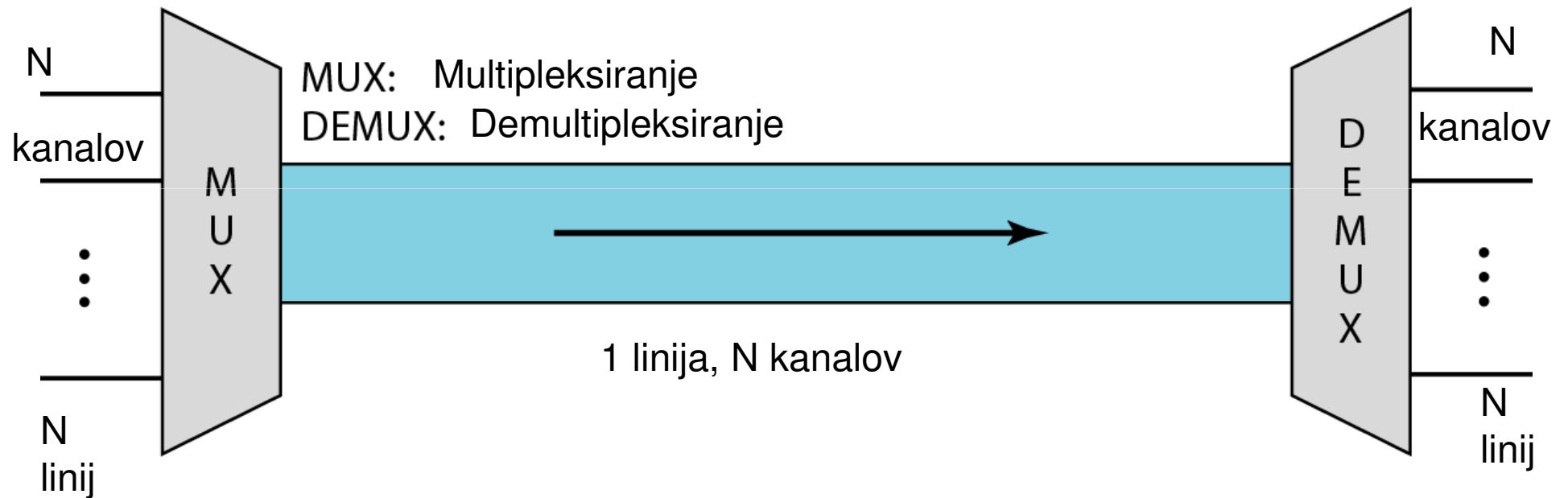
- Uvrščanje - multipleksiranje
- Razvrščanje - demultipleksiranje

To poimenovanje je glede na uporabo predpon jezikovno konsekventno, zahteva pa spremembo terminologije dosedanji rabi.

Multipleksiranje v dostopu, pomen kratic

- **TDMA** – Time Division Multiple Access
 - Done in the electrical domain , tudi optično OTDMA
- **SCMA** – Sub Carrier Multiple Access
 - FDM done in the electrical domain
- **CDMA** – Code Division Multiple Access
 - Not very popular
- **WDMA** – Wavelength Division Multiple Access (The most promising)
- **OFDMA** – Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Osnova multipleksiranja



Škodljivi pojavi v vlaknu

Slabljenje

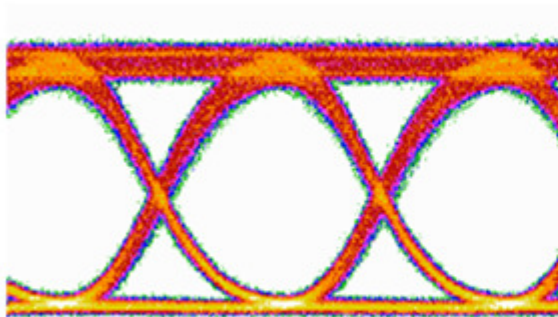
Disperzija

Nelinearnost

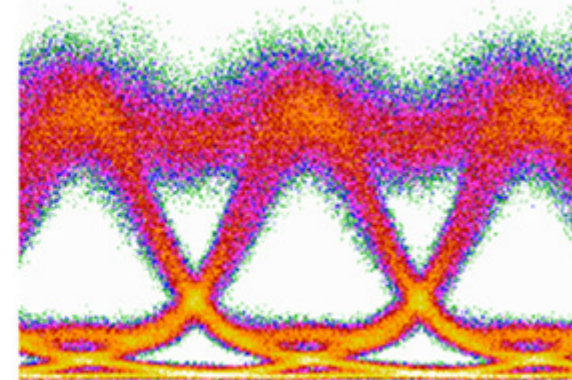
Šumi, odboji in motnje



Očesni diagram pri oddaji



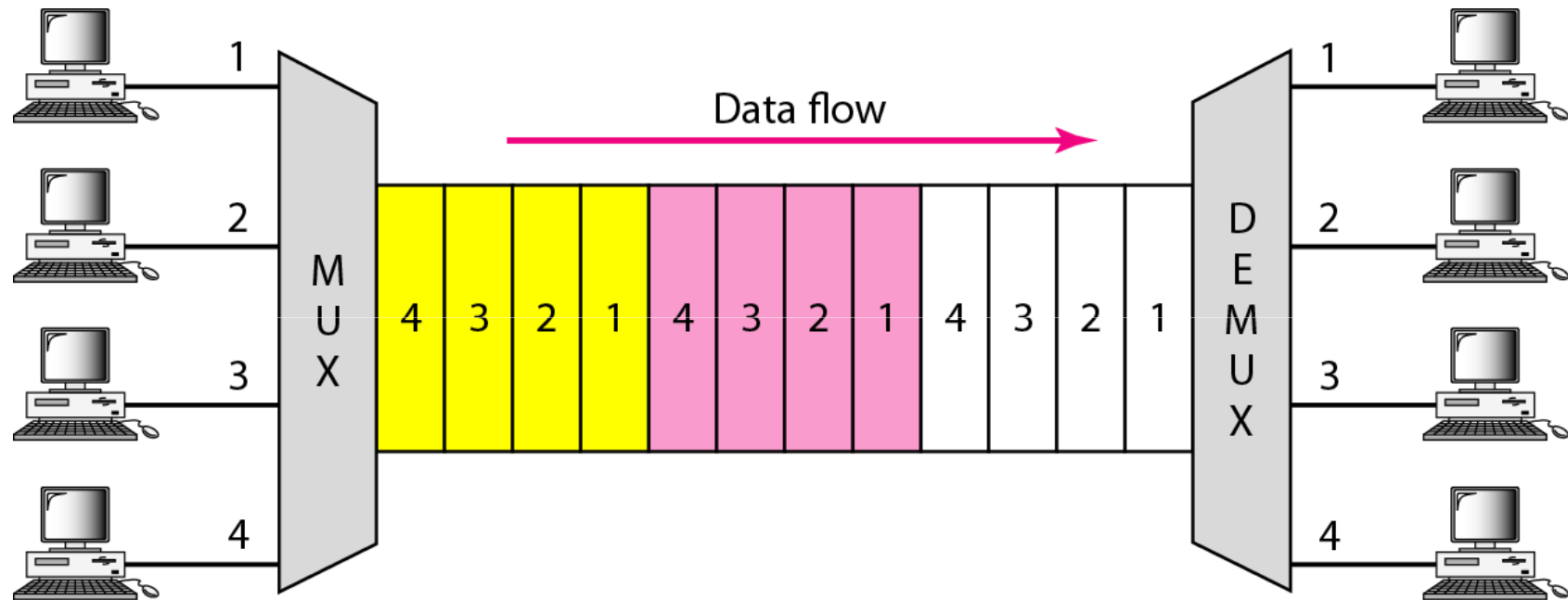
Očesni diagram po 1000 km



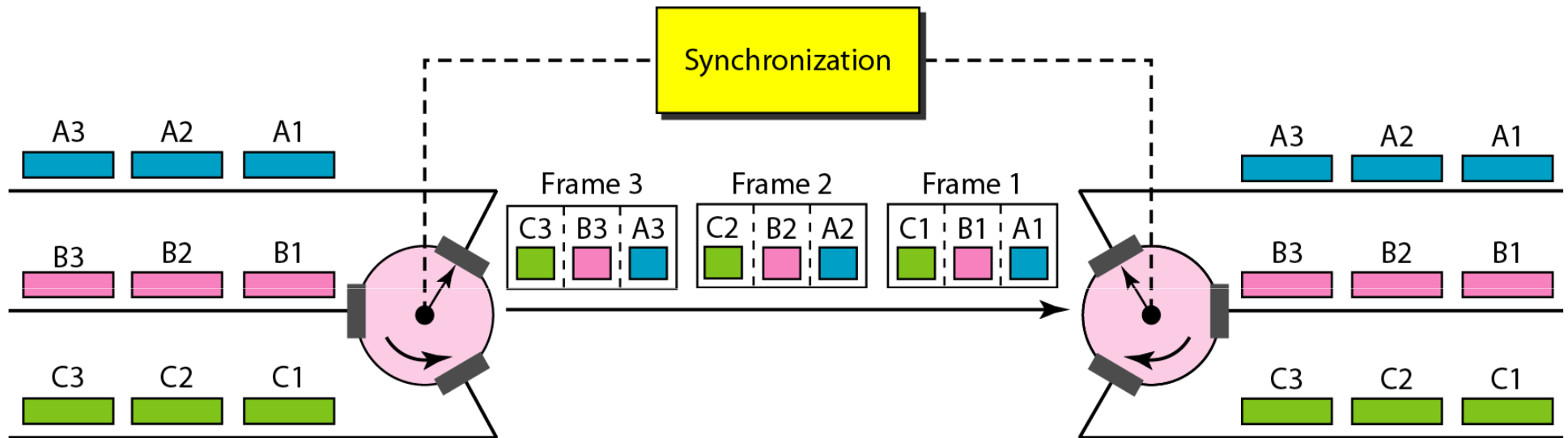
Med šumi močno prevladuje šum ojačene spontane emisije (ASE, Amplified Spontaneous Emission) nad drugimi optičnimi šumi. V RF delu spejelnika je močan toplotni šum. Neizogibni kvantni šum daje šumno mejo za najbolj občutljiv sprejem.

TDM

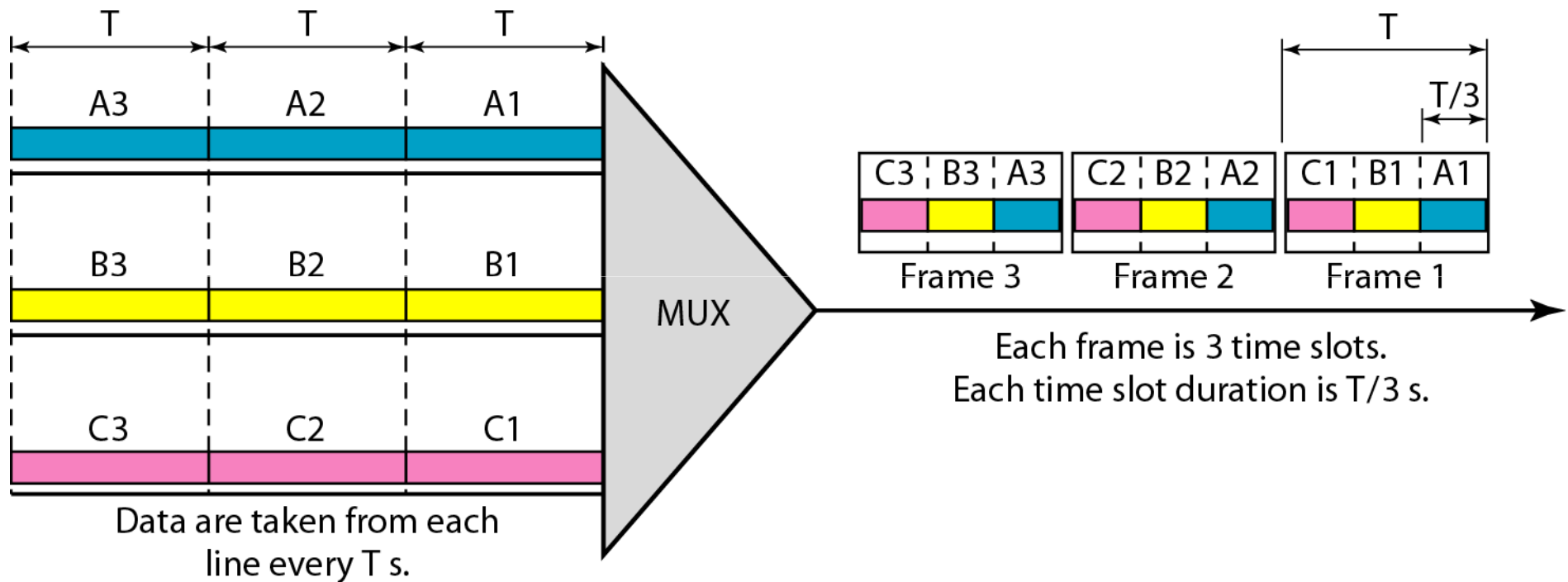
TDM digitalnega signala



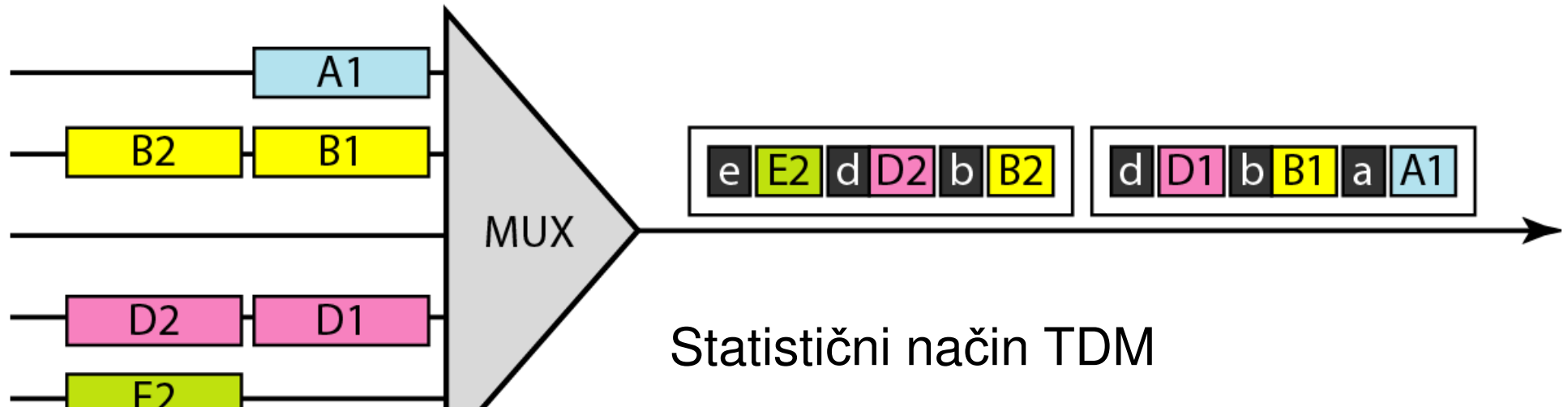
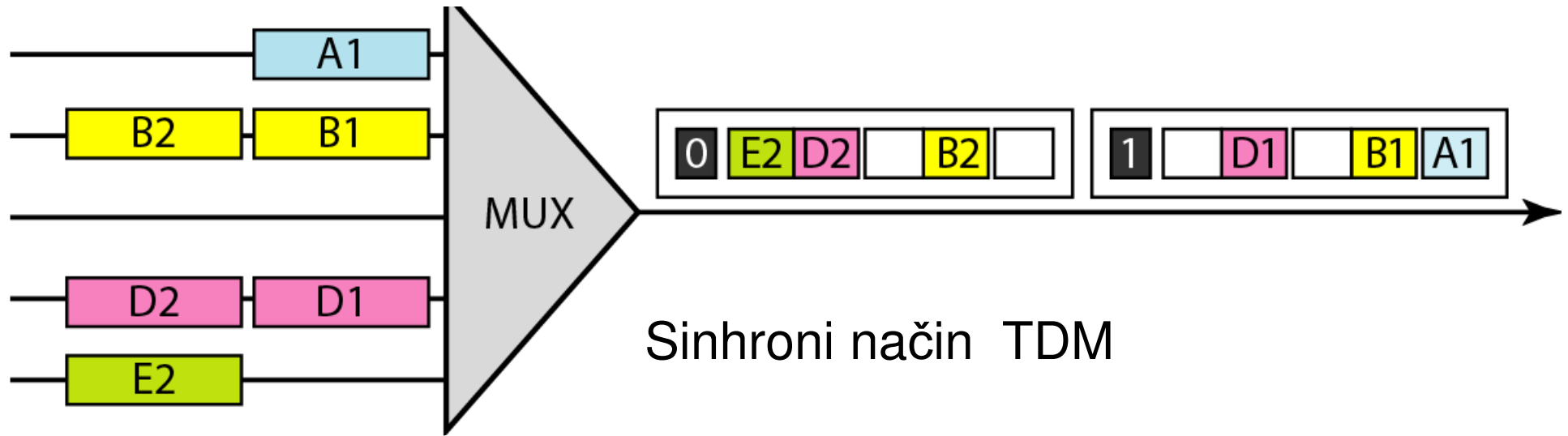
TDM, sinhronizacija

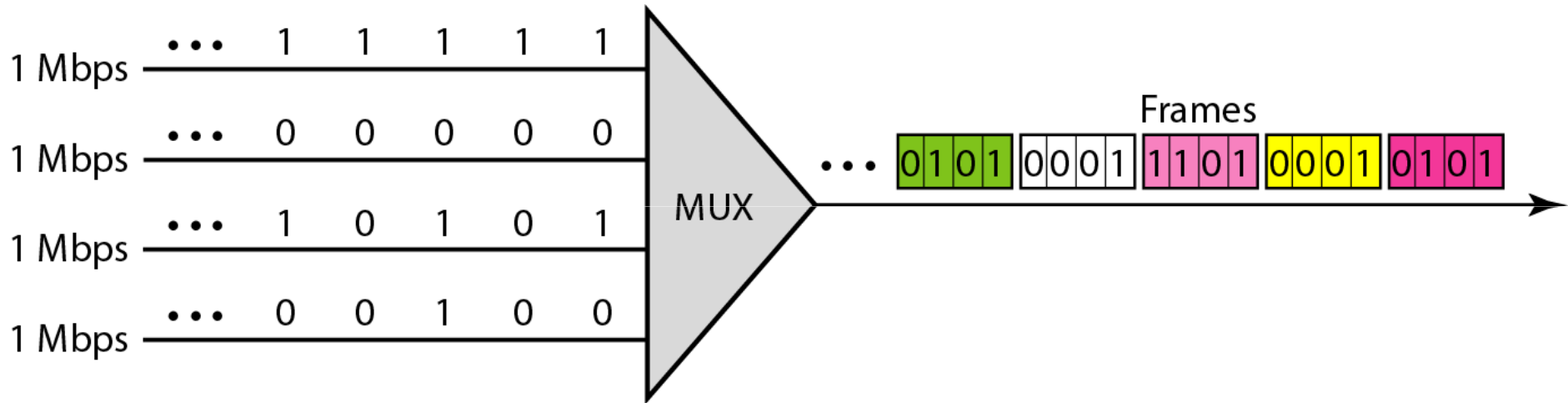


TDM, sinhroni način

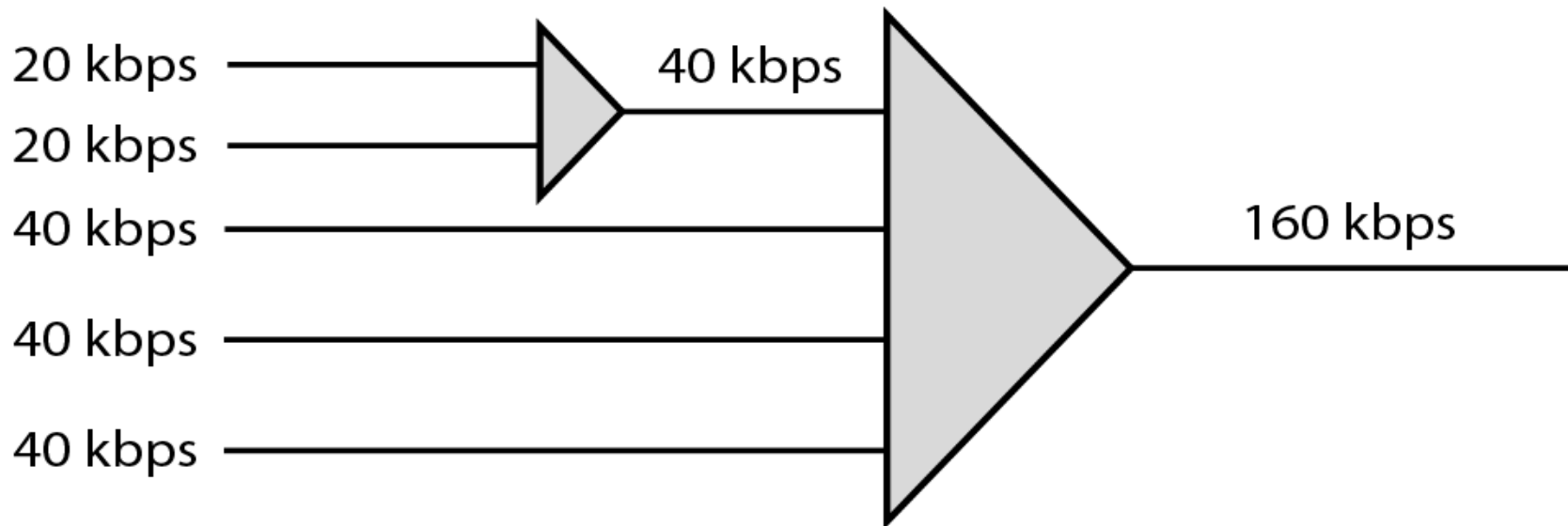
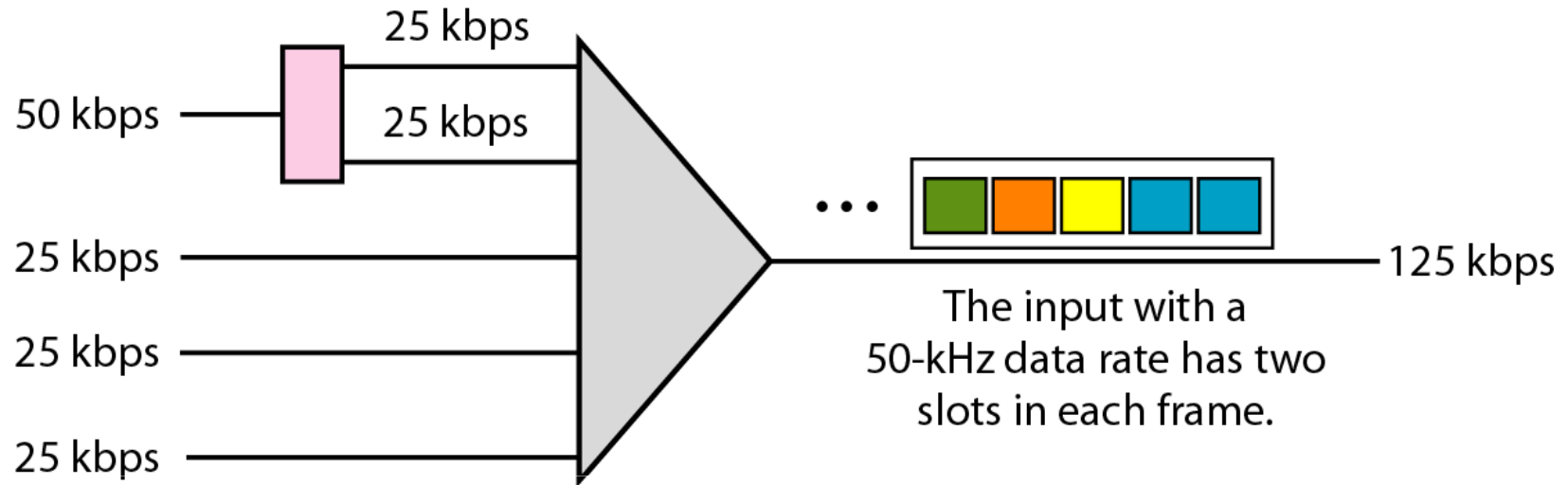


TDM sinhroni in statistični način



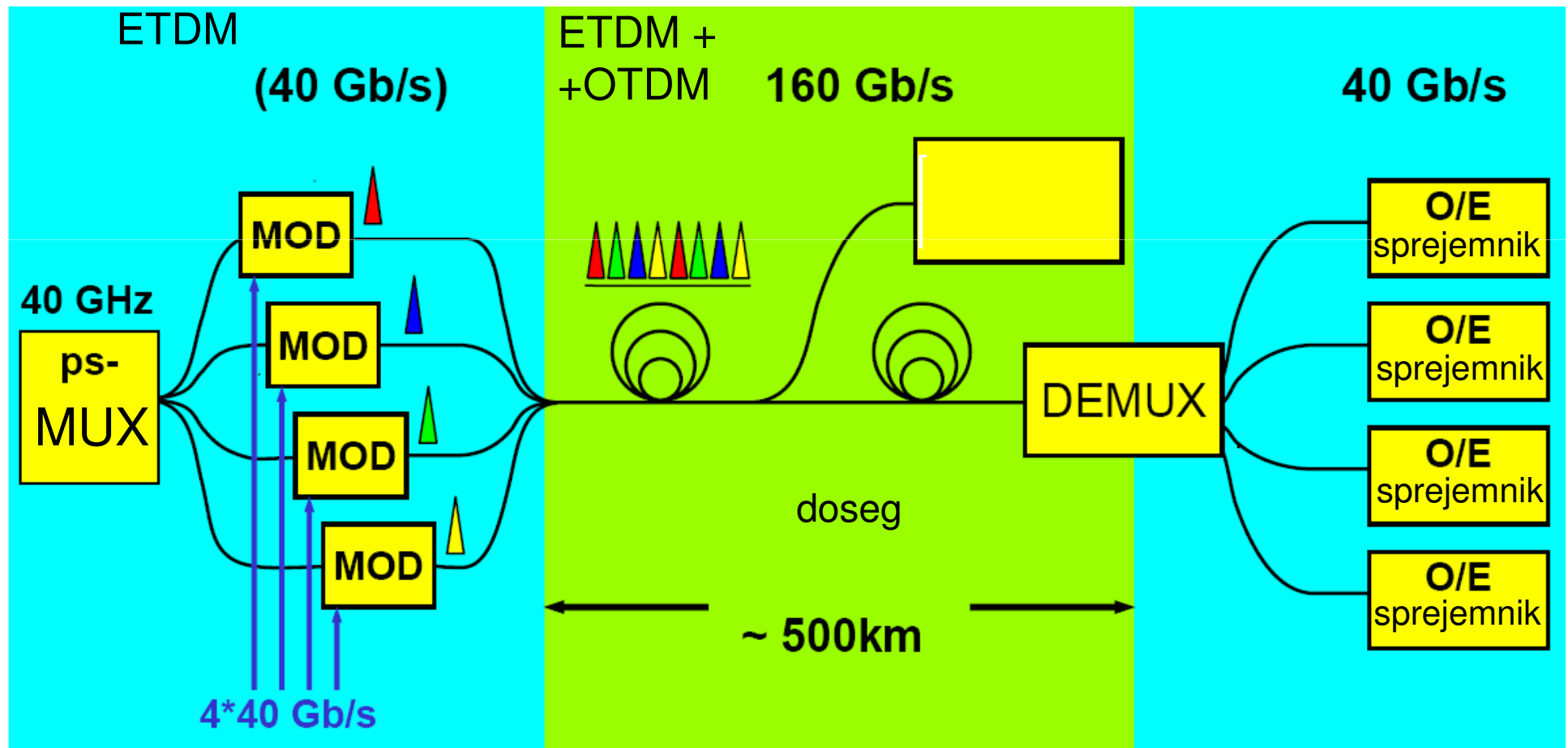


Večnivojsko multipleksiranje TDM³⁰



ETDM + OTDM razvrščanje

- ETDM – električno časovno razvrščanje
- OTDM – optično časovno razvrščanje

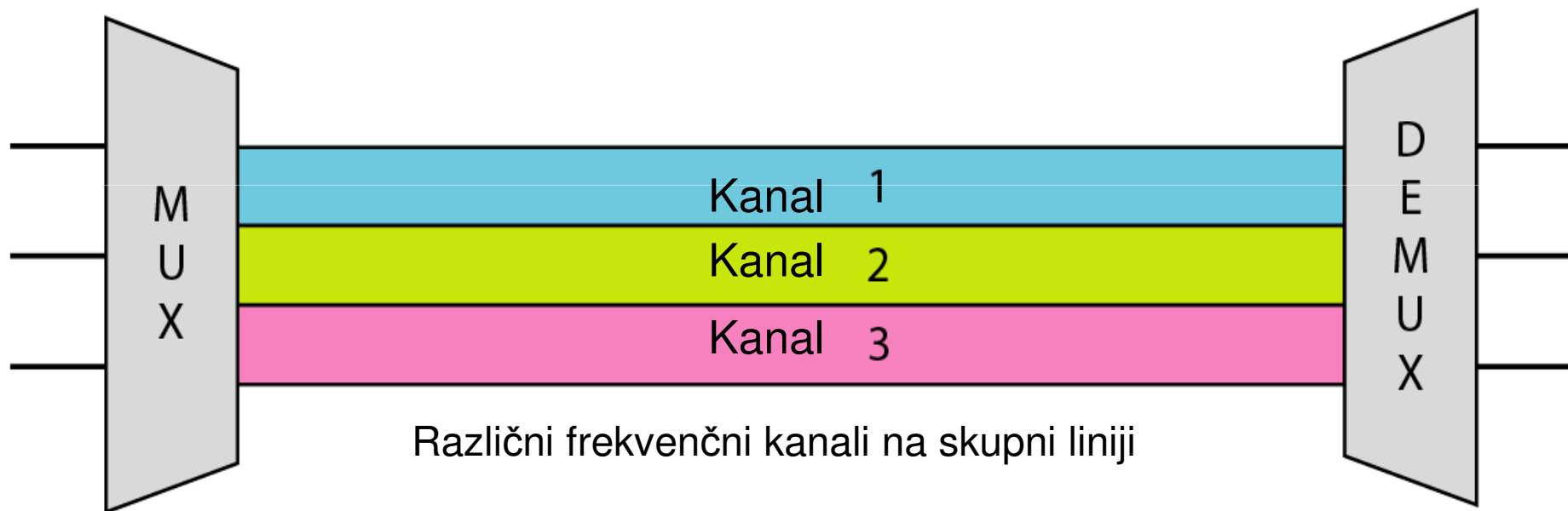


FDM

Frekvenčni kanali

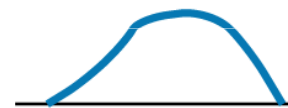
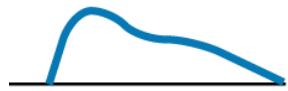
Vhodni frekvenčni
kanali na lastnih
linijah

Izhodni frekvenčni
kanali na lastnih
linijah

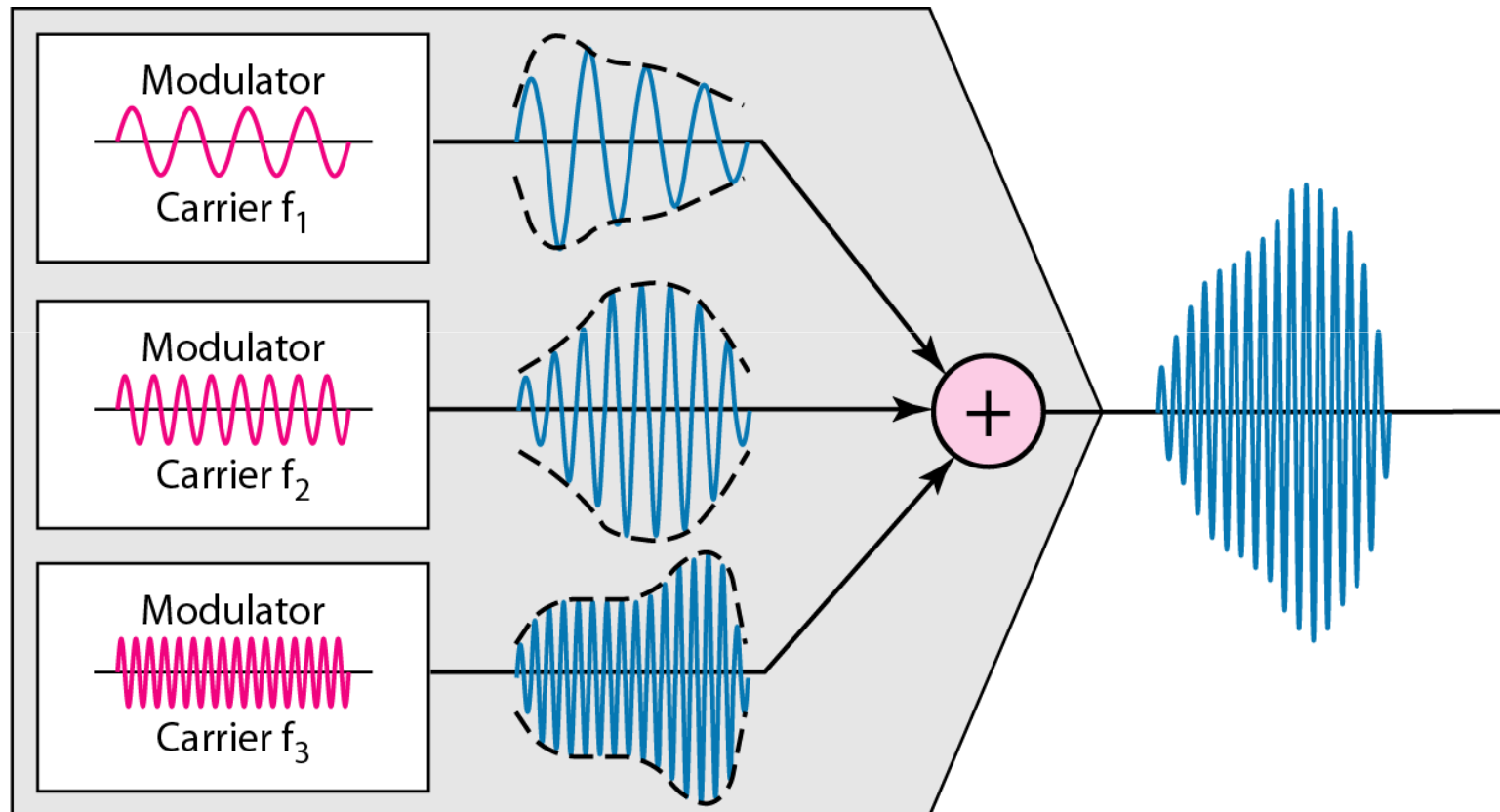


Mux analognega signala

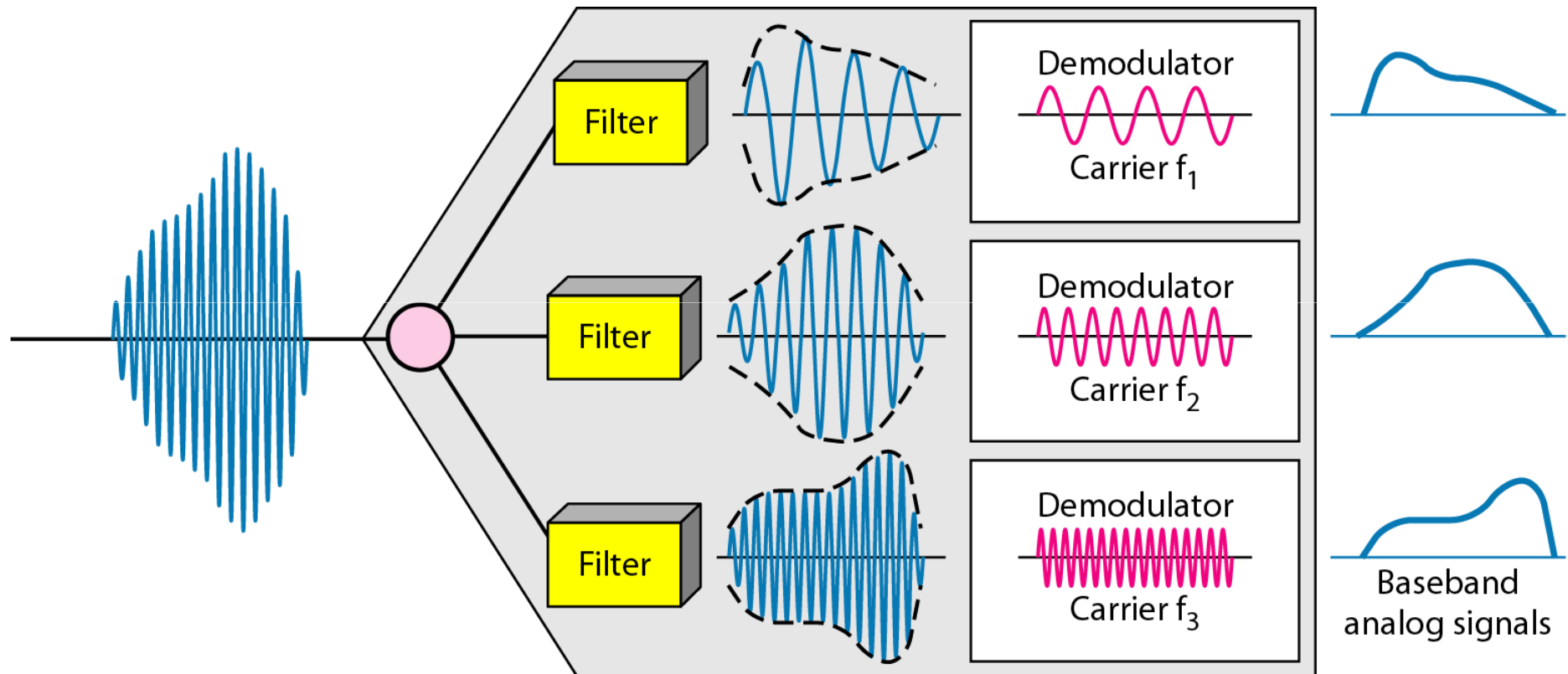
Dotočni signali



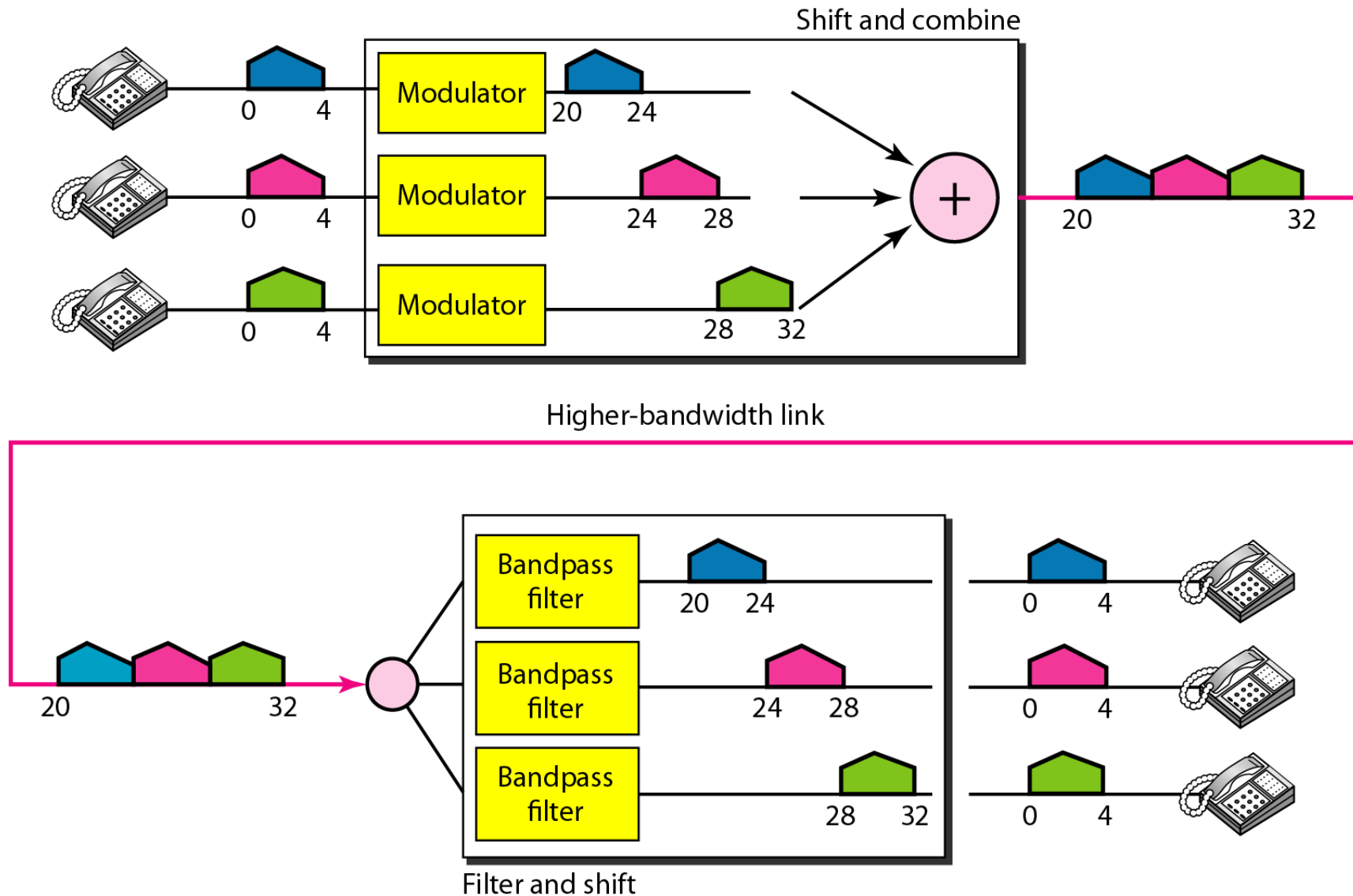
Baseband analog signals



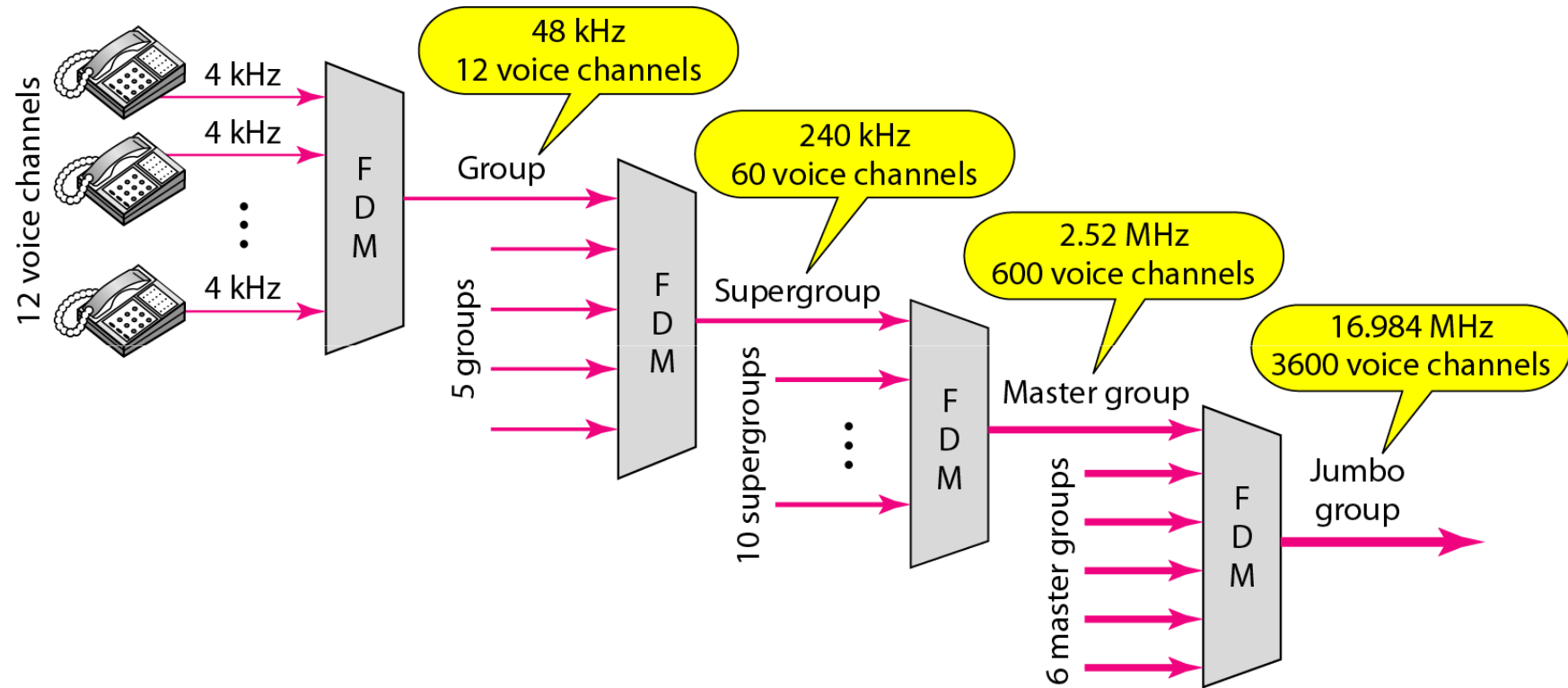
Demux analognega signala



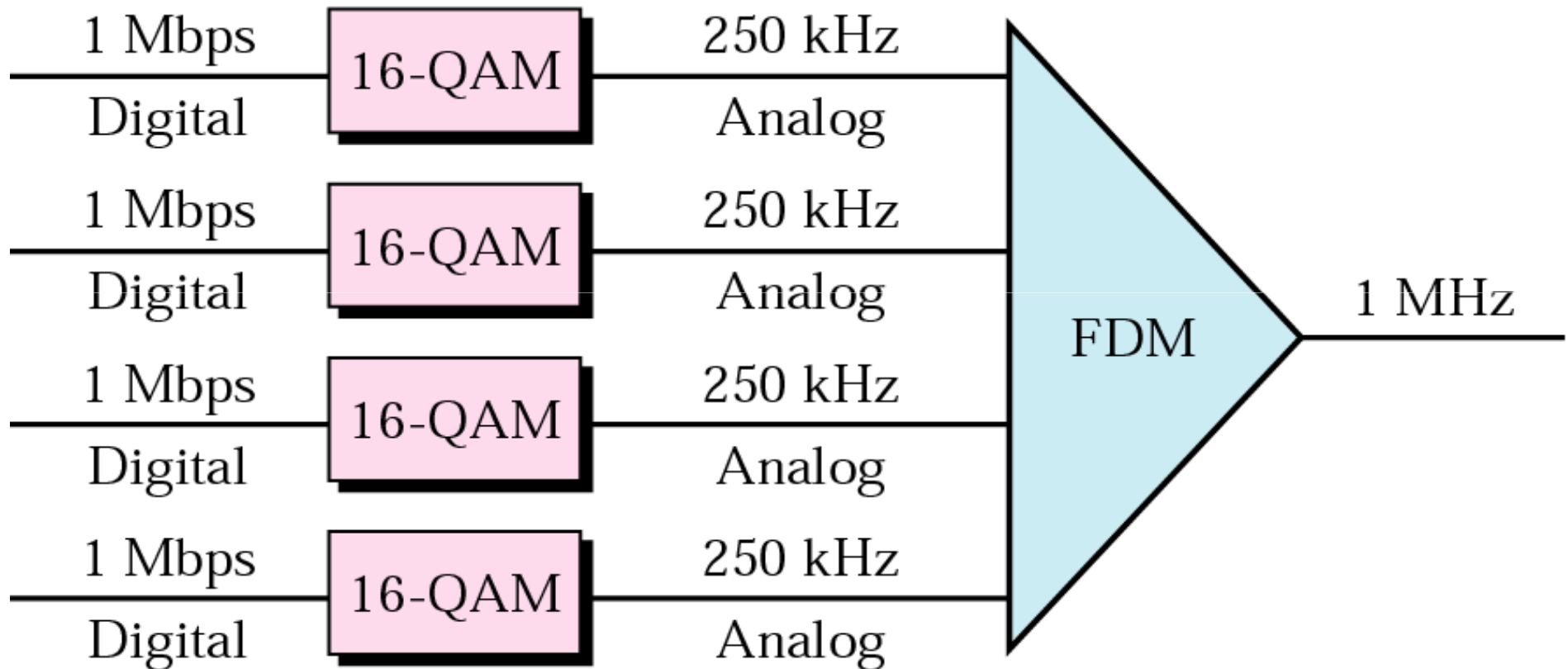
Frekvenčno razvrščanje v telefoniji



Analogna signalna hierarhija



16-QAM in FDM



Digitalna hierarhija

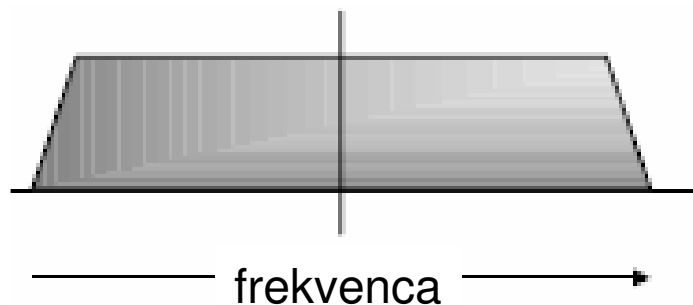
<i>STS</i>	<i>OC</i>	<i>Rate (Mbps)</i>	<i>STM</i>
STS-1	OC-1	51.840	
STS-3	OC-3	155.520	STM-1
STS-9	OC-9	466.560	STM-3
STS-12	OC-12	622.080	STM-4
STS-18	OC-18	933.120	STM-6
STS-24	OC-24	1244.160	STM-8
STS-36	OC-36	1866.230	STM-12
STS-48	OC-48	2488.320	STM-16
STS-96	OC-96	4976.640	STM-32
STS-192	OC-192	9953.280	STM-64

OFDM

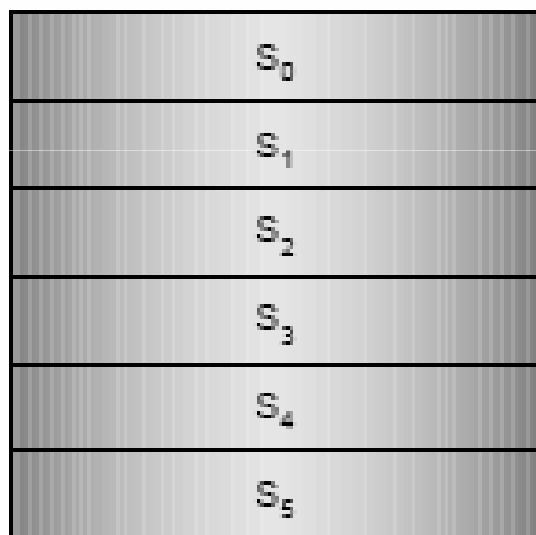
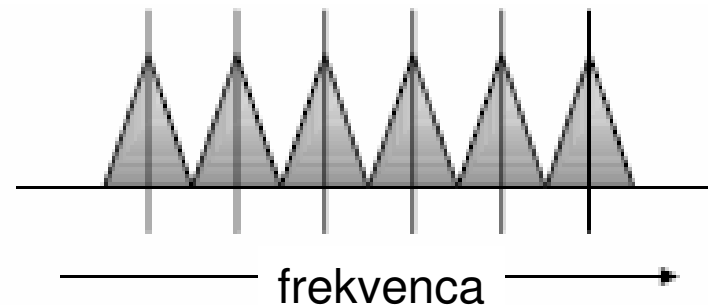
OFDM – sistemske lastnosti

- Prenašani signal širokega spektra (občutljiv na selektivni fading in ISI) razdelimo na veliko število neobčutljivih ozkopasovnih (pod)kanalov.
- (Pod)nosilniki kanalov so med seboj ortogonalni (ni interference, visok spektralni izkoristek).
- OFDM – mnogonosilniški (multi-carrier- MCM) prenosni sistem.
- OFDMA – mnogonosilniški dostopovni sistem.
- Uporaba: WLAN, WMAN, DAB, DVB, xDSL, DRM.
- Predviden za četrto generacijo mobilnih sistemov.
- Uporaba: optični prenos?, optični dostop??
- OFDM naj bi izrival SCM.
- **OFDM postaja vroča tema za Novo Generacijo optičnih zvez 100Gb/s - razlogi za in proti.**

OFDM – način frekvenčnega razvrščanja ⁴²

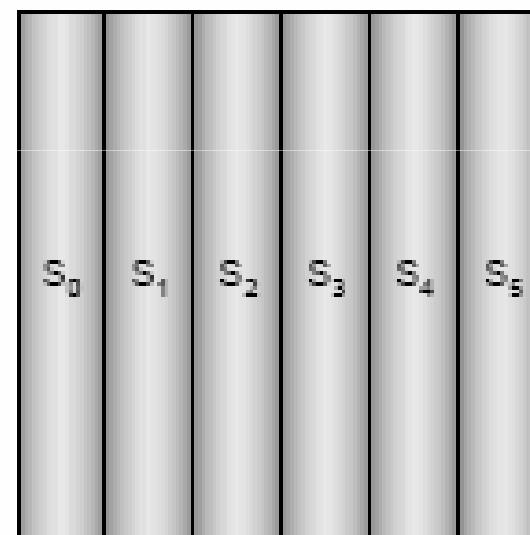


↑
moč



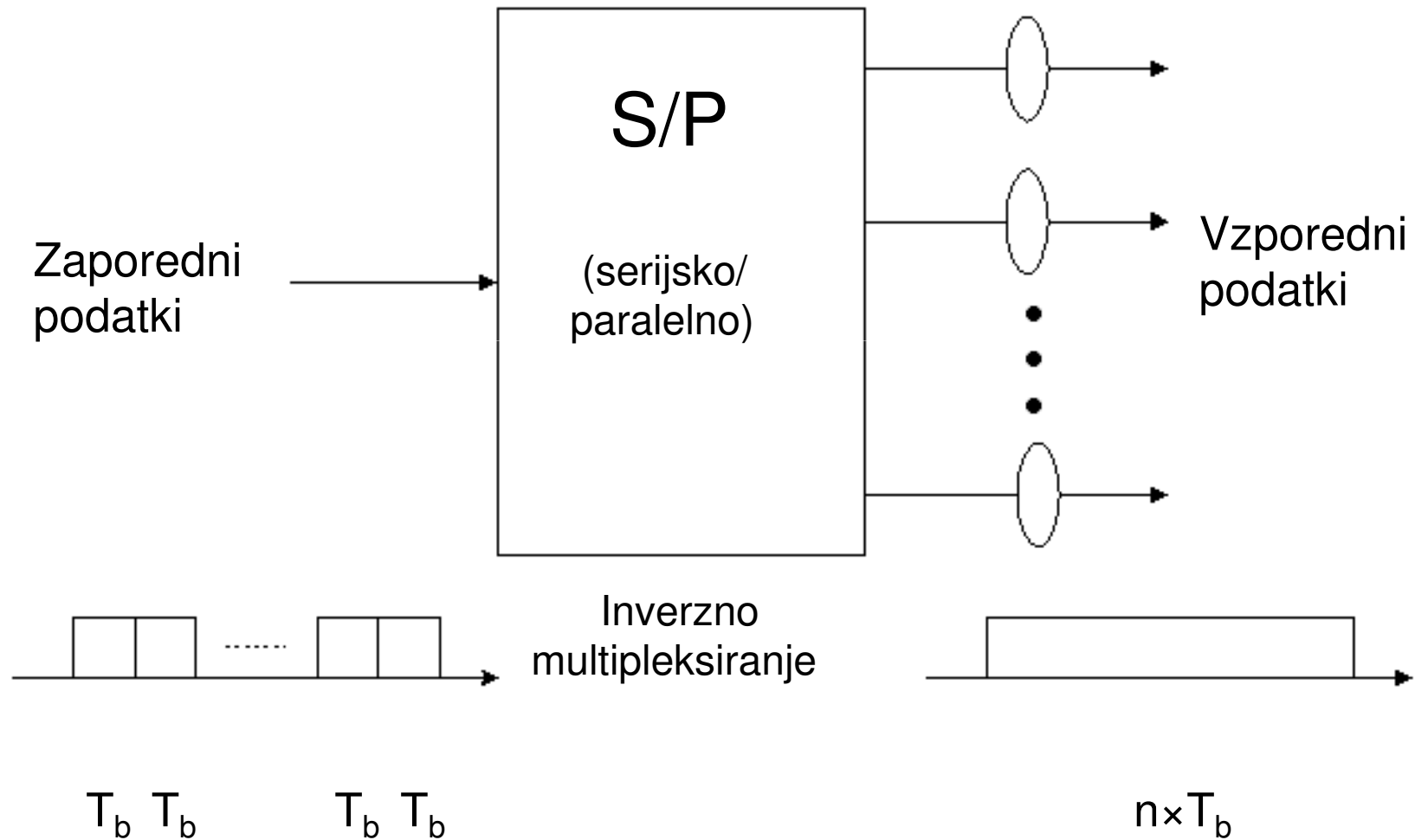
Simboli imajo širok spekter in kratko trajanje

↑
čas

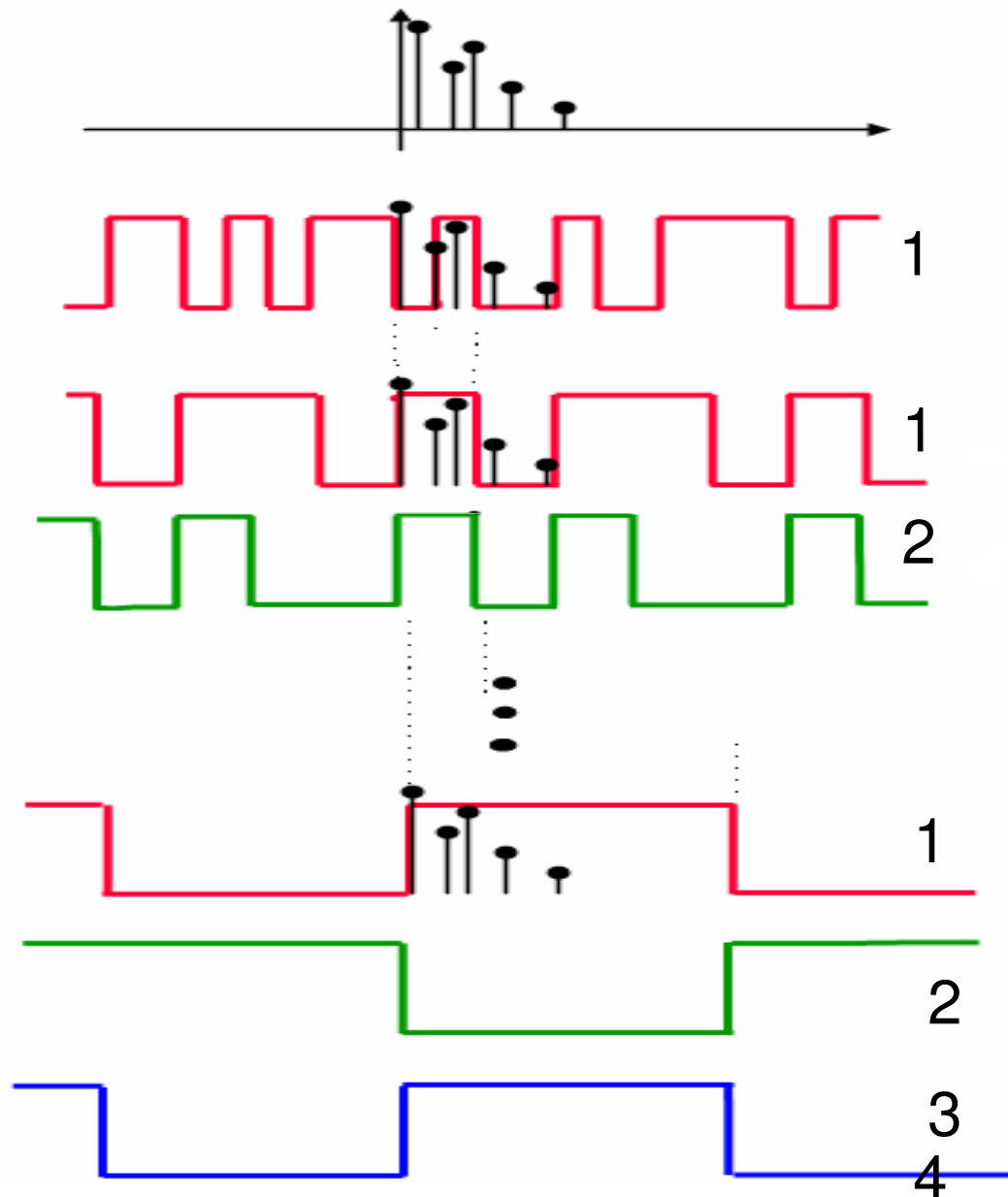


Simboli imajo ozek spekter in dolgo trajanje

Pretvorba zaporedno v vzporedno



Razpršitev časa zakasnitve in bitna hitrost



Niz razpršenih δ impulzov

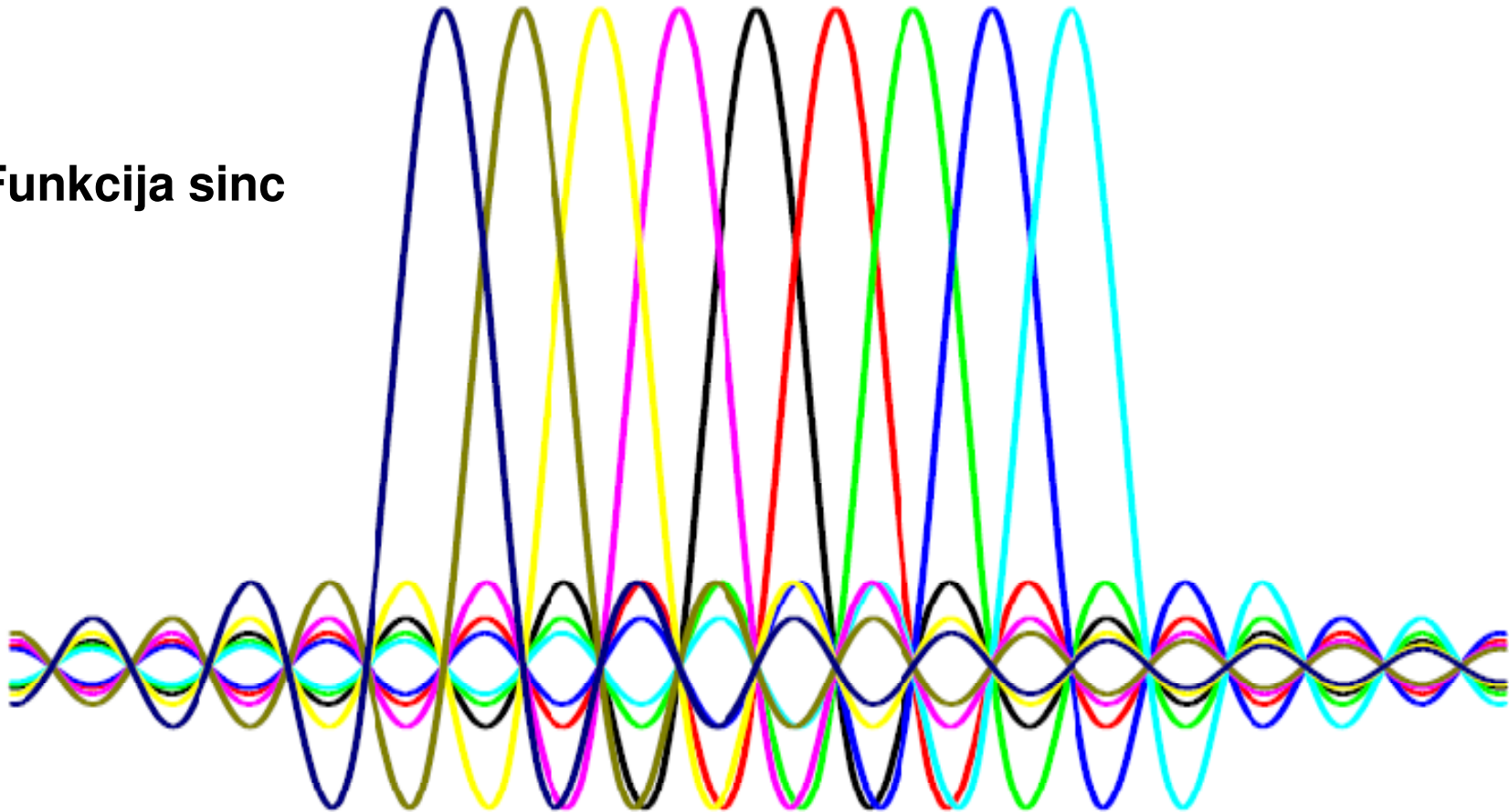
Razpršeni impulzi v nizu simbolov

Razpršeni impulzi v nizu simbolov
2x podaljšanega trajanja

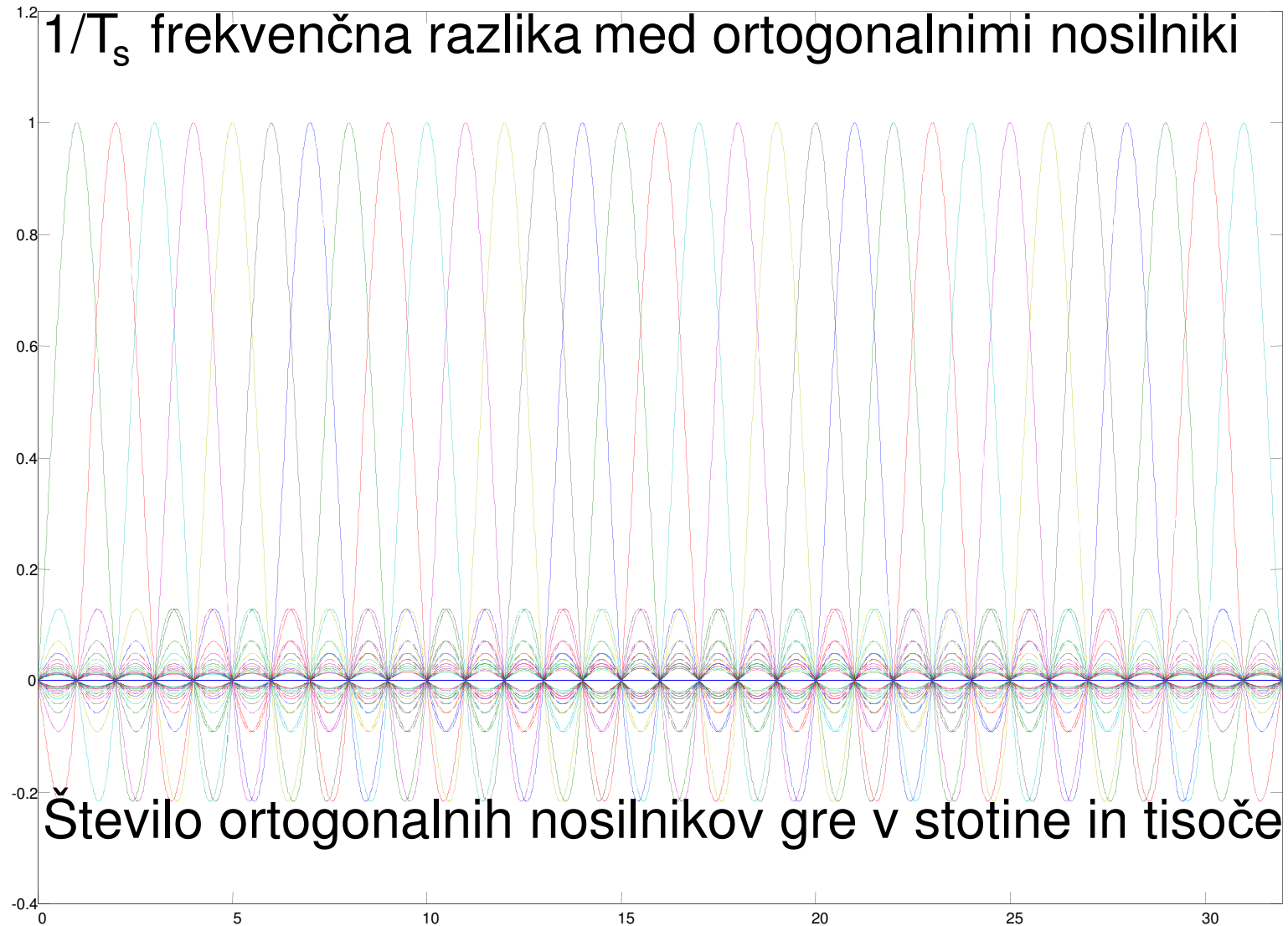
Razpršeni impulzi v nizu simbolov
8x podaljšanega trajanja. Čas
razpršitve postaja mnogo manjši od
trajanja simbola. Posledice
razpršitve se zmanjšujejo.

OFDM spekter ortogonalnih nosilnikov

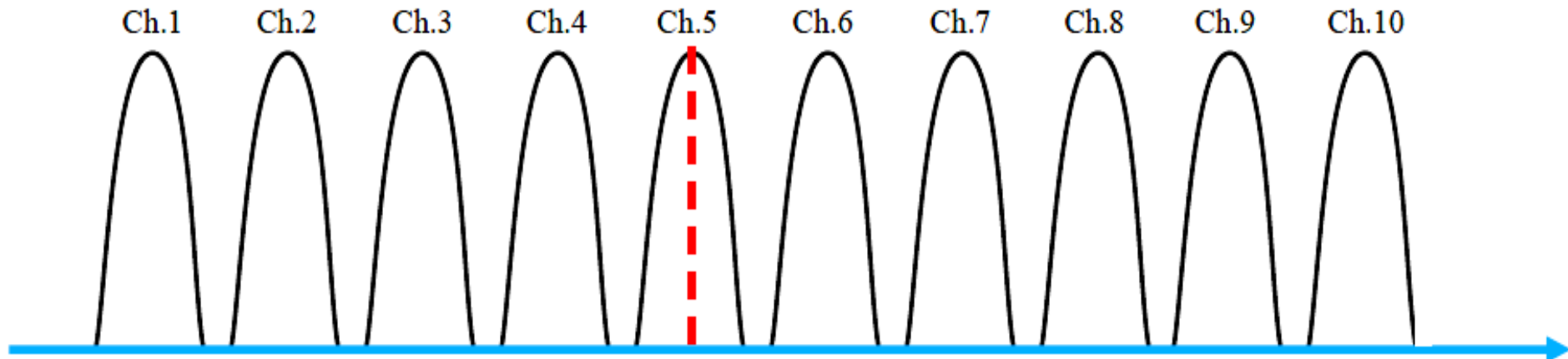
Funkcija sinc



OFDM spekter ortogonalnih nosilnikov⁴⁶

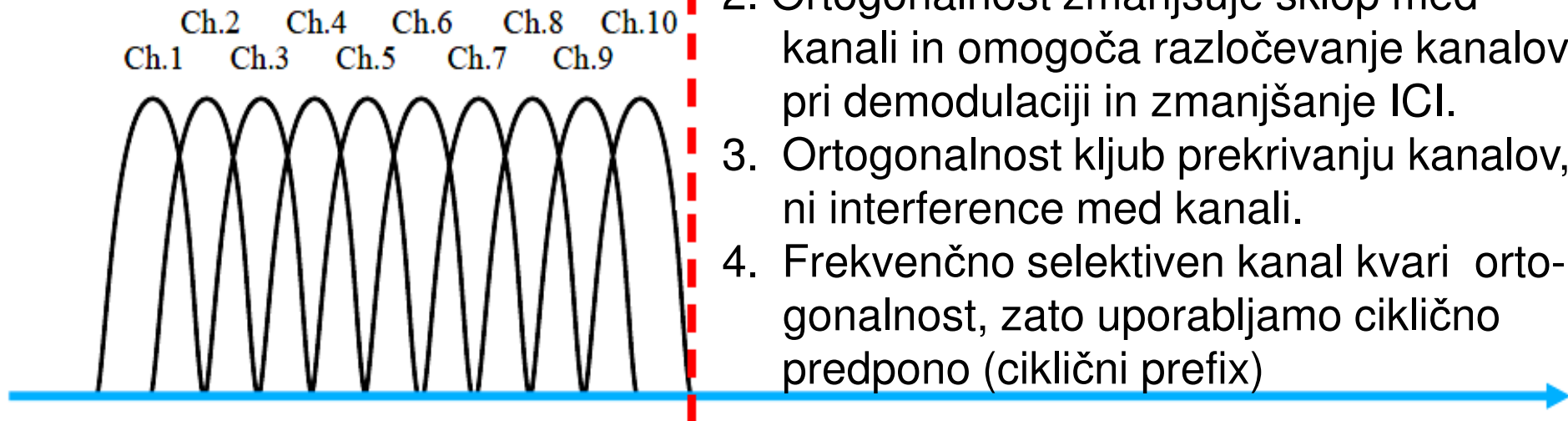


Pomen ortogonalnosti



Spekter FDM

Spekter OFDM:

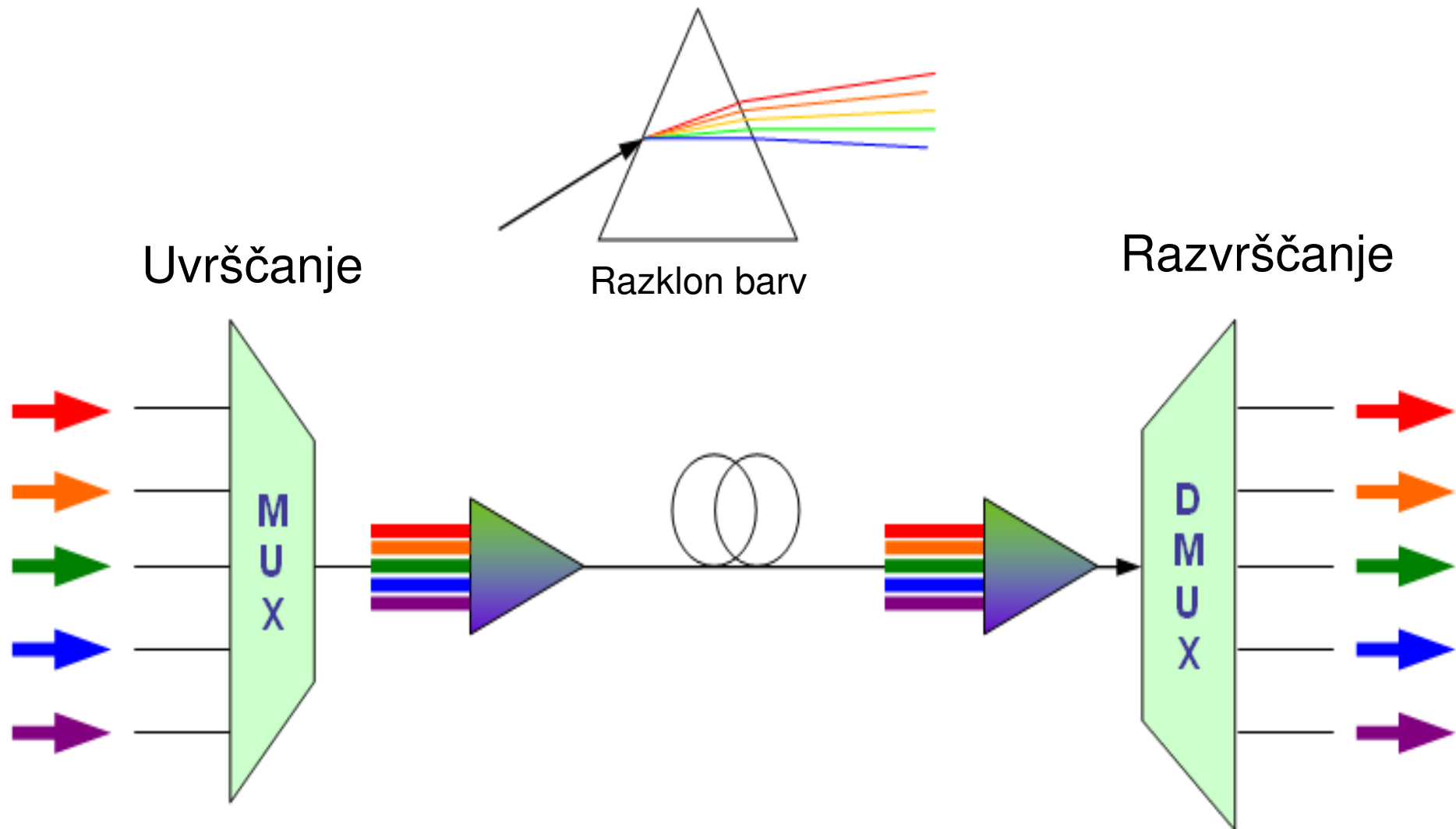


Prednosti OFDM:

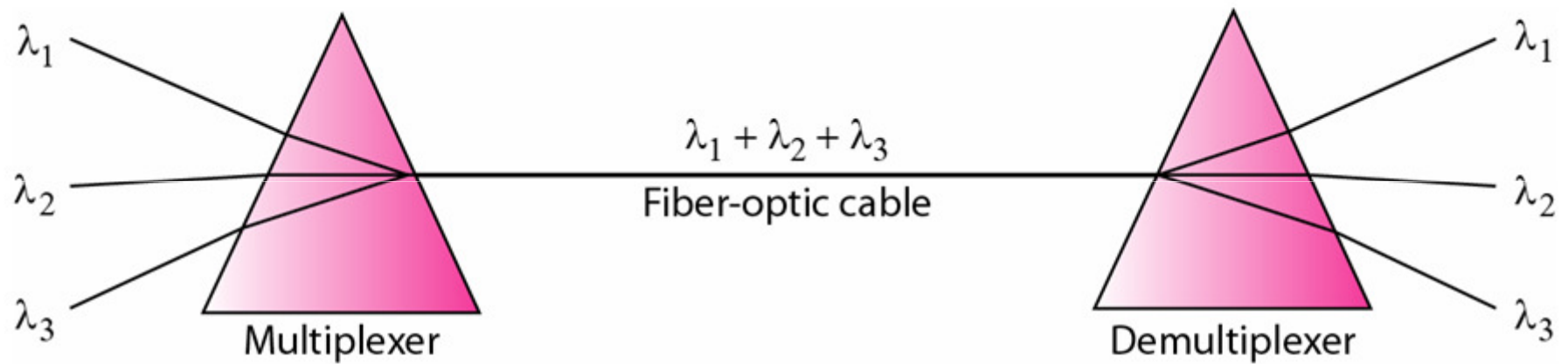
1. Frekvenčna ekologija
Mnogo ožji pas v primerjavi z FDM.
2. Ortogonalnost zmanjšuje sklop med kanali in omogoča razločevanje kanalov pri demodulaciji in zmanjšanje ICI.
3. Ortogonalnost kljub prekrivanju kanalov, ni interference med kanali.
4. Frekvenčno selektiven kanal kvari ortogonalnost, zato uporabljamo ciklično predpono (ciklični prefix)

WDM

WDM – valovno uvrščanje in razvrščanje

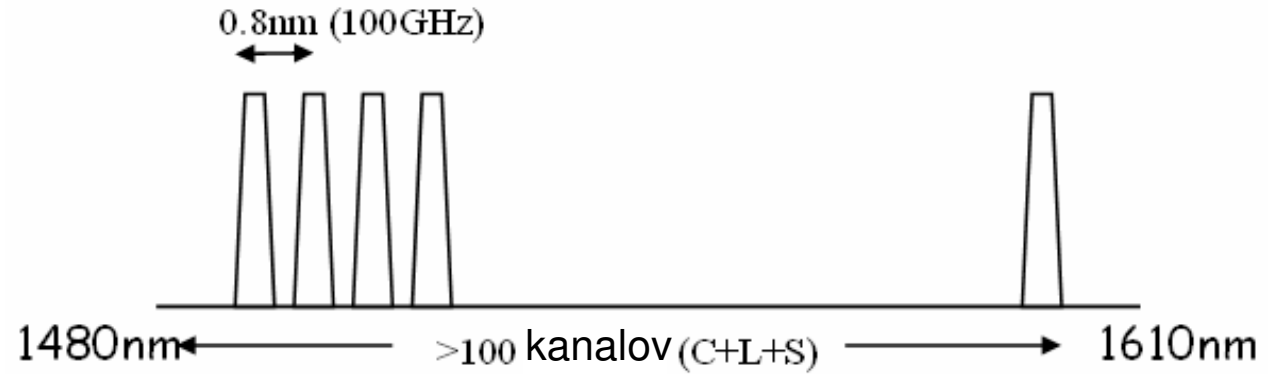


WDM – multipleksiranje s prizmami

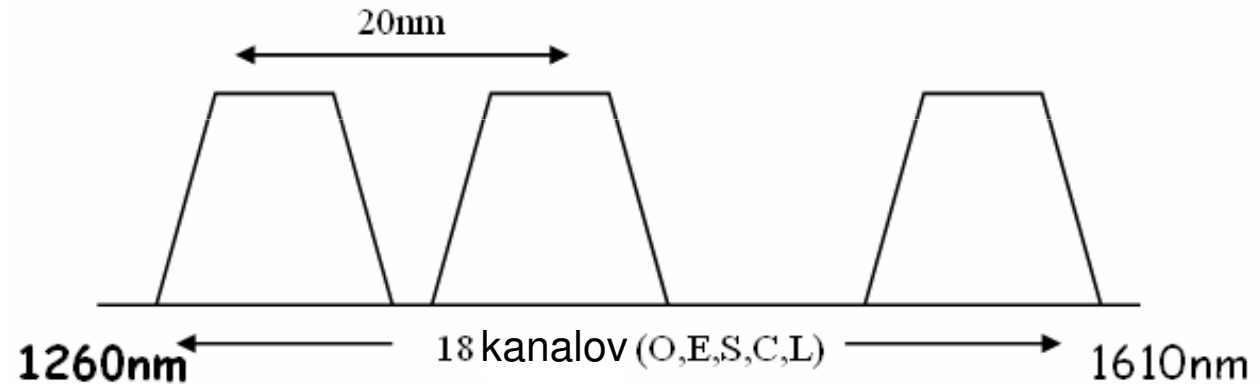


DWDM, CWDM, xWDM

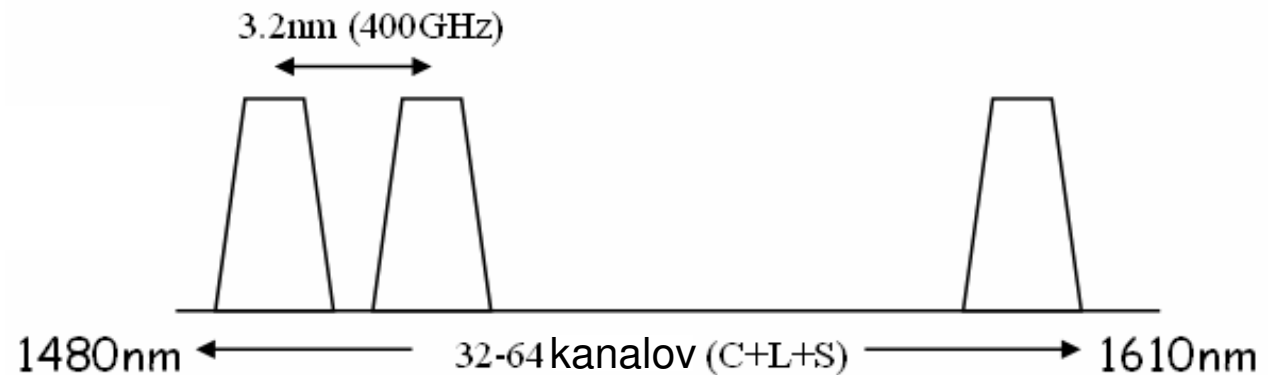
Gosto valovno
multipleksiranje
DWDM



Redko valovno
multipleksiranje
CWDM

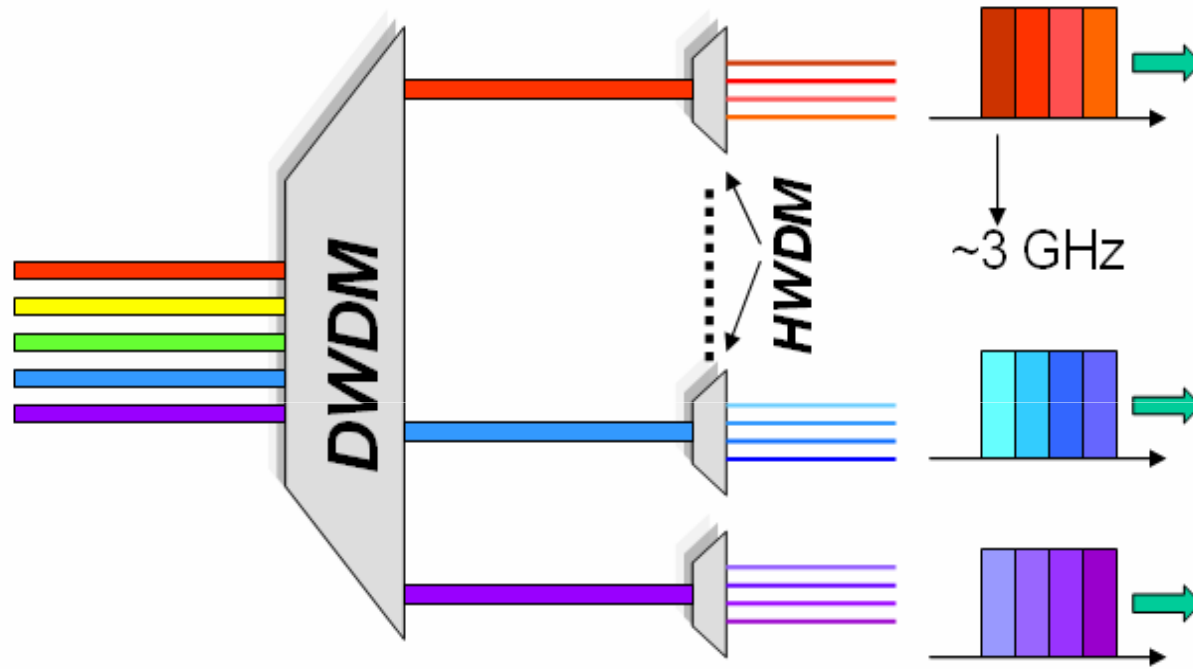


xWDM

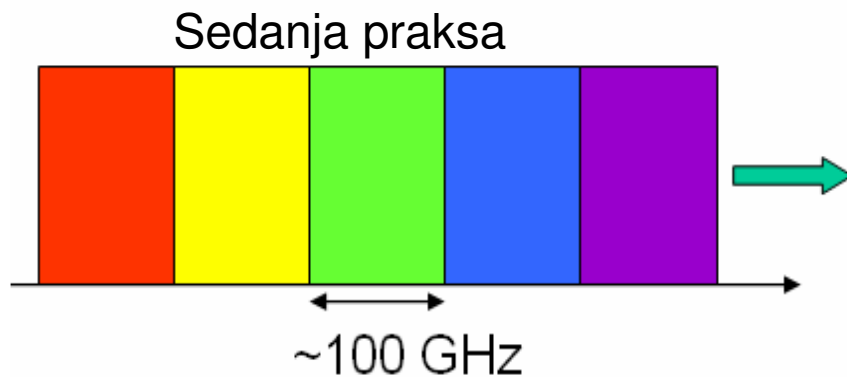


Ultragosta WDM (UWDM oz. HWDM)

- Dvakratno frekvenčno razvrščanje



HWDM is a passive technology, and it can sub-multiplex DWDM to several GHz channel spacing. Novel optical spectral dispersers are crucial to HWDM. VIPA is a very promising candidate.

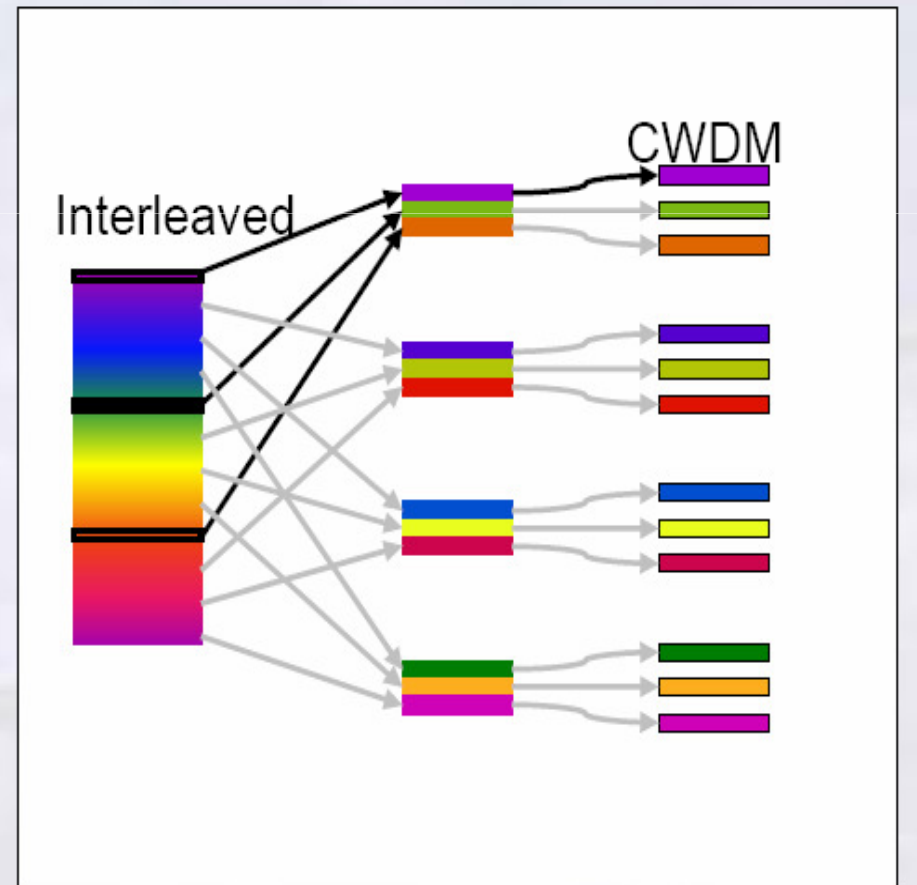
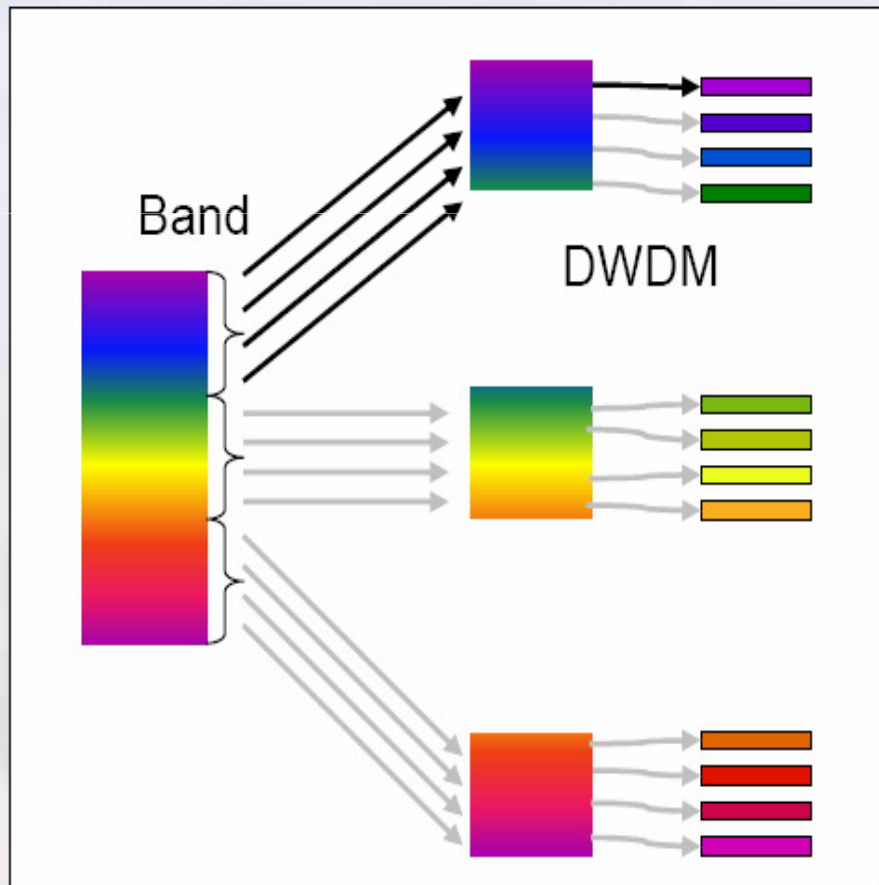


Current DWDM technology, based on Bragg gratings, AWG, etc, typically operates with hundreds or tens of GHz channel spacing.

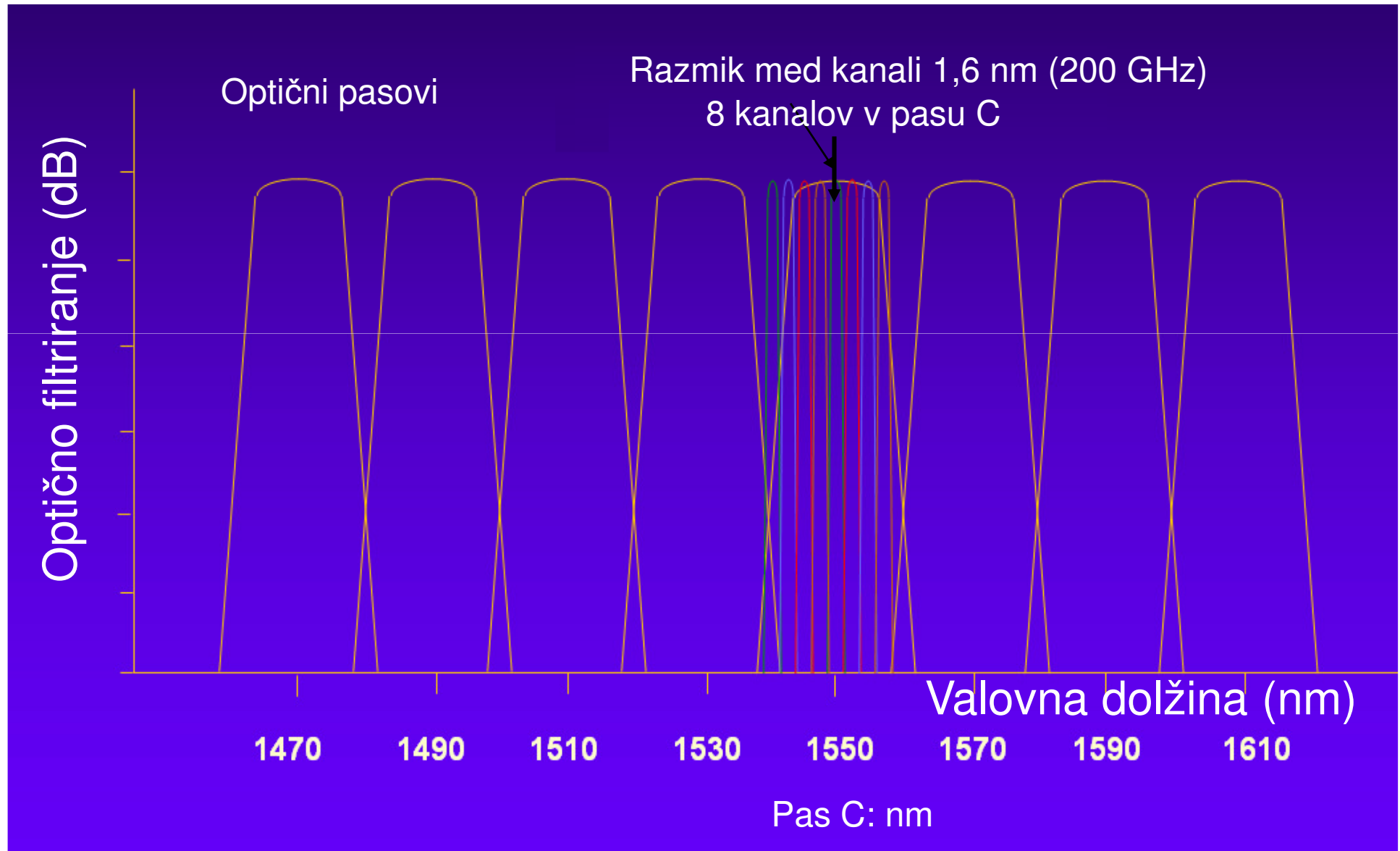
Pasovne delitve

- pas
- podpasovi
- kanali

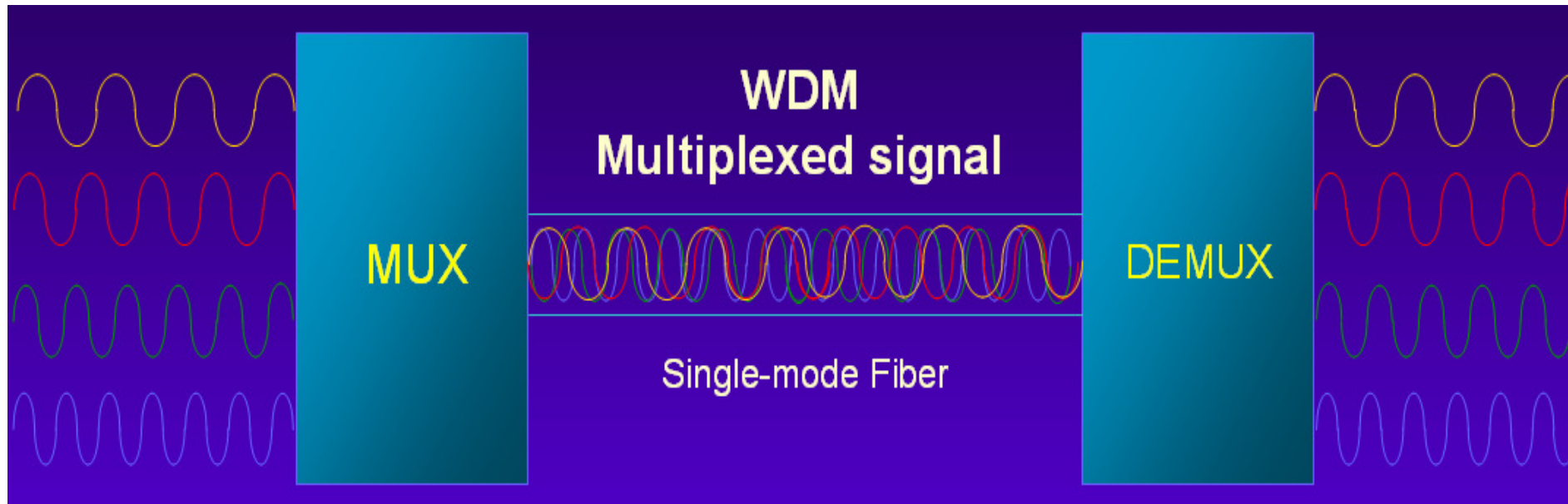
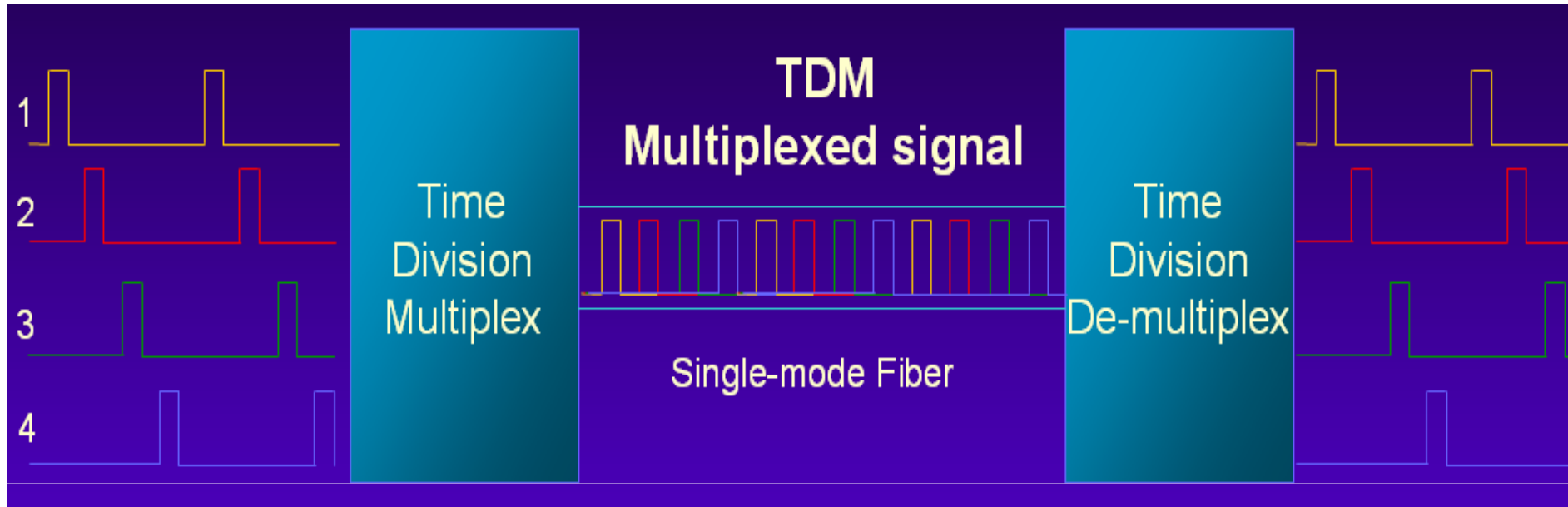
- pas
- prepleteni podpasovi
- kanali



Primer razvrščanja v pasu C

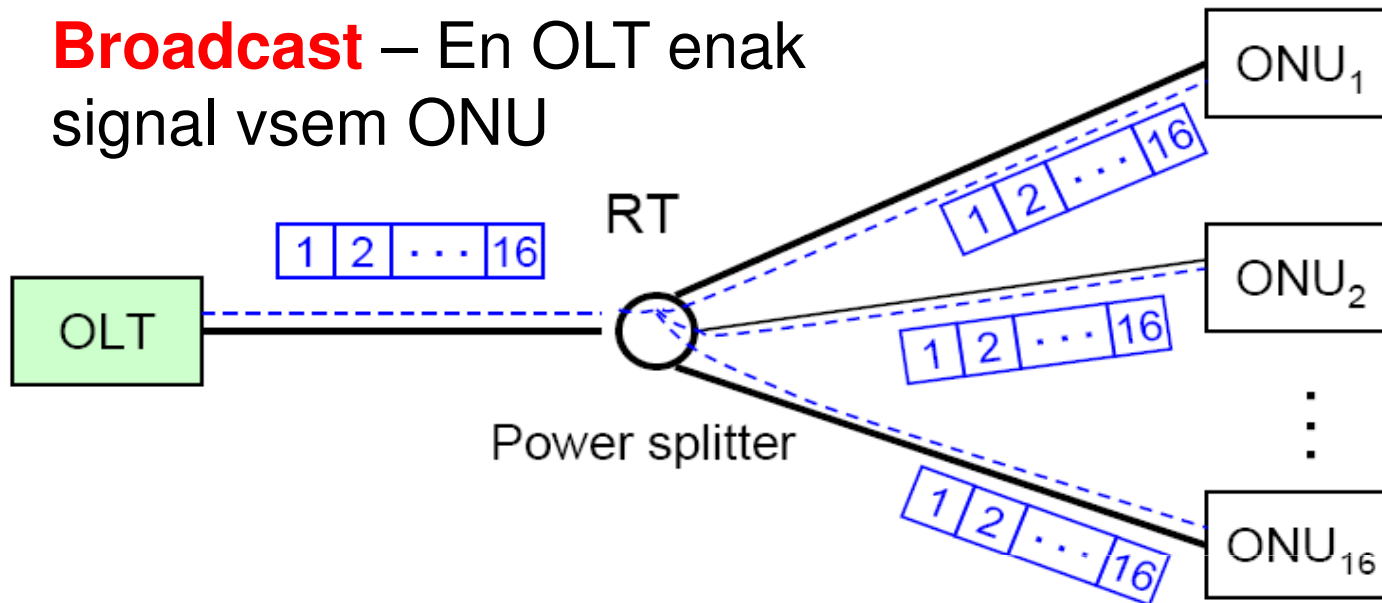


TDM in WDM



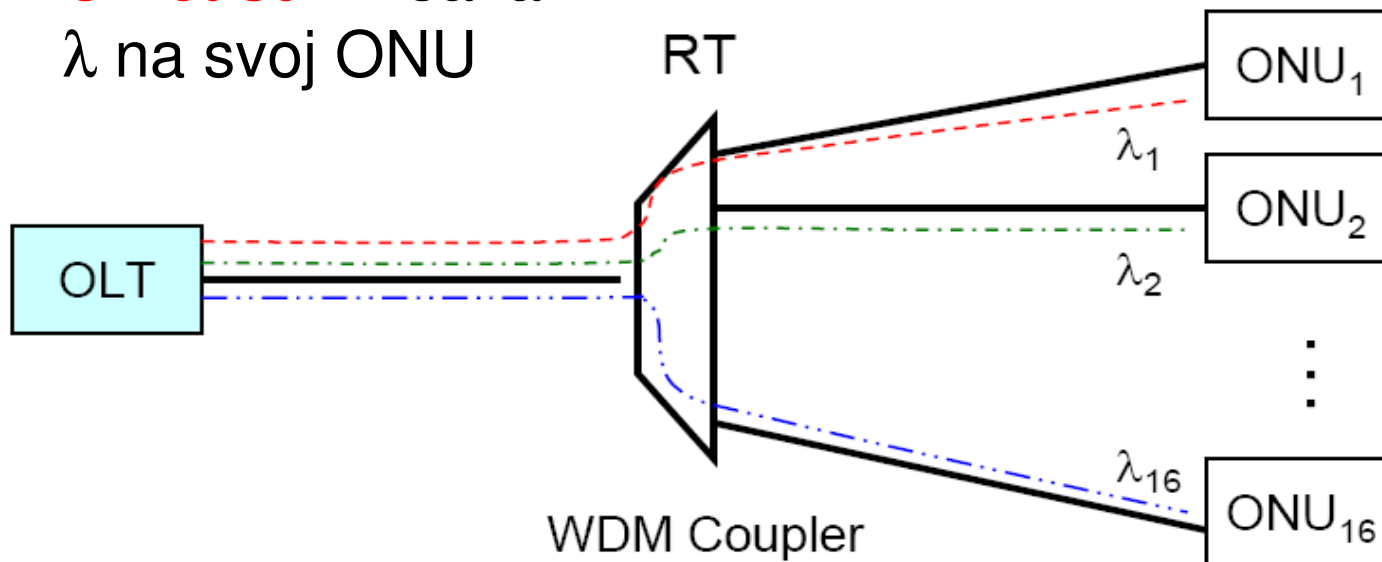
Delilnik moči in WDM sklopnik

Broadcast – En OLT enak signal vsem ONU



- GPON
- EPON

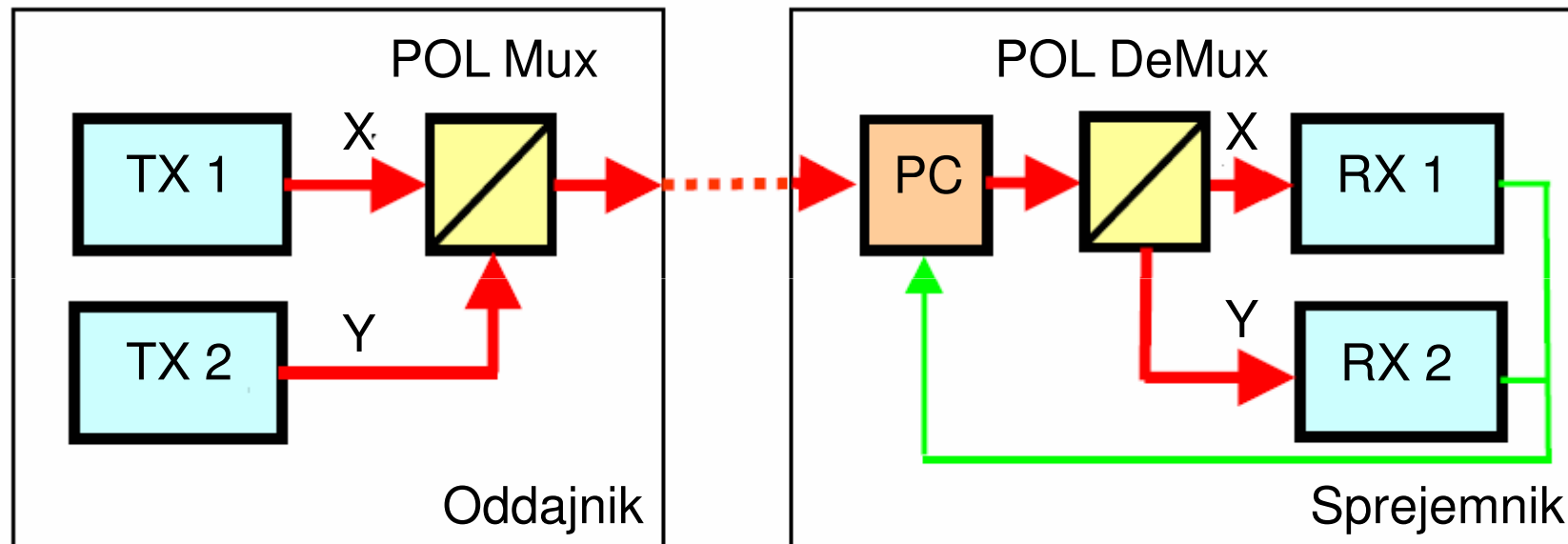
Unicast – Vsaka λ na svoj ONU



- WDM PON

PDM

Polarizacijsko multipleksiranje



Pol. Mux – združuje ortogonalni polarizaciji

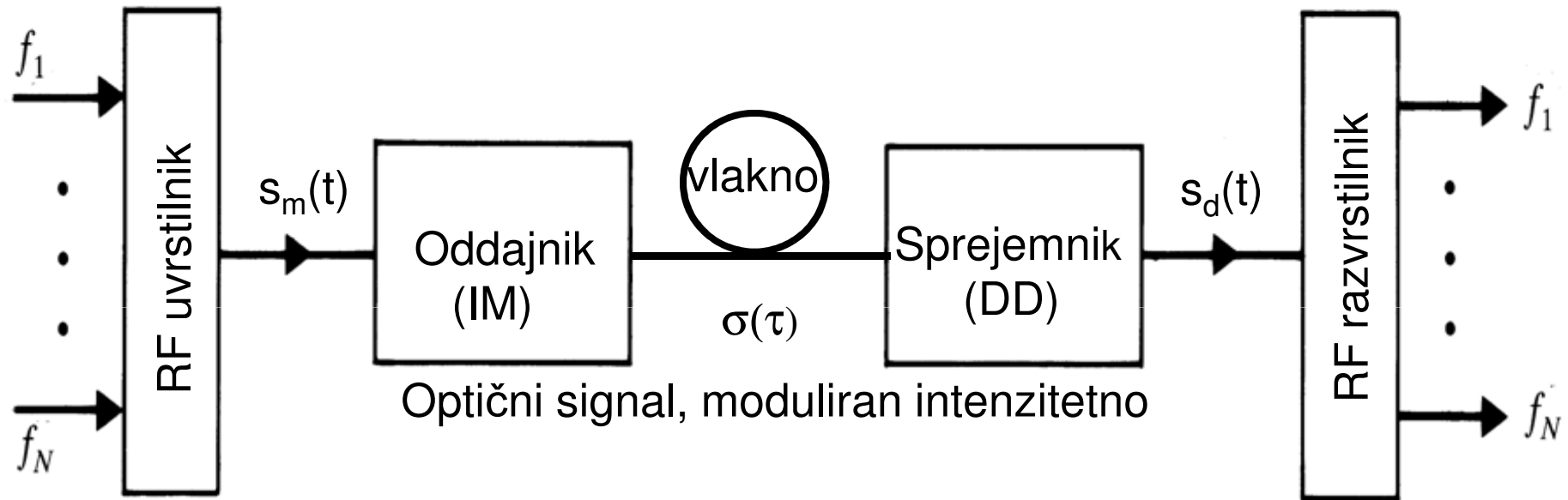
Pol. DeMux – deli na ortogonalni polarizaciji

PC – polarizacijski kontroler

SCM

SCM – Podnosilniško multipleksiranje

- SCM – SubCarrier Multiplexing



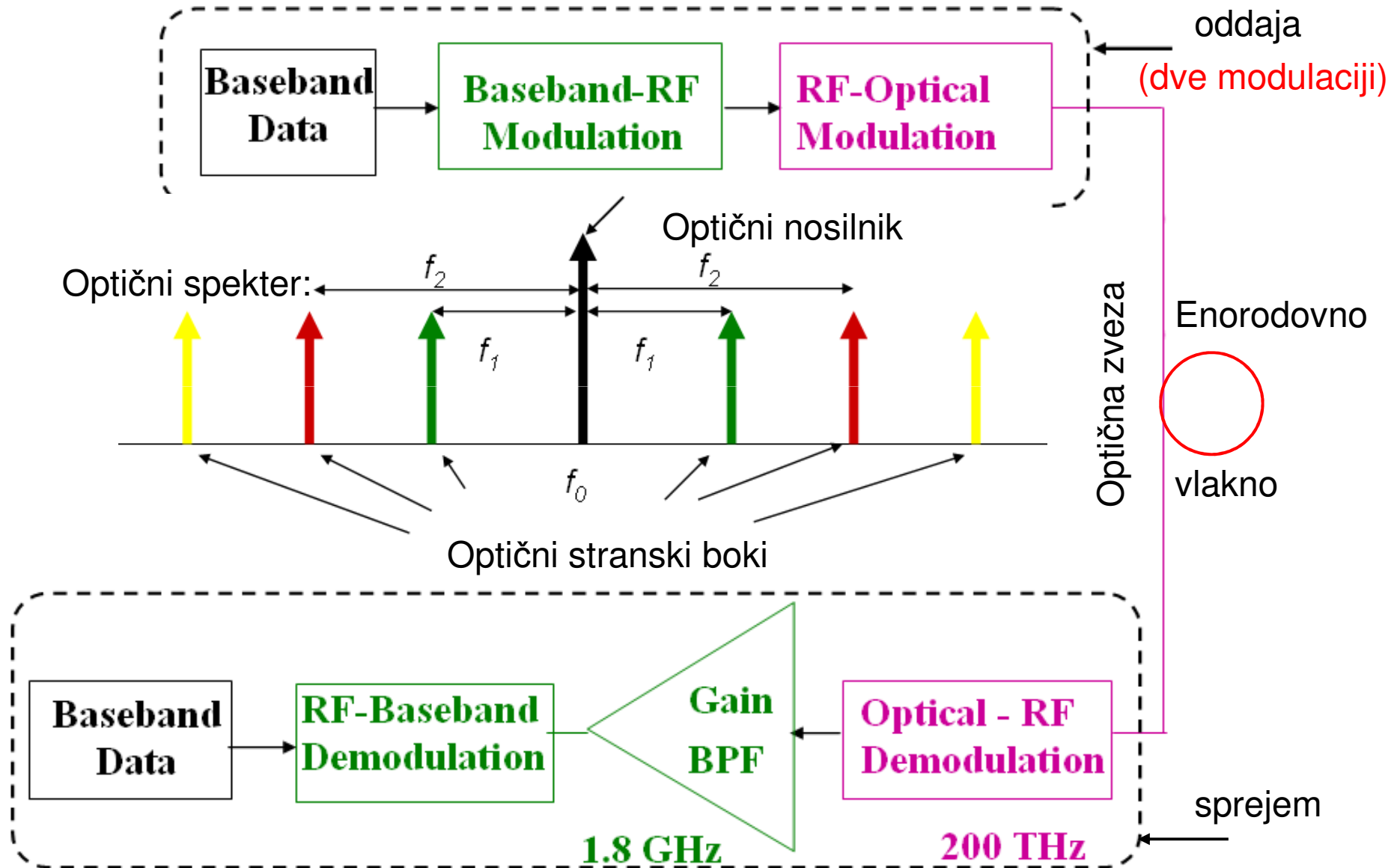
f_1, f_2, f_3, \dots Frekvence radijskih podnosilnikov (govor, podatki, video, npr. TV kanali)

$s_m(t)$ RF modulacijski signal sestavljen iz analogno ali digitalno (amplitudno, frekvenčno ali fazno) moduliranih radijskih nosilnikov

$\sigma(\tau)$ Optični signal, moduliran s $s_m(t)$. Modulacija je lahko poljubna

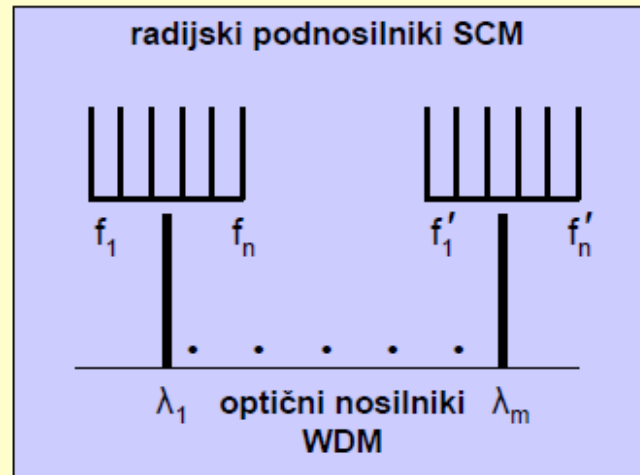
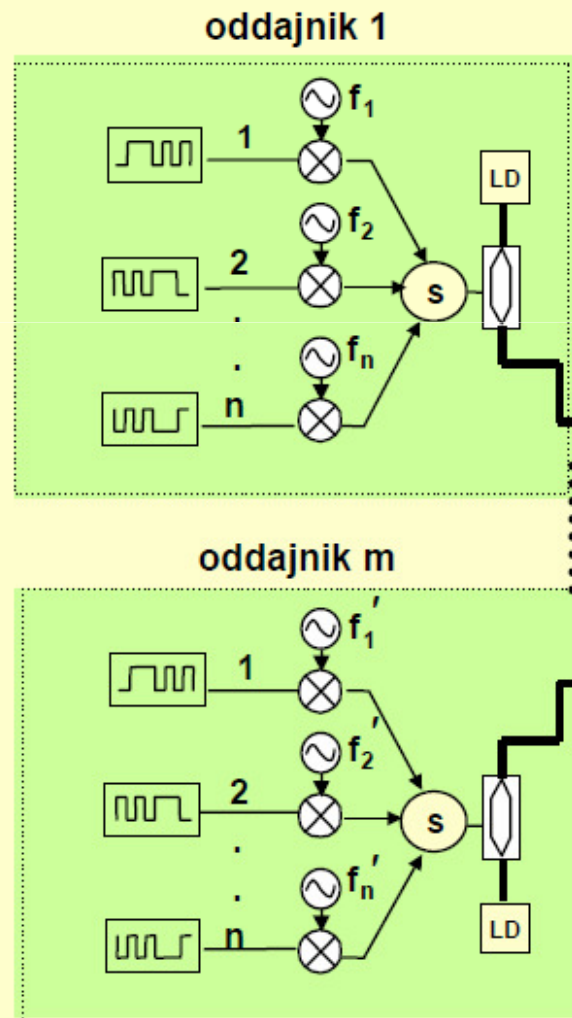
$s_d(t)$ Demoduliran signal odkriva modulirane radijske podnosilnike
Izhodni signal, razvrščen na radijske podnosilnike (npr. TV kanale)

SCM – postopki obdelave signala

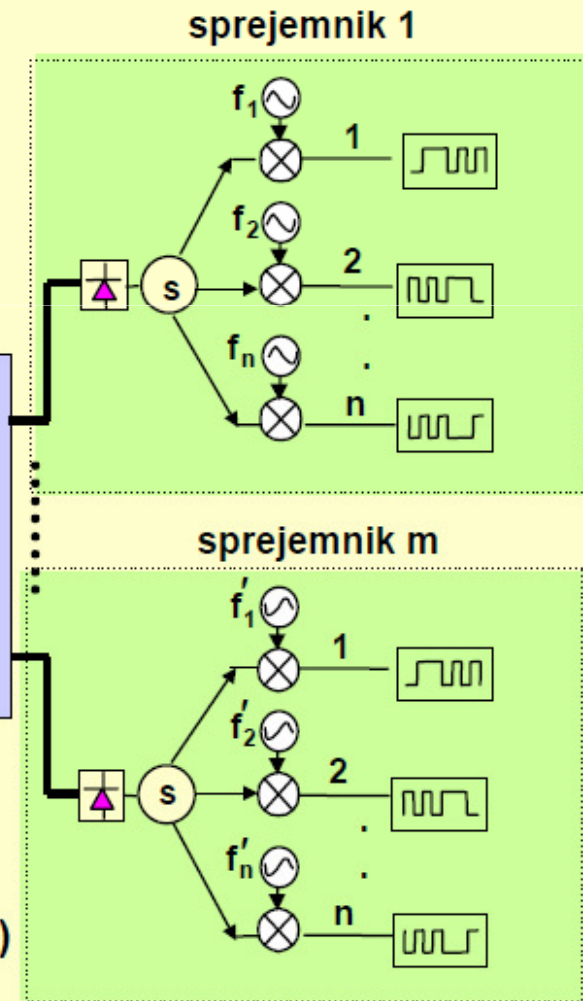


SCM - WDM

WDM – razvrščanje optičnih kanalov po valovni dolžini



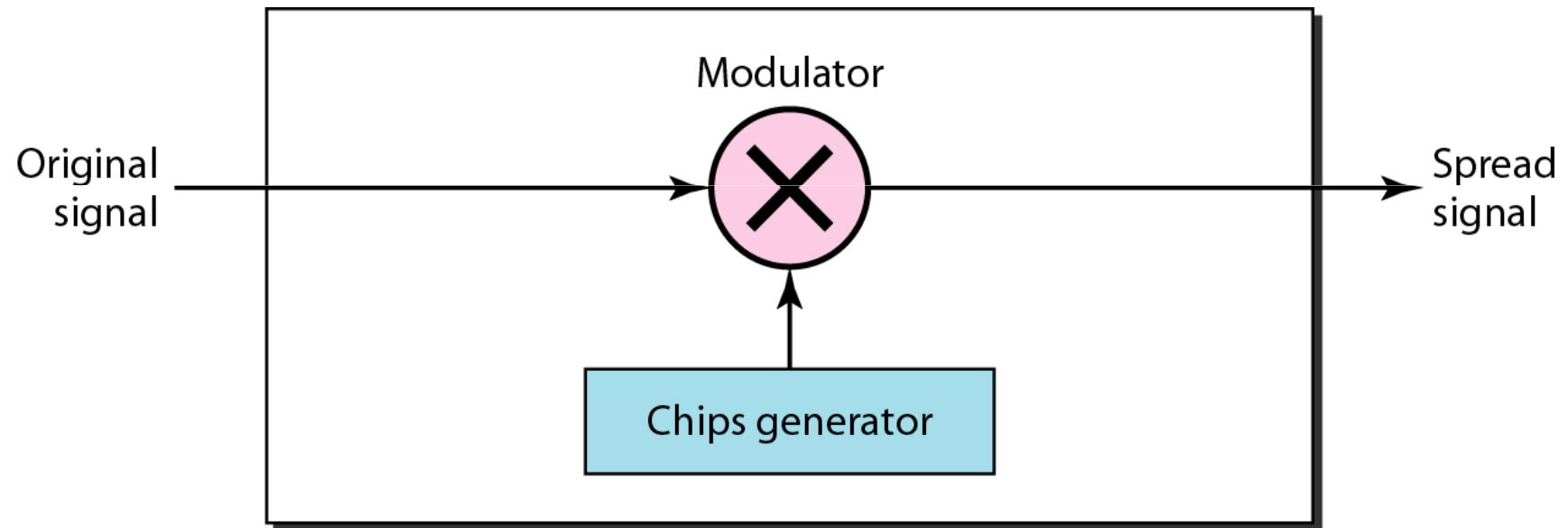
SCM – razvrščanje radijskih (n.pr.TV) kanalov po frekvenci



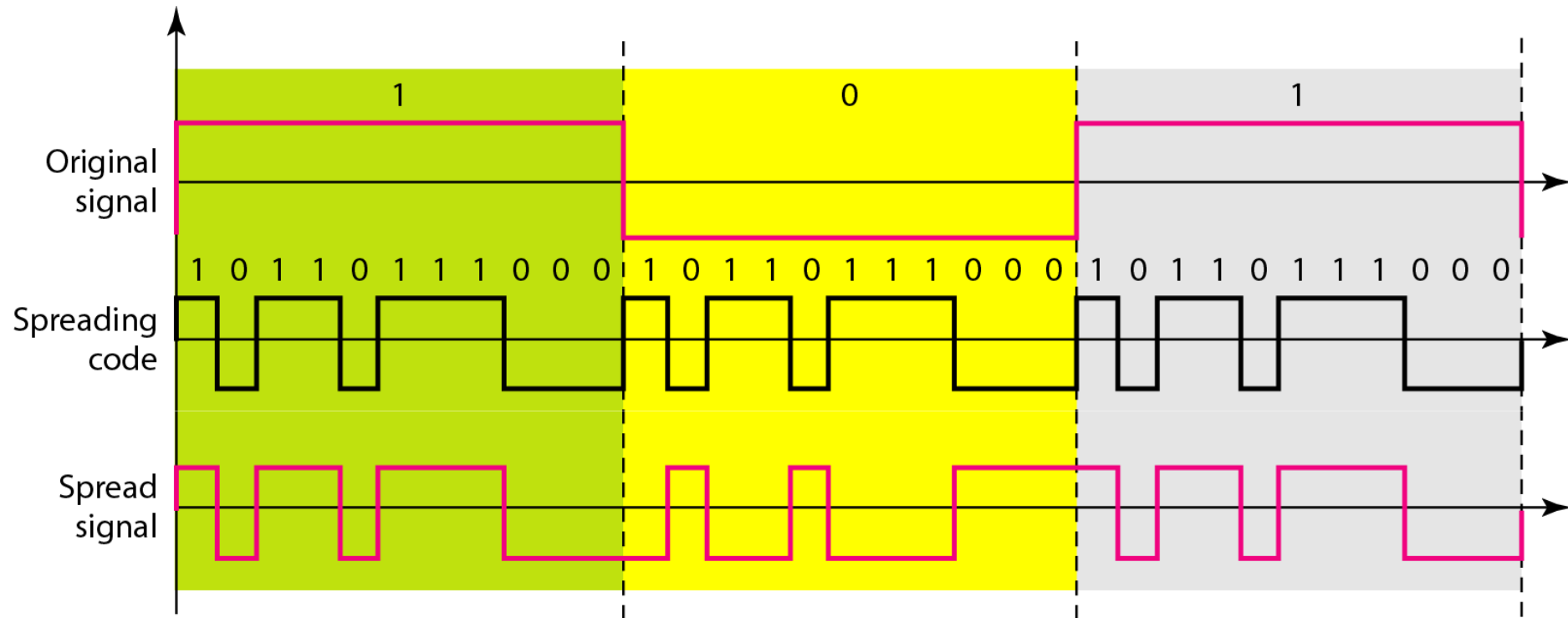
Praktičen sistem prenosa radijskega signala po optičnem nosilniku je ROF (radio po vlaknu)

CDM

Razpršitev signala z modulacijo



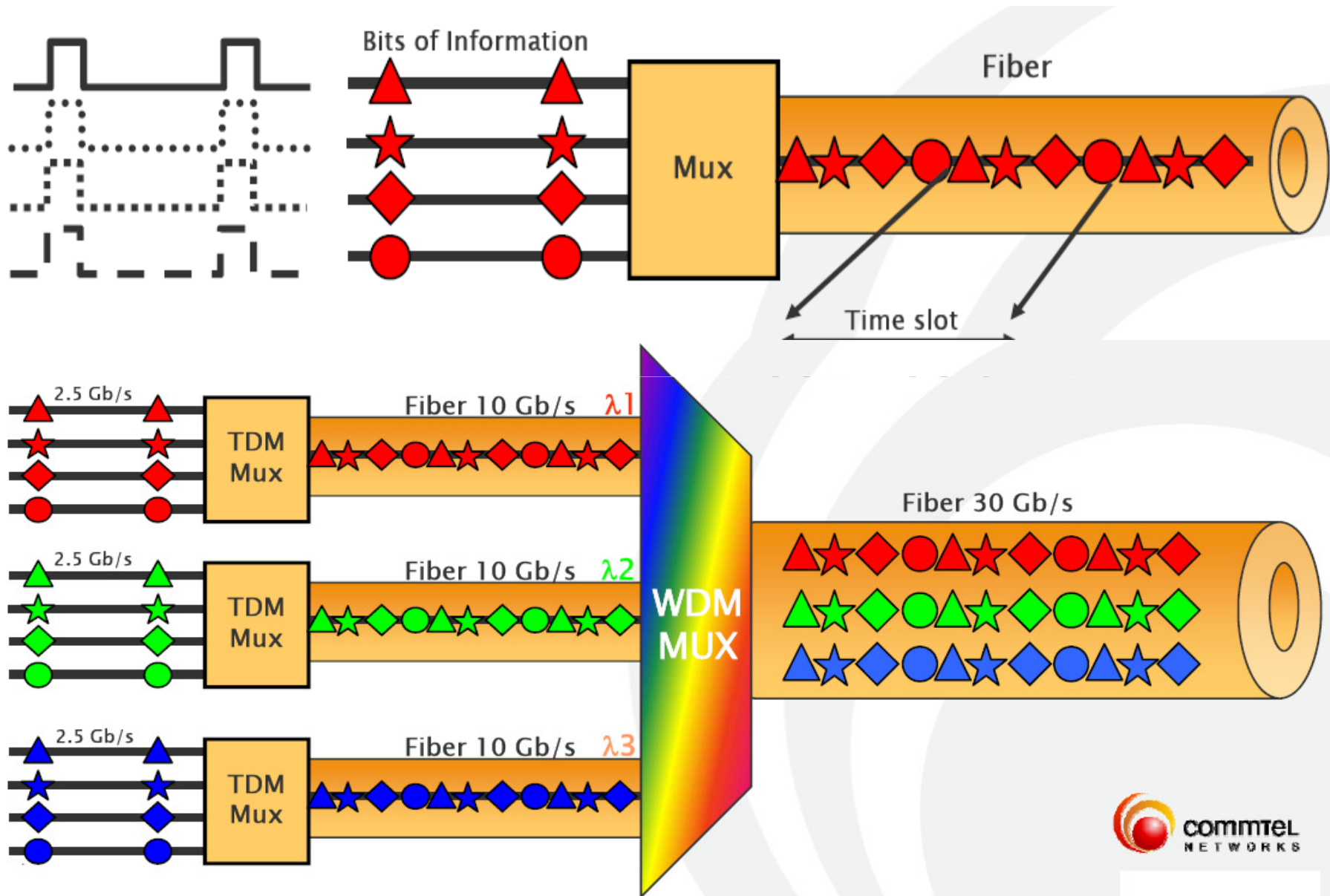
Razpršilna koda



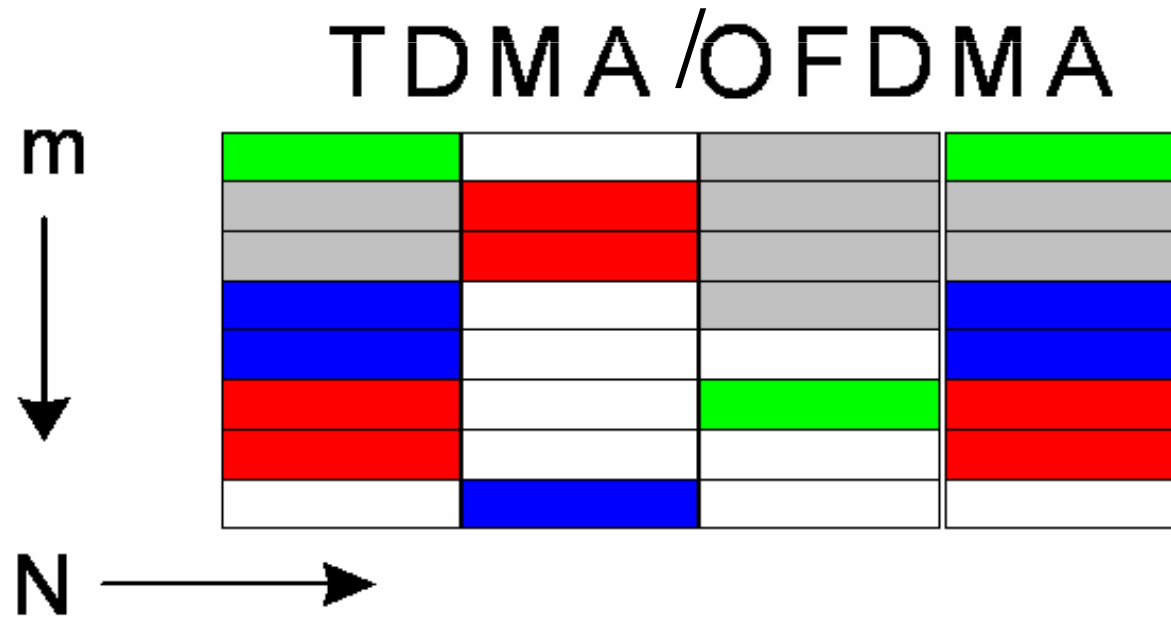
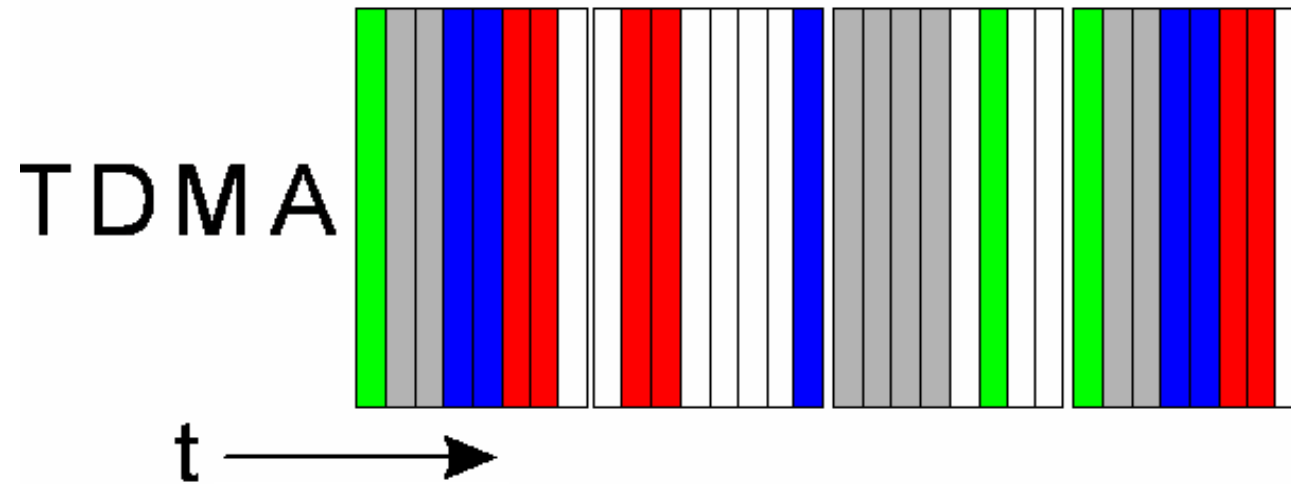
- Širok spekter zaradi hitre razpršilne kode.
- Nizka spektralna učinkovitost informacijskega signala.
- CDM se v optičnih komunikacijah ni uveljavilo.

Hibridno multipleksiranje

TDM in TDM-WDM

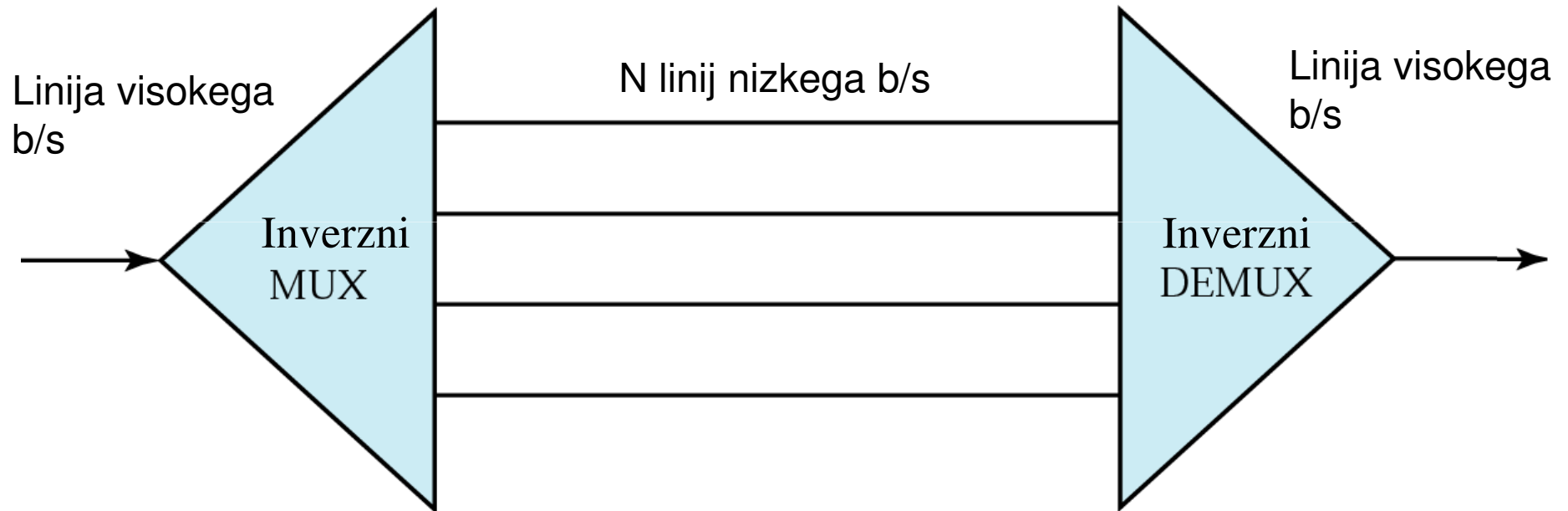


TDMA/OFDMA



Inverzni Mux/Demux

Pretvorba visokobitnega kanala v N nizkobitnih kanalov in nazaj.



Uporaba:

- procesiranje S/P v OFDM
- OADM multiplekserji
- usmerjevalniki

Skrajne meje razvrščanja TDM in WDM

Prenos TDM

VAŽNO

Prenos WDM

- generacija kratkih impulzov

$$\Delta t_{\min} = 0,1 \text{ ps (100 fs)}$$

$$T_B = 4\Delta t_{\min} = 0,4 \text{ ps}$$

$$B = 1/T_B = 2,5 \text{ Tb/s}$$

- disperzija $D = 1 \text{ ps/nm/km}$ omejuje zvezo pri $B = 1 \text{ Tb/s}$ na dolžino $L < 0,1 \text{ km} !!$
- **Disperzija omejuje visoko bitno hitrost kanala TDM.**
- Verjetna maksimalna bitna hitrost kanala je **do 1000 Gb/s?**
- Izkušnje bodo pokazale, ali se bo tak razvoj v praksi uveljavil.

- celotna širina spektra v razširjenem optičnem oknu C+L je približno

$$\Delta f_{\max} = 10 \text{ THz}$$

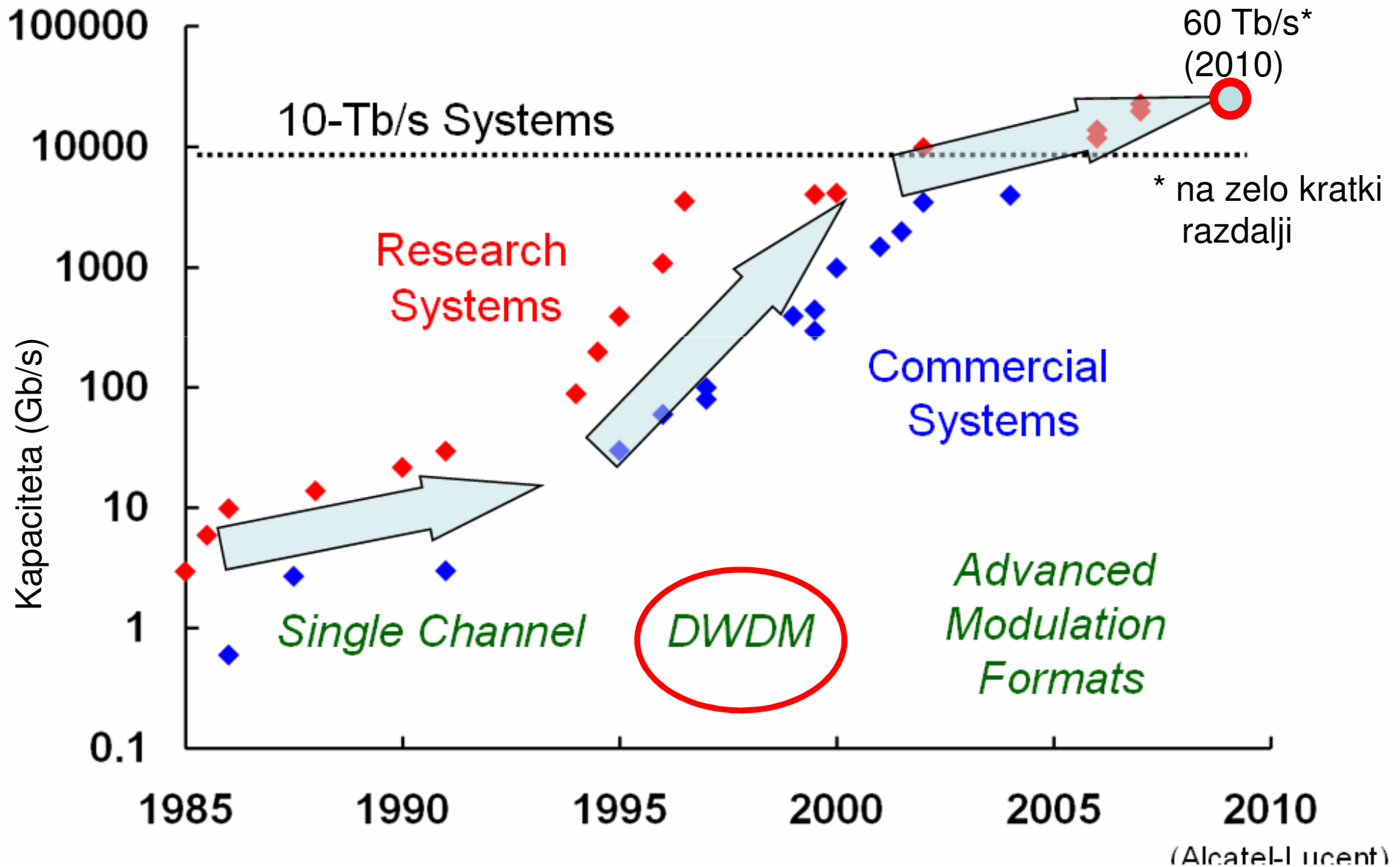
- Pri teoretično dosegljivem spektralnem izkoristku $\eta = 5 \text{ b/s/Hz}$, je skupna zmogljivost kanala pri 2 polarizacijah

$$B = 2\eta\Delta f_{\max} = 100 \text{ Tb/s}$$

npr. 2×125 kanalov po 400 Gb/s

- **Nelinearnost omejuje skupno moč na $P < 10 \text{ mW}$. Zato je moč na kanal**
 $P_{\text{kanala}} < 4 \cdot 10^{-2} \text{ mW}$.
- Verjetno maksimalno število kanalov je **nekaj 100?**

Vrhunska kapaciteta WDM optične zveze



KONEC