



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)  
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission

This publication[communication] reflects the views only of the author, and  
the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of  
the information contained therein.

**DBBT**

**Digital Broadcasting &  
Broadband Technologies**

# Uvod u optičke mreže

# Optičke mreže

- U posljednjoj deceniji, razvoj i modernizaciju telekomunikacionih sistema i mreža dominantno određuju paketski-orjentisane usluge, prije svega Internet, ali i druge primjene koje prate ovaj tip komunikacija.
- U pogledu informacionog kapaciteta, telekomunikacionu mrežu čine *transportni dio*, kroz koji se ostvaruje veliki bitski protok i prenos informacija na velika rastojanja (*long-haul* mreža, koja kao svoj niži nivo obuhvata mrežu širokog prostranstva (WAN) i regionalnu, odnosno gradsku (MAN) mrežu) i *pristupni dio*, kroz koji se ostvaruje protok nižeg intenziteta na relativno kratkim rastojanjima i do krajnjeg korisnika.
- Iako su transportna i pristupna mreža dijelovi jedinstvenog sistema, zbog njihovih specifičnosti i razlika moguće ih je razmatrati nezavisno.

# Optičke mreže

- Veliki svjetski mrežni operatori, kao što su Verizon i AT&T, ukazuju na to da se kapacitet u njihovim mrežama udvostručava na svakih šest mjeseci. Na osnovu podataka International Data Corporation, širokopolasni prenos mobilnog i fiksnog saobraćaja prevazišao je 100 petabajta (mjesečno) krajem 2015. godine. Potreba za većim propusnim opsegom posljedica je sve intenzivnijeg korišćenja pametnih (*smart*) mobilnih uređaja za pristup informacijama u svakom trenutku i na svakom mjestu, kao i činjenice da korisnici zahtijevaju servise *triple-play* i audio/video striming.
- **Ukupan informacioni kapacitet** linka je tradicionalno jedna od najvažnijih karakteristika optičkih mreža, jer u osnovi određuje kvantitet prenesenih informacija i kvalitet usluga. Jedan od standardnih pristupa za povećanje informacionog kapaciteta je primjena tehnike **multipleksiranja po talasnim dužinama** (WDM). Međutim, ukupan informacioni kapacitet koji se može ostvariti primjenom ove tehnike *ograničen je širinom spektra talasnih dužina* koje se mogu koristiti za prenos signala u optičkim vlaknima, kao i međukanalnim razmakom, pa se koristi **standard za gusto multipleksiranje kanala** (DWDM) 80 kanala. Primjenom sistema koji obezbjeđuju bitske protoke od 10 Gb/s (OTN OTU2) po kanalu, omogućena je brzina prenosa signala čiji red veličine dostiže ili prevazilazi 1 Tb/s, na rastojanjima većim od nekoliko hiljada kilometara.
- Sa aspekta današnjeg tehnološkog razvoja, povećanje bitskog protoka po jednom kanalu predstavlja najperspektivniji način za povećanje ukupnog informacionog kapaciteta vlakna.

# Optičke mreže

- Iako su 2012. godine veliki svjetski mrežni operateri započeli sa masovnom implementacijom opreme za protoke od 100 Gb/s, odnedavno komercijalno dostupni DWDM sistemi protoka 40 Gb/s (OTN OTU3) još uvijek nisu u potpunosti zamijenili dugogodišnji 10 Gb/s standard za DWDM mreže.
- Primjena 40 Gb/s sistema je uglavnom zasnovana na mogućnostima nadogradnje postojećih sistema protoka 10 Gb/s u onim dijelovima mreže koji zbog povećane potrebe za informacionim kapacitetom predstavljaju tzv. „vruće tačke“ i u kojima saobraćaj dostiže pun kapacitet sistema. Ovakva mogućnost nadogradnje, uz pretpostavku da se može ostvariti jednostavnom zamjenom primopredajnih elemenata, u velikoj mjeri produžava životni vijek postojećih DWDM sistema.
- Klasični modulacioni formati kao što su NRZ (*Non-Return-to-Zero*) i RZ (*Return-to-Zero*) zasnovani na OOK (*On-Off Keying*) ne obezbjeđuju dovoljno malu vjerovatnoću greške za prenos optičkih signala pri bitskim protocima većim od 10 Gb/s. Naime, za 10 Gb/s dominantan problem je **hromatska disperzija** koja se primjenom disperziono-kompenzacionih modula može u velikoj mjeri kompenzovati. Međutim, pri većim protocima dolazi do veoma izraženih **nelinearnih efekata**, kao što su unakrsno-fazna modulacija (XPM) i četvorotalasno miješanje (FWM), koji značajno degradiraju kvalitet prenosa. Nelinearni efekti u suštini dobijaju na značaju zbog djelovanja **hromatske disperzije** na svakoj od dionica, ali i usljed uskog vremenskog intervala između susjednih bitova. Još jedan od ograničavajućih faktora je **polarizaciona disperzija** (PMD) koja predstavlja ozbiljan problem za implementaciju 40 Gb/s sistema, posebno ukoliko se koriste optička vlakna položena devedesetih godina, za koja su metode proizvodnje, spajanja i polaganja bile nedovoljno sofisticirane da se izbjegne geometrijska asimetrija koja prouzrokuje PMD.

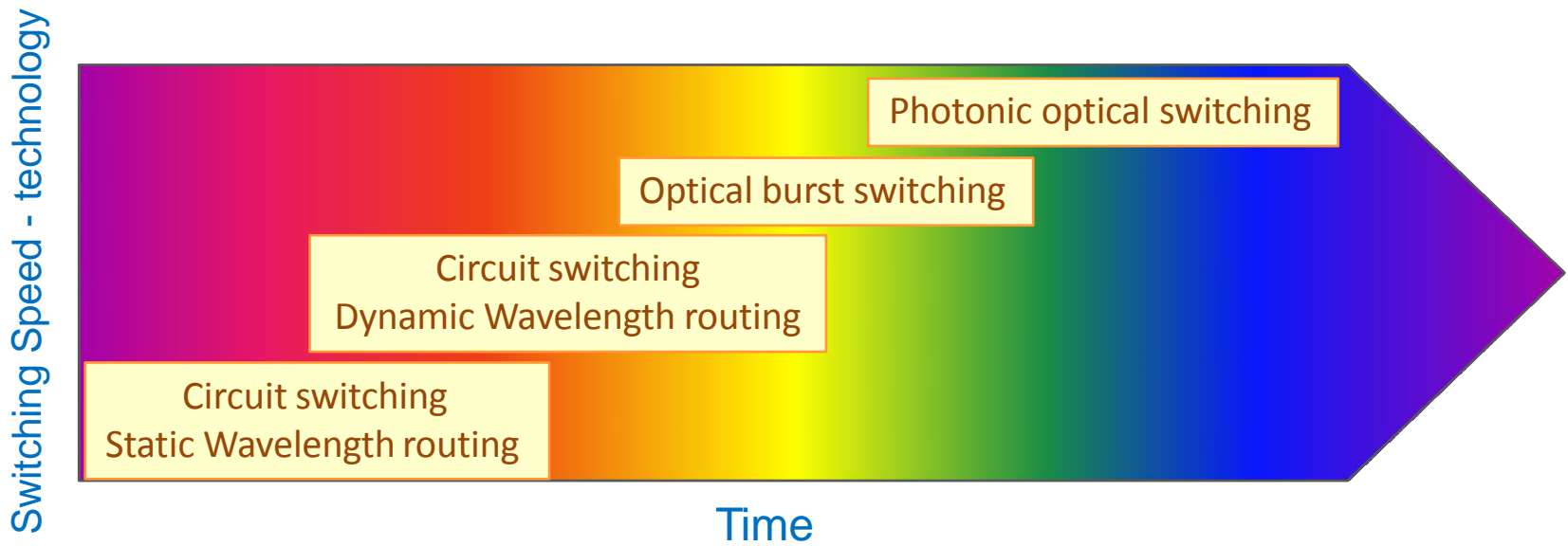
# Optičke mreže

- Predstavlja komunikacionu mrežu u kojoj su prenosni linkovi sačinjeni od optičkih vlakana, a njena arhitektura se projektuje tako da se iskoriste sve prednosti optičkog vlakna.
- **Namjena:** obezbijediti veliki kapacitet u telekomunikacionim mrežama, odnosno infrastrukturu za prenos različitih vrsta usluga
- U poređenju sa bakarnim kablovima, optičke mreže obezbjeđuju mnogo veći propusni opseg, bez elektromagnetske interferencije i neželjenih efekata.
- Vrste usluga:
  - **Bazirane na komutaciji kola**
    - Svakoj konekciji je tokom trajanja veze dodijeljen garantovan propusni opseg
  - **Paketski komutirane**
    - Strimovi podataka se fragmentiraju u manje pakete
    - Paketi se multipleksiraju zajedno sa paketima iz drugih strimova podataka unutar mreže
    - Komutacija se realizuje na osnovu odredišta paketa

# Optičke mreže

- **Prva generacija** optičkih mreža je u svojoj strukturi imala "point-to-point" optičke linkove koji su zamijenili bakarne linkove.
- **Druga generacija** optičkih mreža je imala implementirano rutiranje, komutaciju i upravljanje na **optičkom nivou**.

# Evolucija optičkog umrežavanja

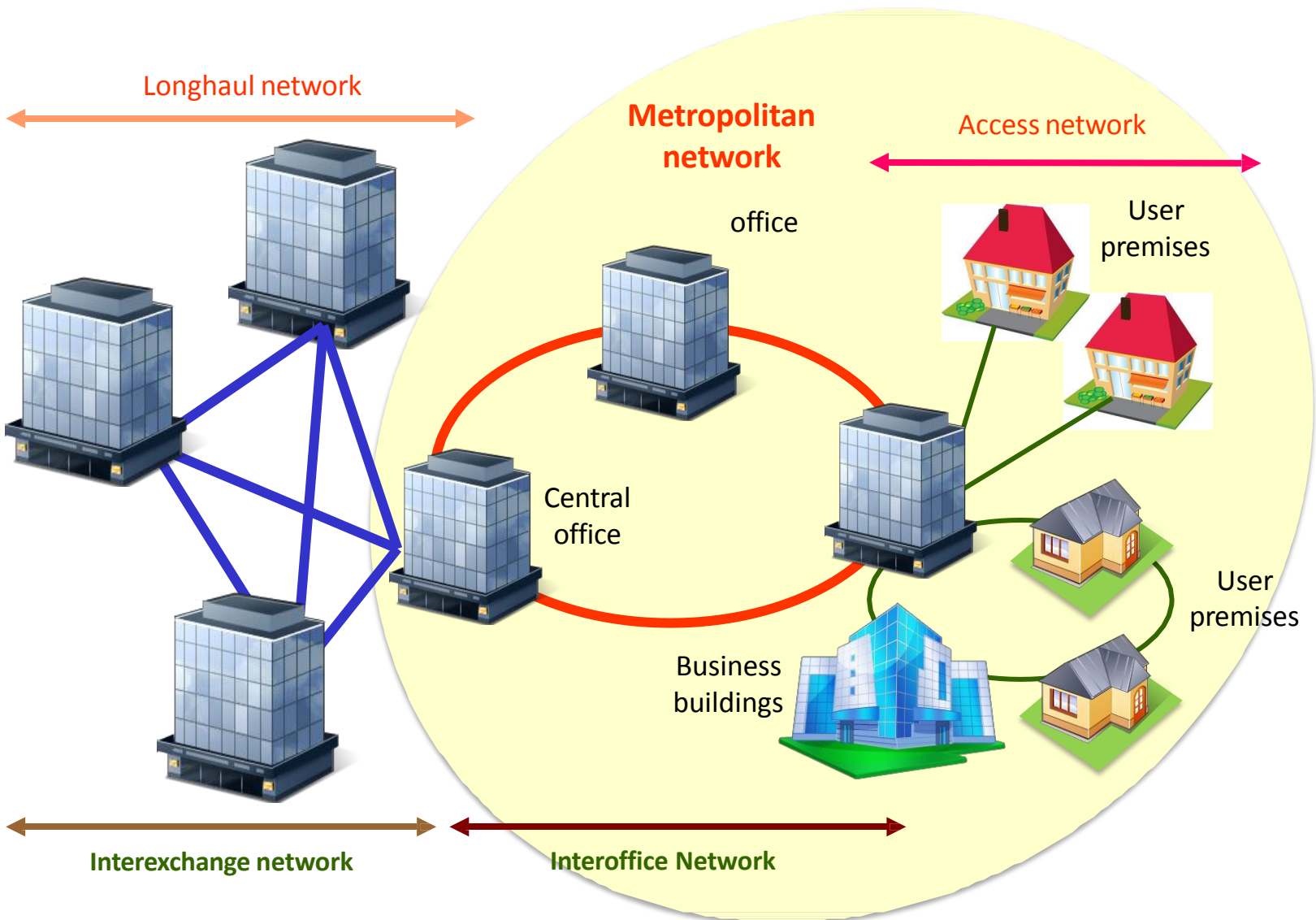




# Javne optičke mreže

- Javna mreža može biti u vlasništvu različitih operatora.
- Čvorovi mreže nalaze se u *centralama*. Zovu se još i:
  - *POPs* – *point of presence* – mala čvorna mjesta
  - *Hubovi* - veći čvorovi
- Optički linkovi se sastoje od optičkih vlakana grupisanih na osnovu dometa, topologije, saobraćaja, mehanizama za oporavak od grešaka itd.
  - U najvećem broju slučajeva, **mesh mreže su bazirane na povezivanju mreža topologije prsten**
- Razlikuju se:
  - *Gradske (metropolitan) mreže*
    - Dio mreže nalazi se unutar područja grada ili dijela regiona
  - *Transportne (long-haul) mreže*
    - Dio mreže koja povezuje gradove ili veće regione

# Javne optičke mreže

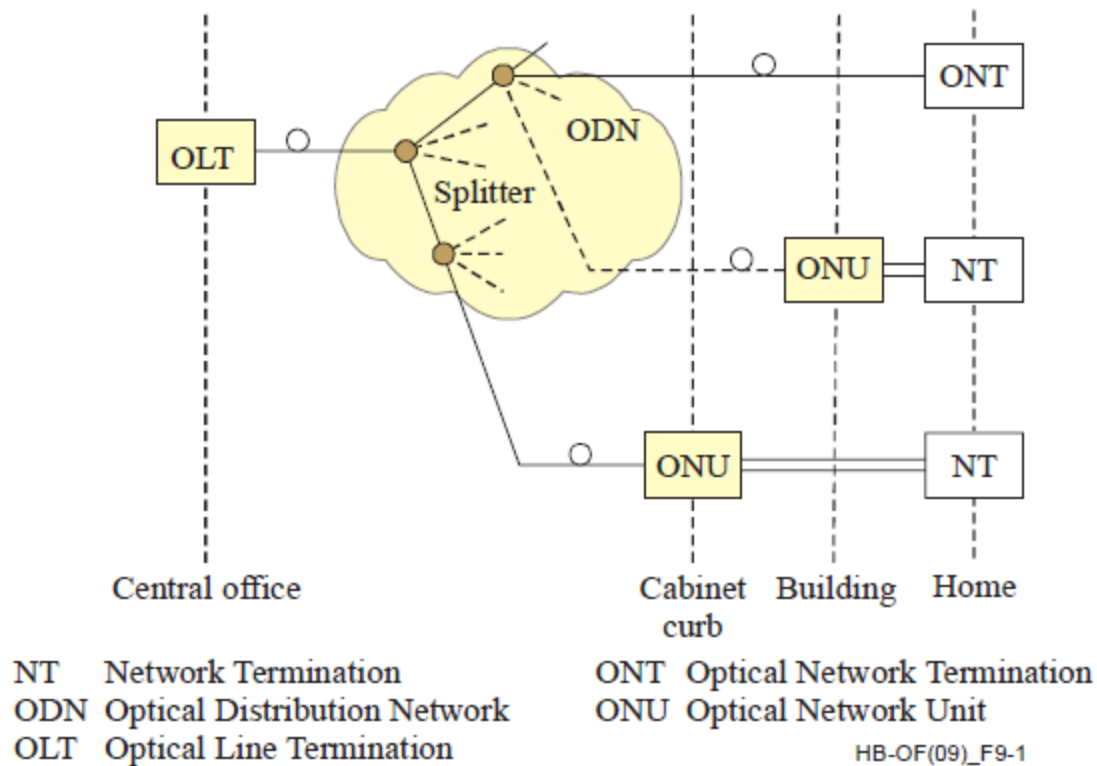


# Javne optičke mreže

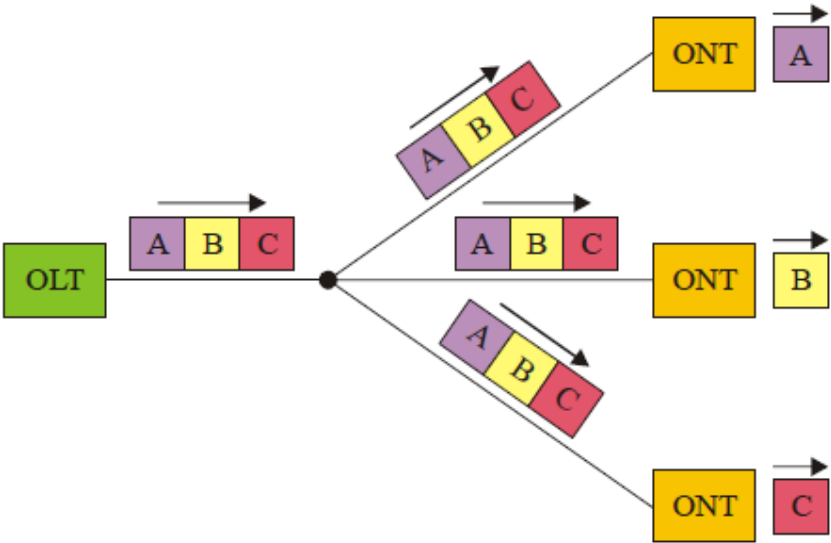
## 1) Gradska mreža

- Sastoji se od **metro pristupne mreže i metro interoffice mreže**
  - **pristupna mreža povezuje centralu sa krajnjim korisnicima**
    - Domet je nekoliko kilometara
    - Saobraćaj većeg broja korisnika se multipleksira i asemblira unutar centrale
  - **interoffice mreža se sastoji od grupa centrala unutar grada ili regiona**
    - Udaljenost između centrala je od nekoliko kilometara do nekoliko desetaka km
    - Domet značajno zavisi od regiona (linkovi u SAD su znatno duži od evropskih)

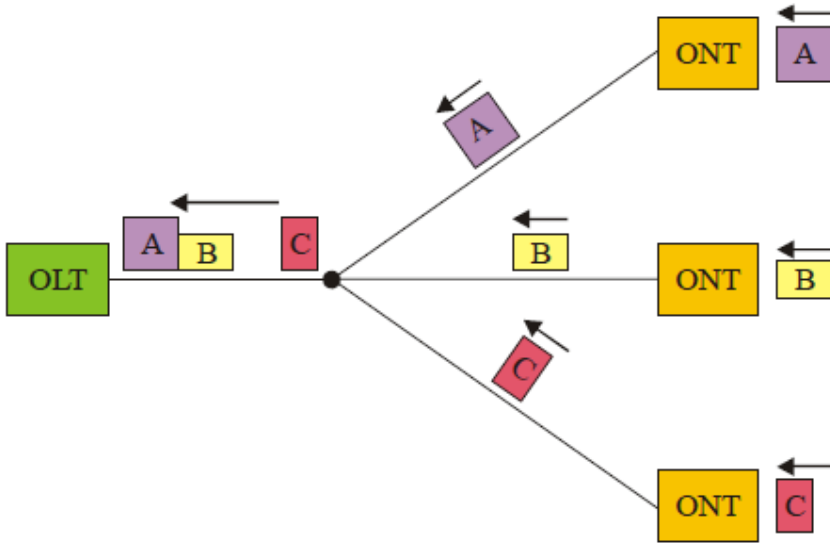
# Pasivne optičke mreže (PON)



# Način prenosa



TDM: Time Division Multiplexing



TDMA: Time Division Multiple Access

# Javne optičke mreže

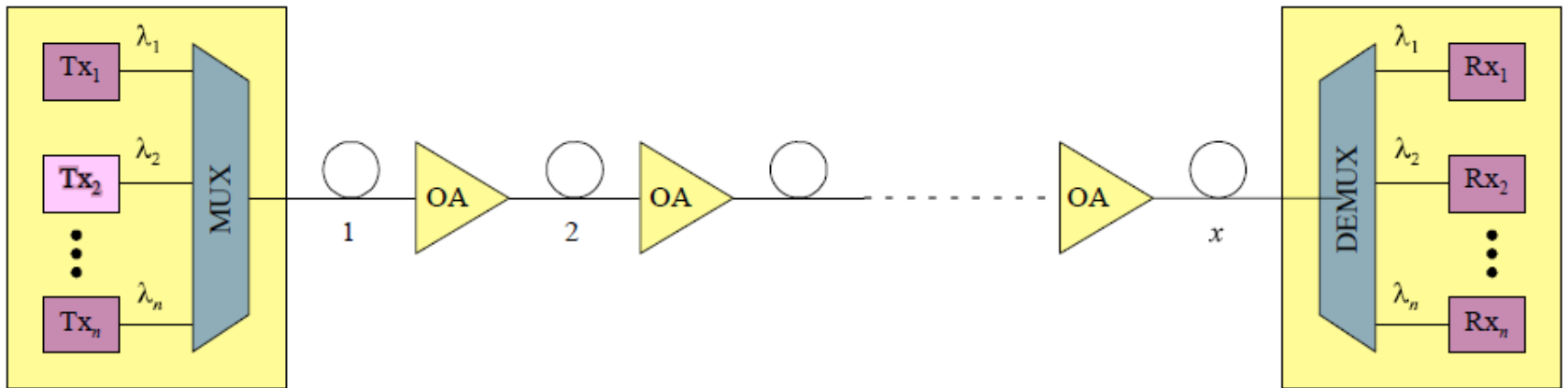
## 2) Transportna mreža

- Povezuje različite gradove ili regione, udaljenosti između čvorova su od nekoliko stotina do nekoliko hiljada km
- Za razliku od pristupne mreže, raspodjela sobračaja je bazirana na mesh topologiji

# Osobine optičkih mreža

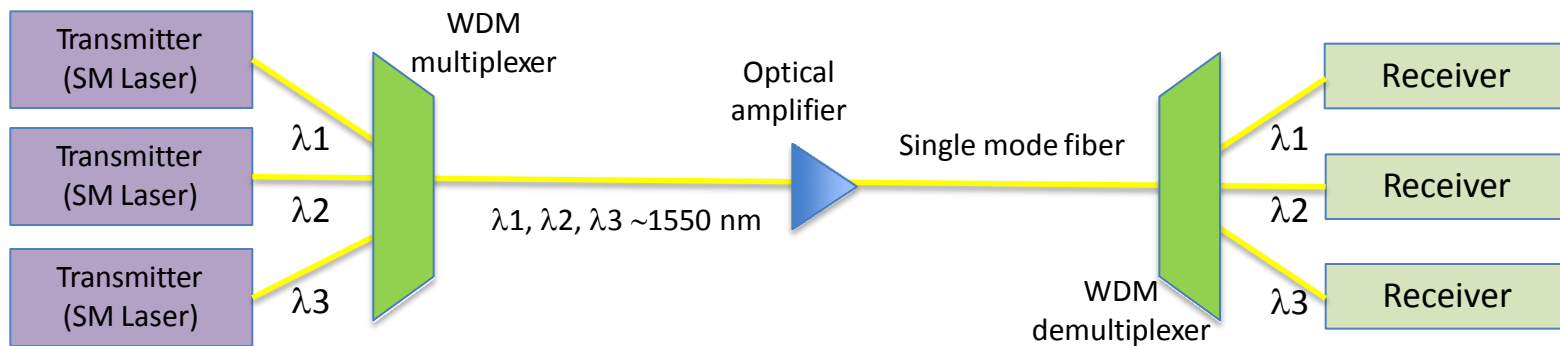
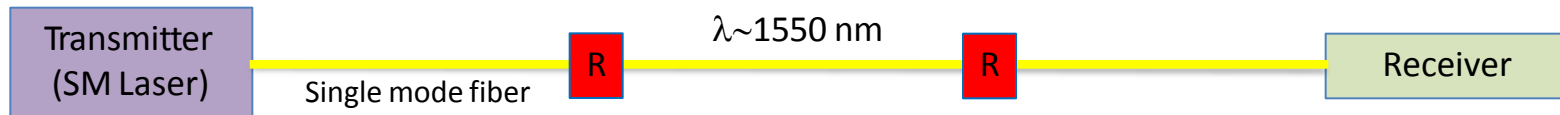
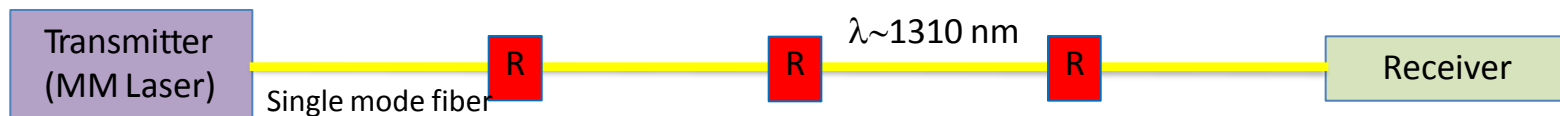
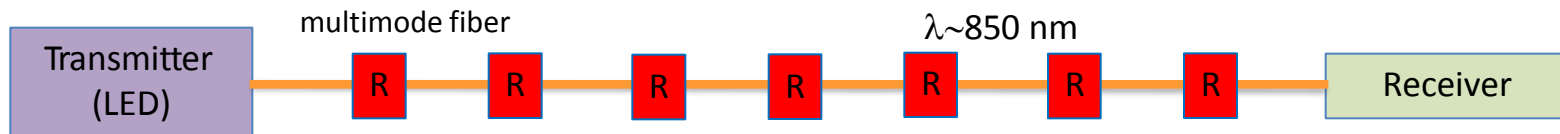
- Performanse optičkih komunikacionih sistema zavise od geografskog područja, mrežne konfiguracije i karakteristika saobraćaja
- U opštem slučaju, format prenosa je DIGITALNI u:
  - Point-to-point linkovima
  - Distributivnim mrežama
- Iako rijetko, ANALOGNI formati se koriste u:
  - Distributivnim mrežama, CATV mrežama...
- Prednosti digitalnih signala:
  - otpornost na smetnje
  - jednostavnija obrada i
  - multipleksiranje

# WDM point-to-point link





# Razvoj optičkih mreža



Postojeći sistemi bazirani na WDM u opsegu 1550 nm preko SM vlakna; regeneratori se zamjenjuju optičkim pojačavačima

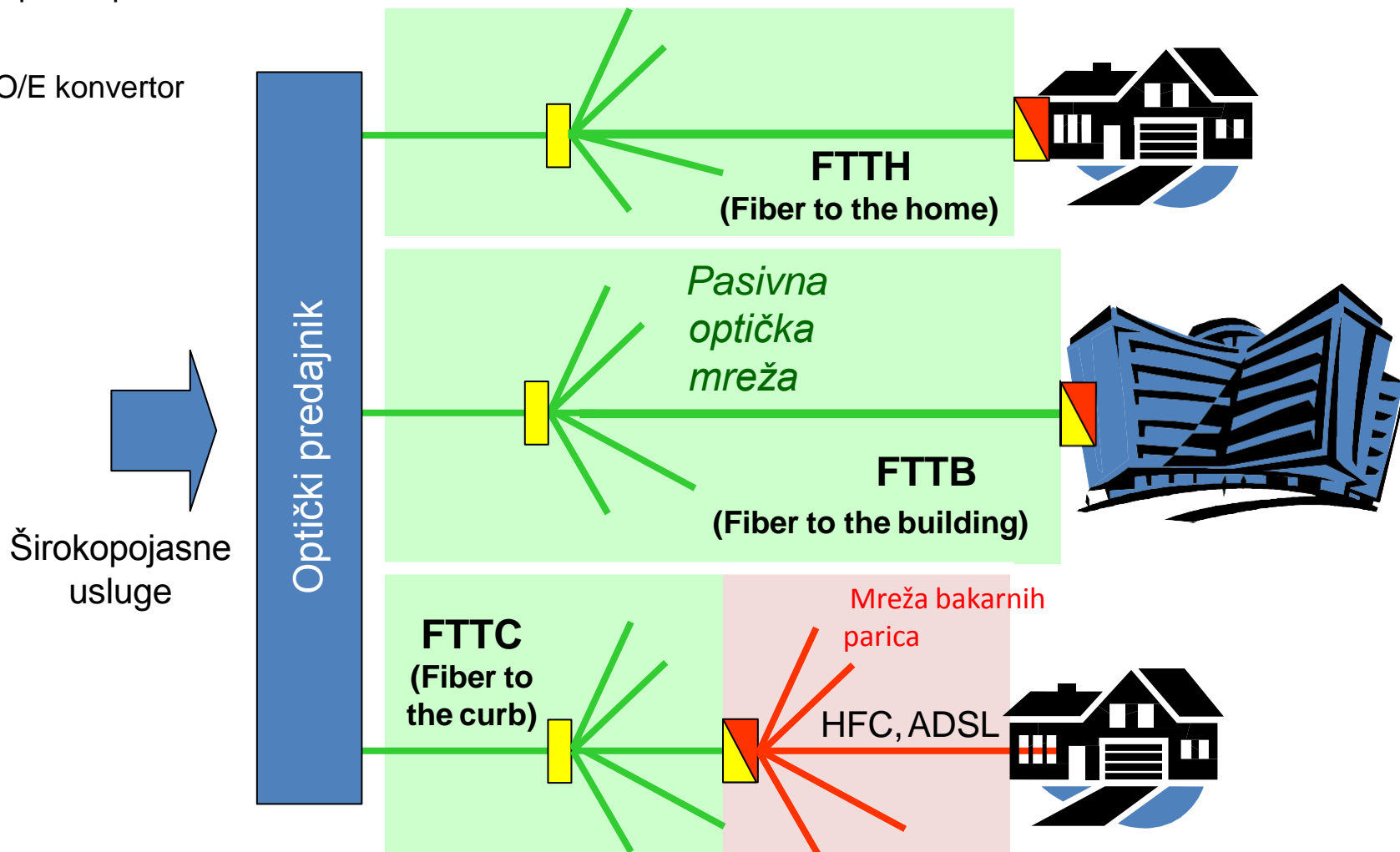
Time evolution

## Razvoj optičkih mreža

- Rezultati prve generacije optičkih mreža krajem 80-ih :
  - MAN (metropolitan-area networks): 100 Mb/s fiber distributed data interface (FDDI)
  - Mreže za povezivanje mainframe računara: 200 Mb/s enterprise serial connection (ESCON)
- Standardizacija i razvoj SONET (USA) i SDH mreža (Evropa i Japan)
- Komercijalno raspoloživi optički add/drop multiplekseri i kros-konektori označili su početak razvoja “all optical” telekomunikacionih mreža.
- Razvoj optičkih paketski-komutiranih mreža i LAN optičkih mreža

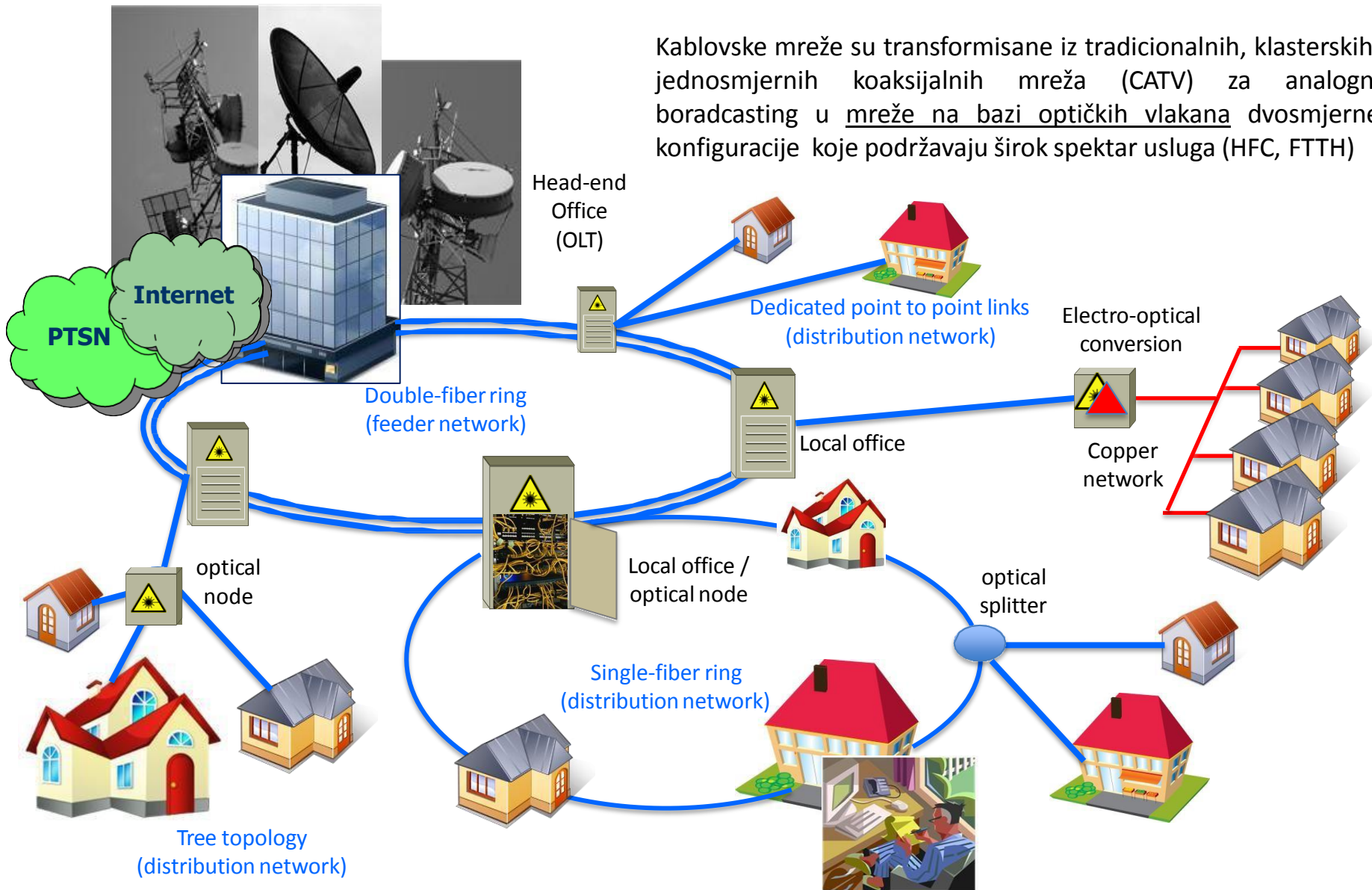
# Topologije optičkih mreža

-  Optički splitter
-  O/E konvertor



# Primjer SCM (subcarrier multiplexing) mreže

Kablovske mreže su transformisane iz tradicionalnih, klusterskih, jednosmjernih koaksijalnih mreža (CATV) za analogni boradcasting u mreže na bazi optičkih vlakana dvosmjerne konfiguracije koje podržavaju širok spektar usluga (HFC, FTTH)



### PAL B/G

Channels: 110 PAL  
Band: 48,25 – 855,25 MHz  
Spacing: 7/8 MHz

### BK450

Channels: 48 PAL + 2 tones  
Band: 48,25 – 599,25 MHz  
Spacing: 7/8 MHz

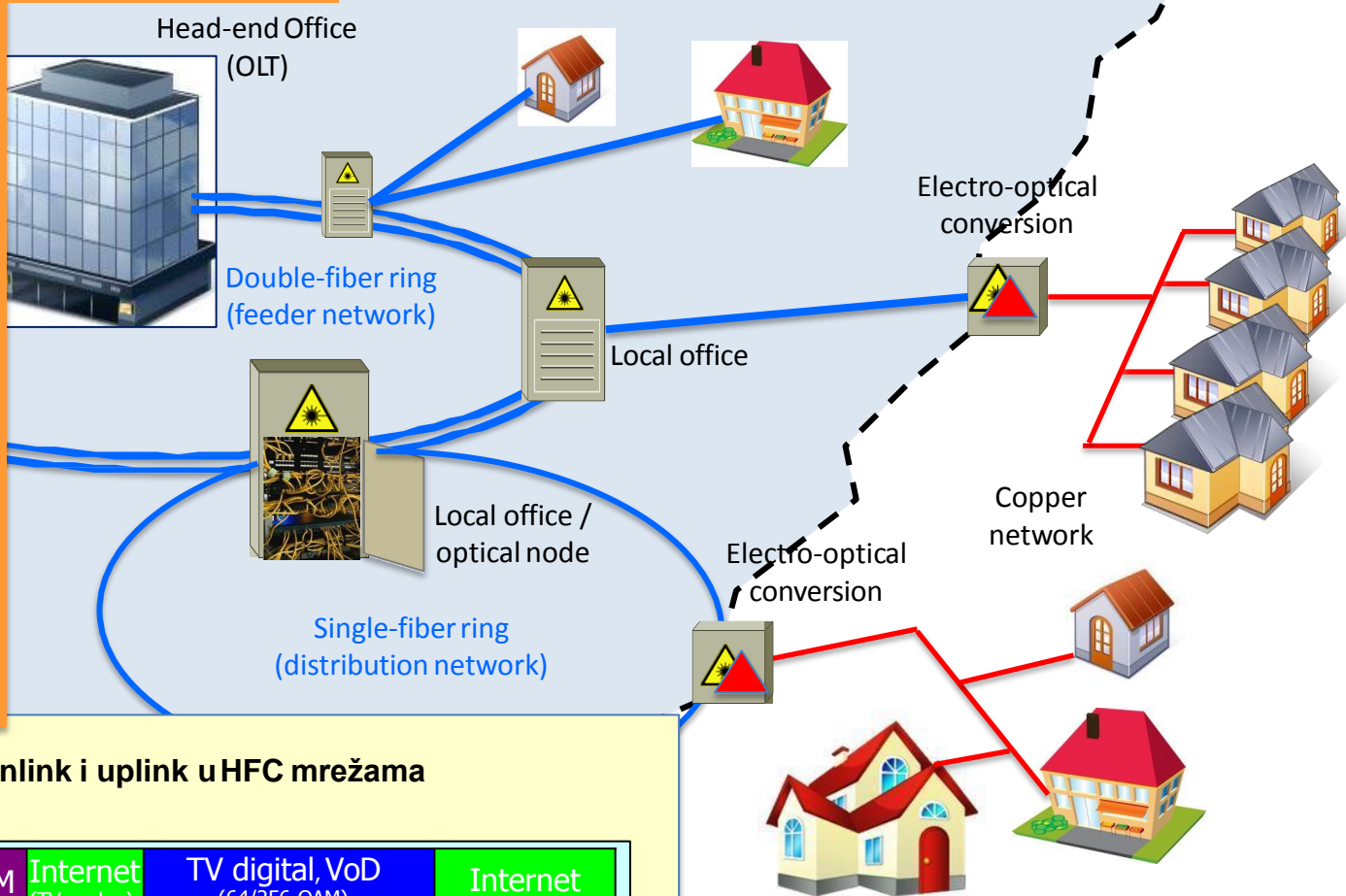
### BK600

Channels: 110 PAL  
Band: 48,25 – 855,25 MHz  
Spacing: 7/8 MHz

### CENELEC

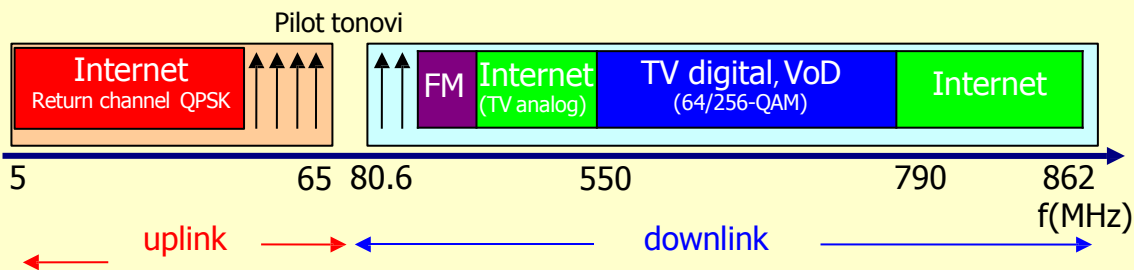
Channels: 42 PAL  
Band: 48,25 – 855,25 MHz  
Spacing: 7/8 MHz

## Frekvencijski plan



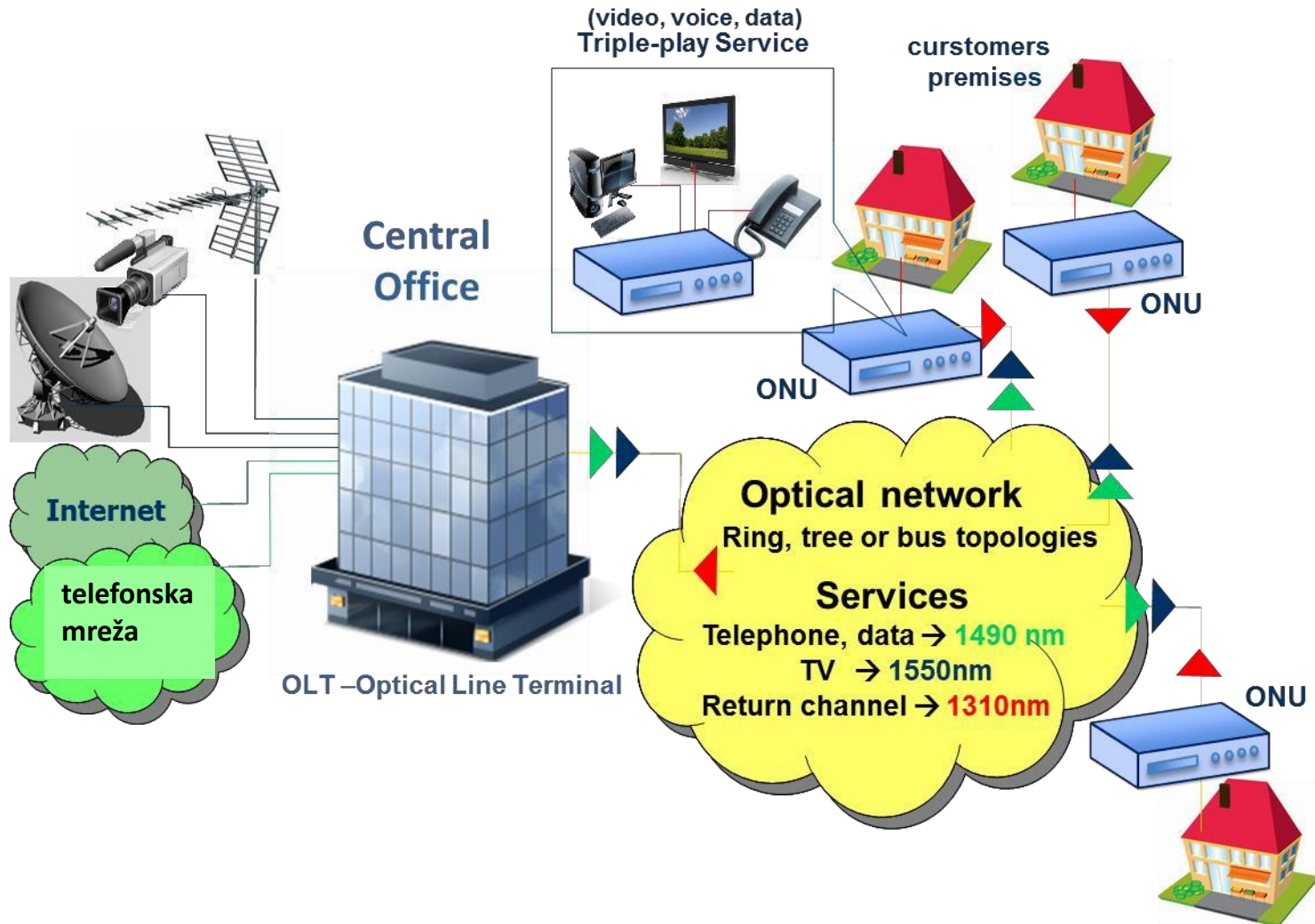
## Optički prenos

## RF spekter za downlink i uplink u HFC mrežama

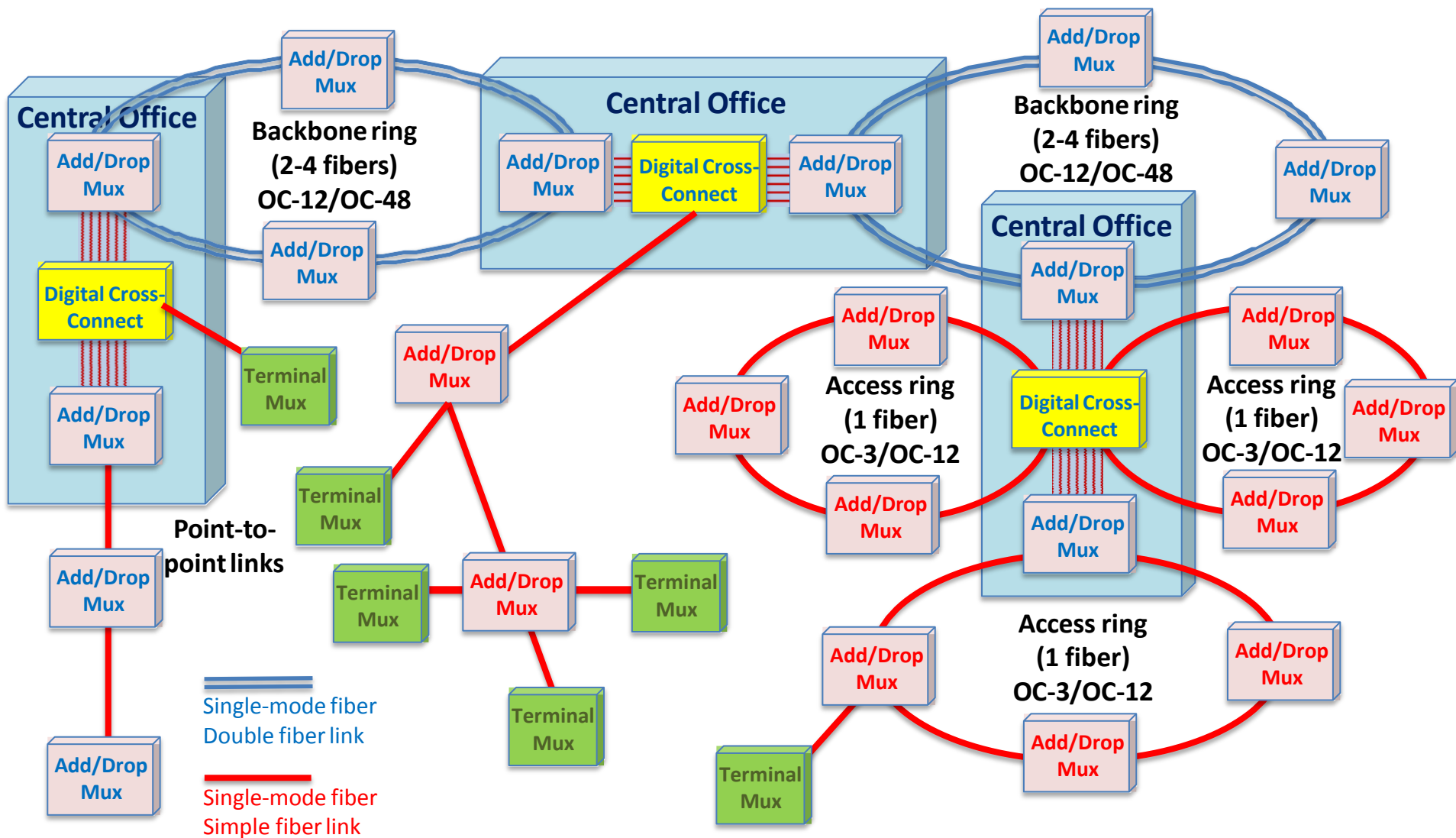


## Električni prenos

# FTTH mreža bazirana na pristupnoj mreži (PON standard)



# 1. generacija optičkih mreža



## 2. generacija optičkih mreža

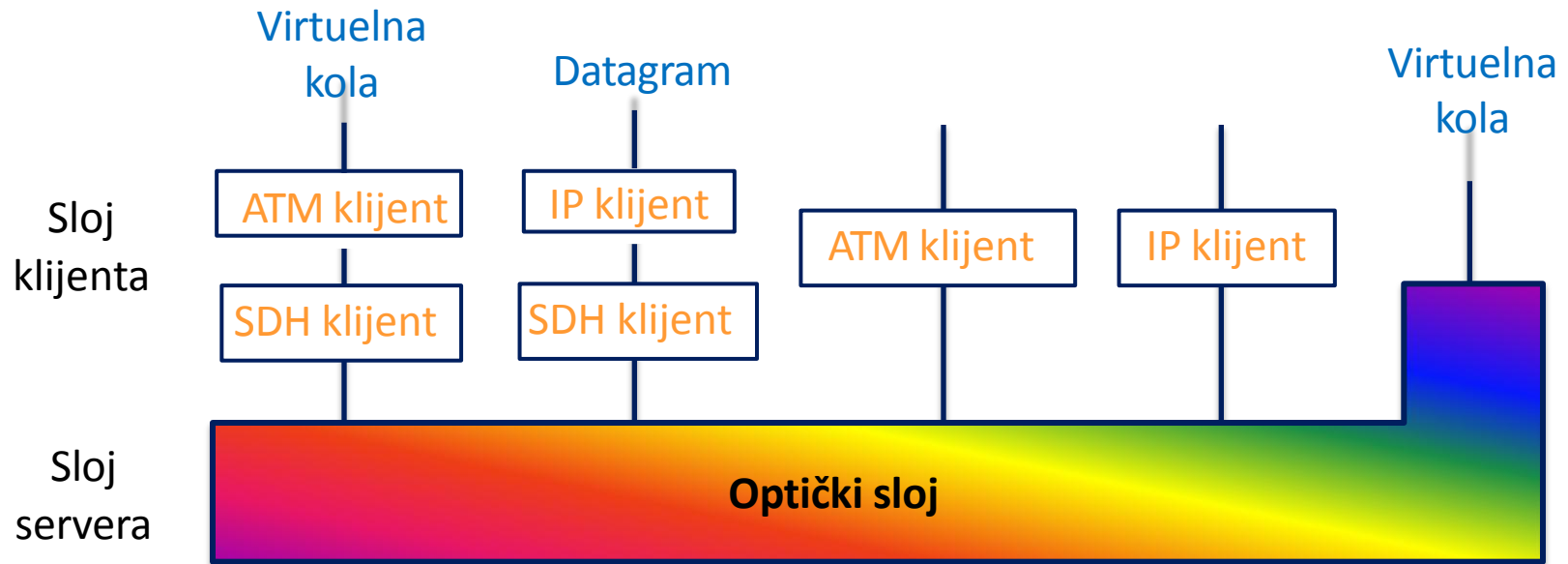
- Za razliku od 1. generacije mreža , namjena je da se funkcije “point to point“ prenosa realizuju u optičkom domenu:
  - **komutacija**
  - **rutiranje**
- Razvoj 2. generacije optičkih mreža doveo je do uvođenja novog nivoa u mrežnom modelu: **optički nivo**

Ovo znači sljedeće:

  - Smanjenje broja kritičnih mjesta ("bottlenecks") u mreži:
    - u 1. generaciji mreža, povećanje linijske brzine komplikovalo je obradu zaglavlja u elektronskom domenu
  - To je servisni sloj koji obezbjeđuje "optičke putanje" do korisnika (ostali slojevi su: SDH, ATM, ESCON, 10GbE ...)

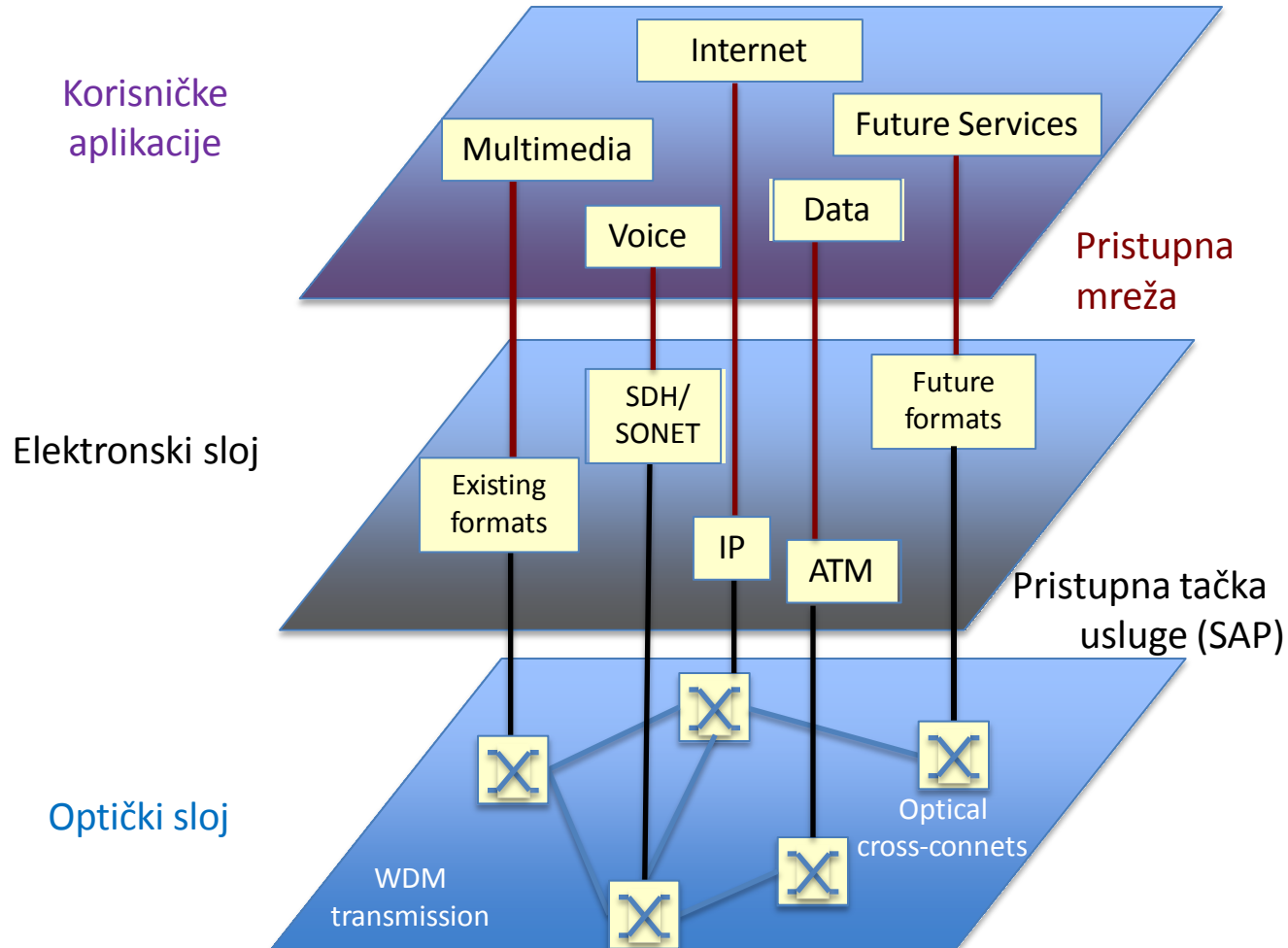


## 2. generacija optičkih mreža



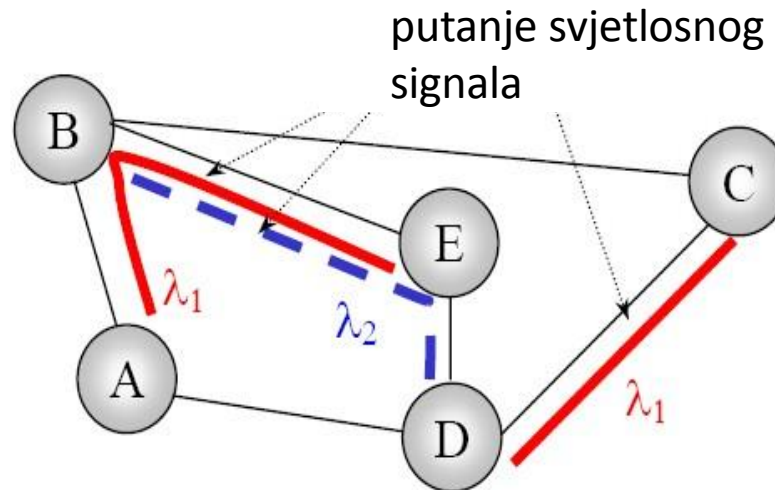
**Putanja svjetlosnog signala** – optička konekcija “od kraja do kraja” na optičkom sloju, na bazi specifične talasne dužine koja se prenosi duž nekoliko optičkih linkova i kroz različite čvorove .

# Slojevita arhitektura telekomunikacionih mreža



## 2. generacija optičkih mreža

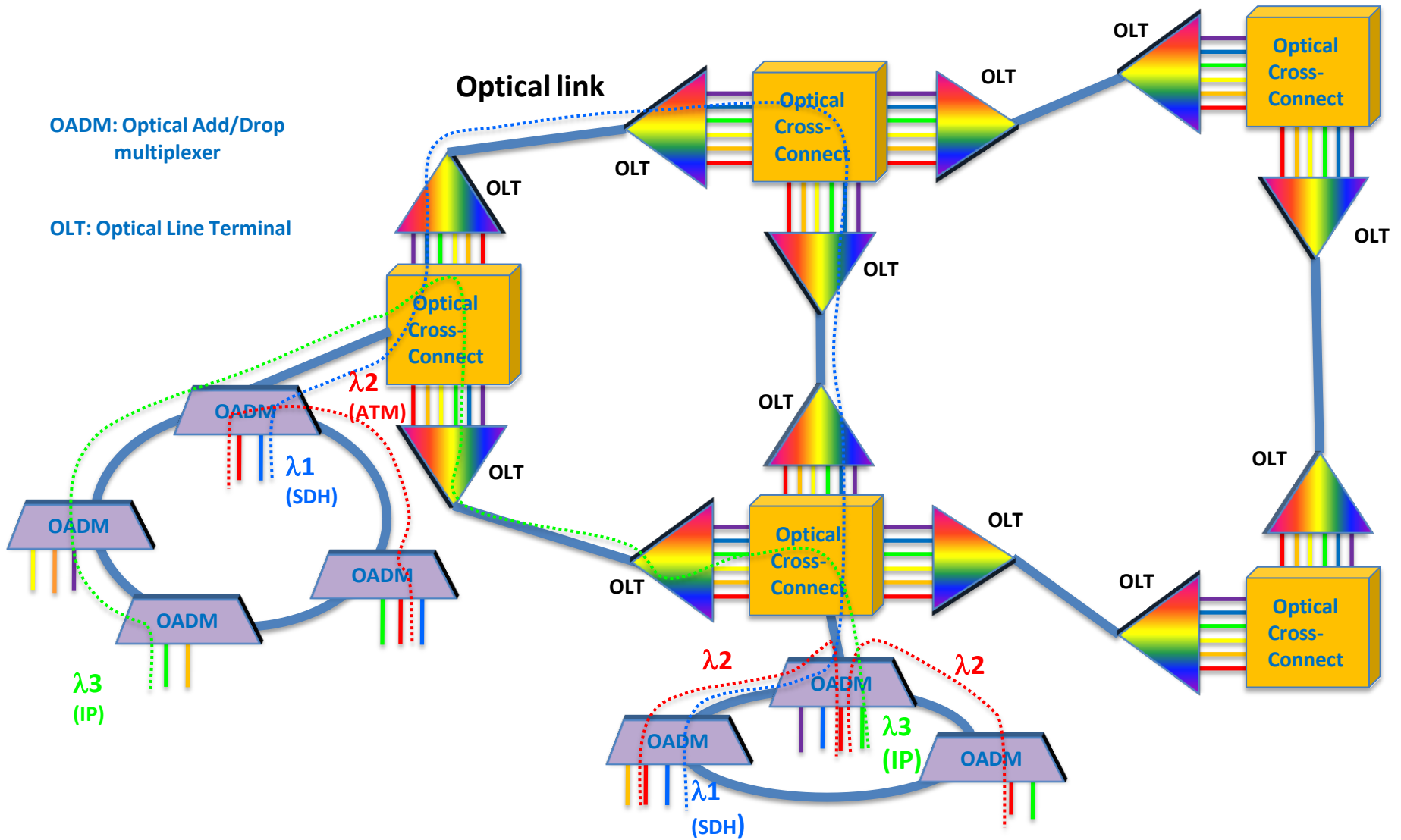
Različite putanje svjetlosnog signala mogu koristiti istu talasnu dužinu sve dok ne dijele isti optički link → **Optical continuity constraint**



Putanje svjetlosnog signala se rutiraju kroz posredničke (intermediate) čvorove prema drugim linkovima, na kojima dolazi do kombinovanja talasnih dužina (wavelength-routing network).

Optički sloj obezbeđuje putanje svjetlosnog signala ka višim slojevima preko SAP (service access point).

## 2. generacija optičkih mreža



## 2. generacija optičkih mreža

- **OLT** (Optical Line Terminals)
  - Multipleksiraju veći broj talasnih dužina preko jednog vlakna
  - Demultipleksiraju skup talasnih dužina u različita vlakna
  - OLT se koriste na krajevima “point-to-point” WDM linkova
- **OADM** (Optical Add / Drop Multiplexers)
  - Preuzima WDM sa ulaznog porta i selektivno odbacuje određene talasne dužine, a ostale prosljeđuje dalje u sistem
  - Selektivno dodaje talasne dužine u WDM signal
  - OADM se koriste u transportnim i metro mrežama
- **OXC** (Optical Cross-connects or optical switching matrix)
  - Obavljaju funkcije slične digitalnim kros-konektorima, ali u optičkom domenu
  - Imaju veliki broj portova i mogu komutirati talasne dužine sa jednog ulaznog porta na drugi
  - OXC se koriste i u transportnim mrežama zbog velikog kapaciteta

**OADM i OXC imaju mogućnosti i konverzije talasnih dužina**

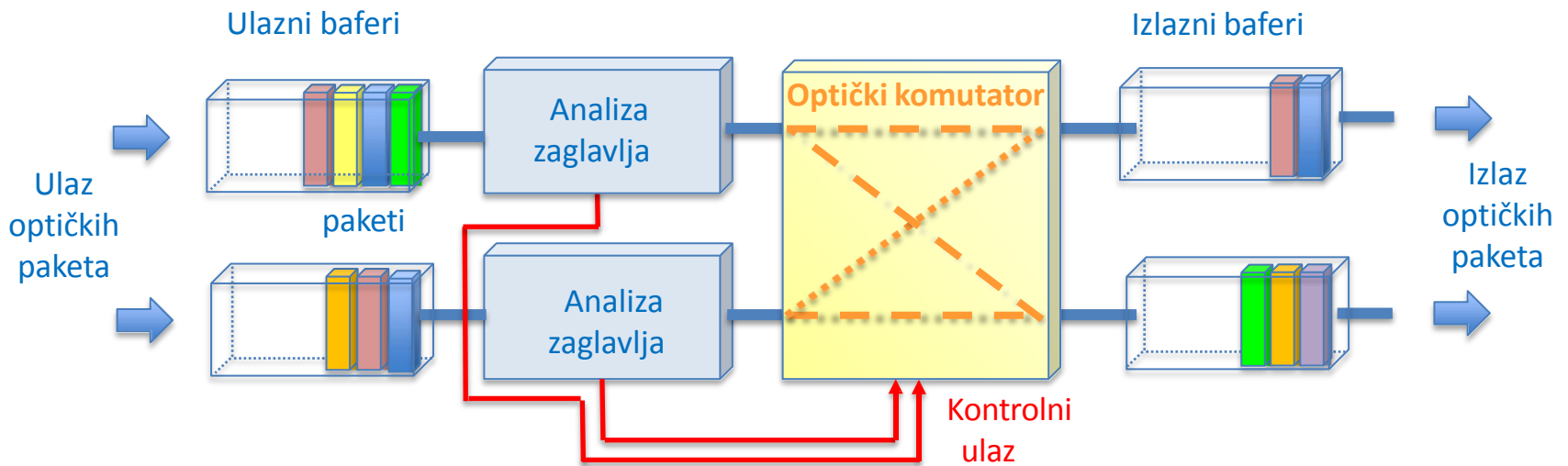
## Sljedeća generacija optičkih mreža

# Optička paketska komutacija

- Za razliku od prenosa svjetlosnih signala u mrežama na bazi komutacije kola, nova generacija mreža podržava **paketsku komutaciju u optičkom domenu**
- Ove mreže zahtijevaju formu optical time division multiplexing (OTDM): ***fiksni ili statistički***
  - Statističko multipleksiranje : optičke paketski-komutirane mreže
  - Fiksni OTDM se zaniva na podskupu optičke paketske komutacije, pri čemu je multipleksiranje **fiksno**.
- Postoji **nekoliko ograničenja** vezanih za obradu signala u optičkom domenu :
  - Nedostatak **optičkog slučajnog memorijskog pristupa za baferovanje**
  - Optički baferi su **linije za kašnjenje** bazirane na dužini vlakna
- Paktska komutacija koristi softver u realnom vremenu i odgovarajući hardver za kontrolu mreže i podršku QoS-u → teško je za realizaciju u optičkom domenu

# Sljedeća generacija optičkih mreža

## Optička paketska komutacija



Optički čvor sa paketskom komutacijom

# Sljedeća generacija optičkih mreža

## Optička paketska komutacija

### ▪ Performanse optičkog čvora sa paketskom komutacijom

- Čvor preuzima paket sa ulaza → očitava njegovo zaglavlje → komutira ga na odgovarajući izlazni port
- Optički čvor:
  - Može dodati novo zaglavlje paketu
  - Mora razriješiti moguću koliziju (*contention*) na izlaznim portovima  
(kada dva paketa dolaze na različite ulazne portove, a odredište im je isti izlazni port, tada se jedan od paketa se mora baferovati ili poslati na drugi port)
- Idealno, sve funkcije se realizuju u optičkom domenu
  - U praksi, funkcije kao npr. obrada zaglavlja i kontrola komutacije se još uvijek izvršavaju u elektronskom domenu
- Ovo je posljedica ograničenih mogućnosti obrade u optičkom domenu





Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)  
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission

This publication[communication] reflects the views only of the author, and  
the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of  
the information contained therein.

**DBBT**

**Digital Broadcasting &  
Broadband Technologies**