



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-kompensacionih 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.

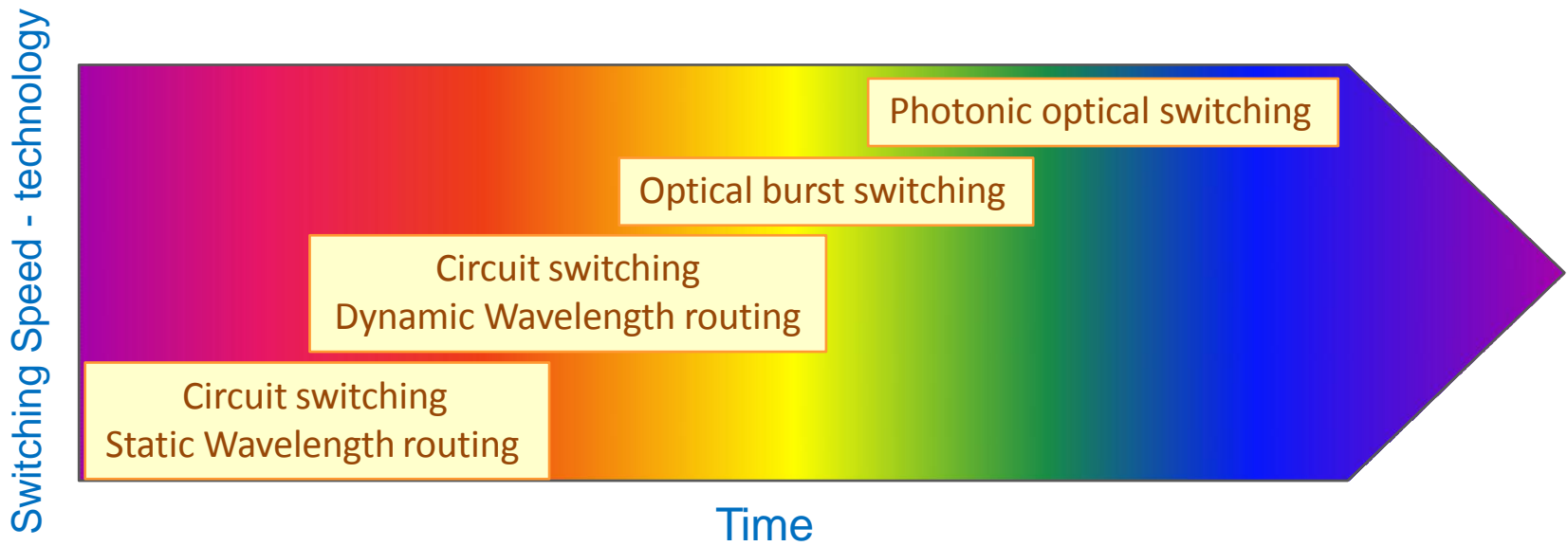
Optičke mreže

- 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**.

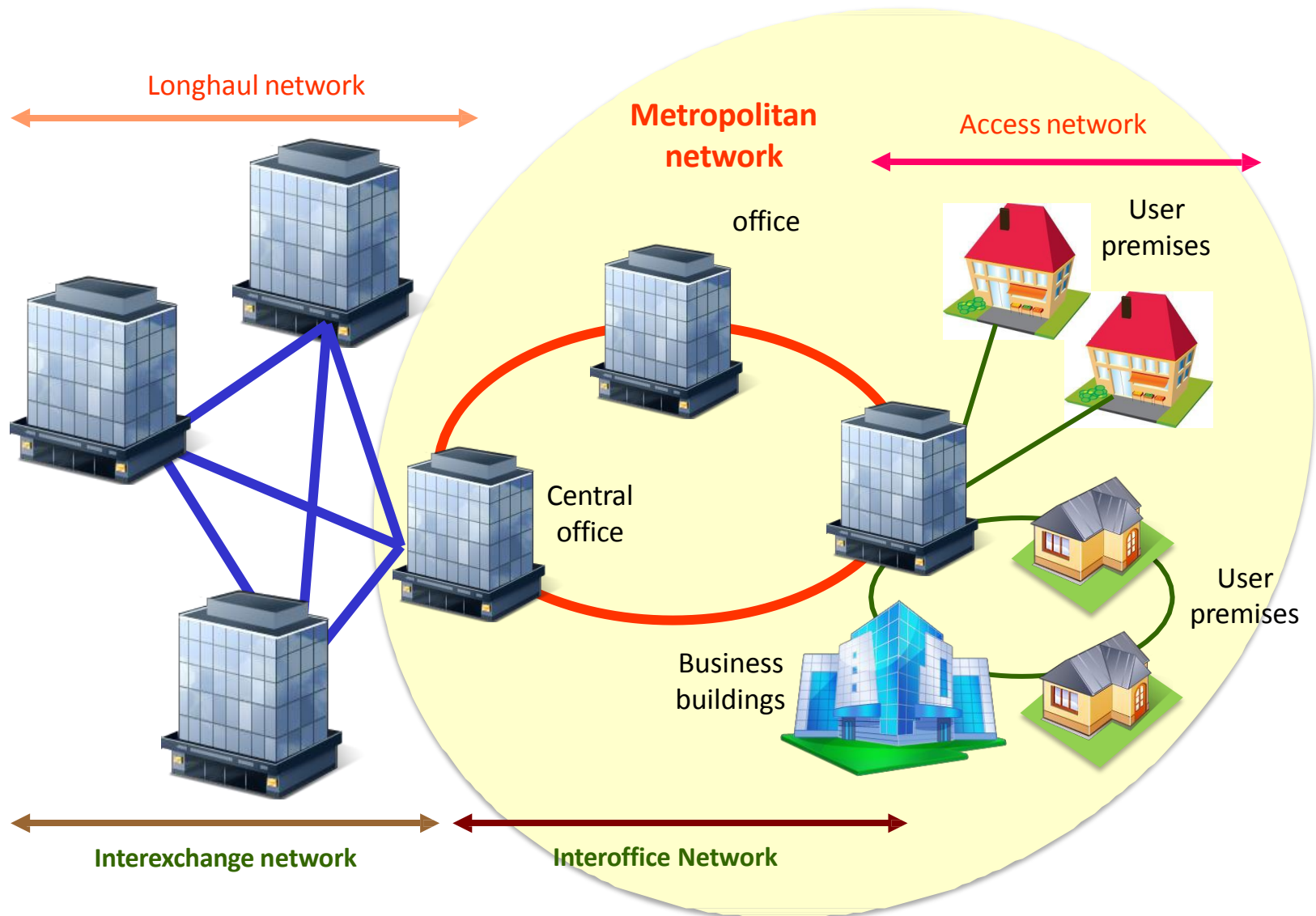
Evolucija optičkog umrežavanja



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

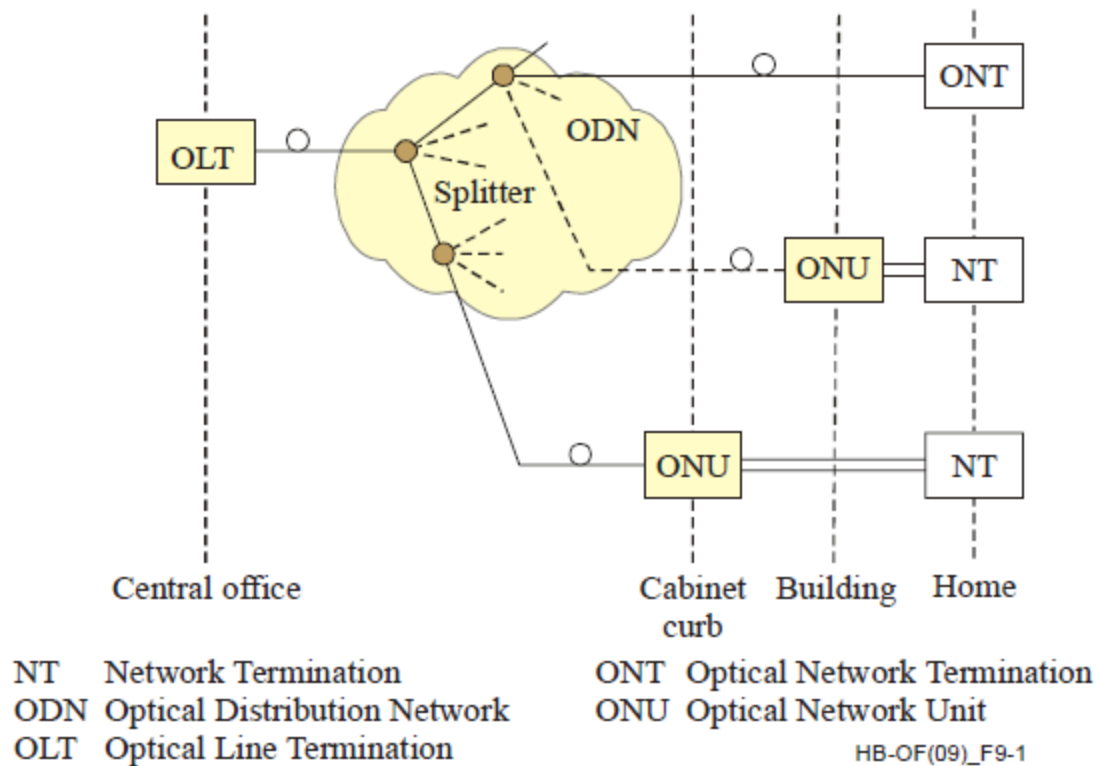


Javne optičke mreže

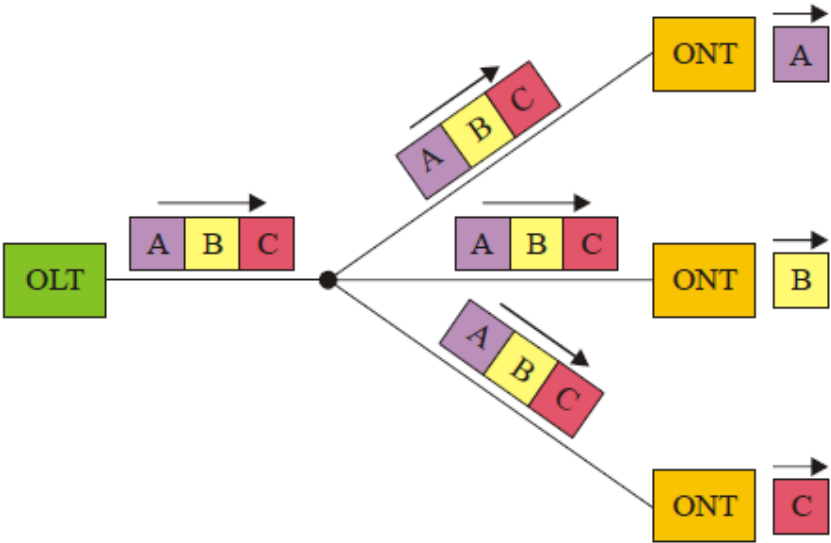
1) Gradska mreža

- 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)

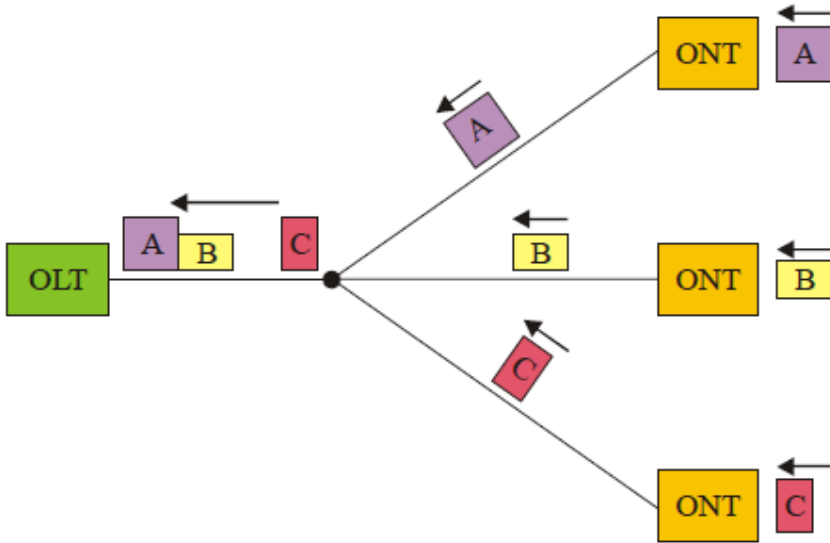
Pasivne optičke mreže (PON)



Način prenosa



TDM: Time Division Multiplexing



TDMA: Time Division Multiple Access

Javne optičke mreže

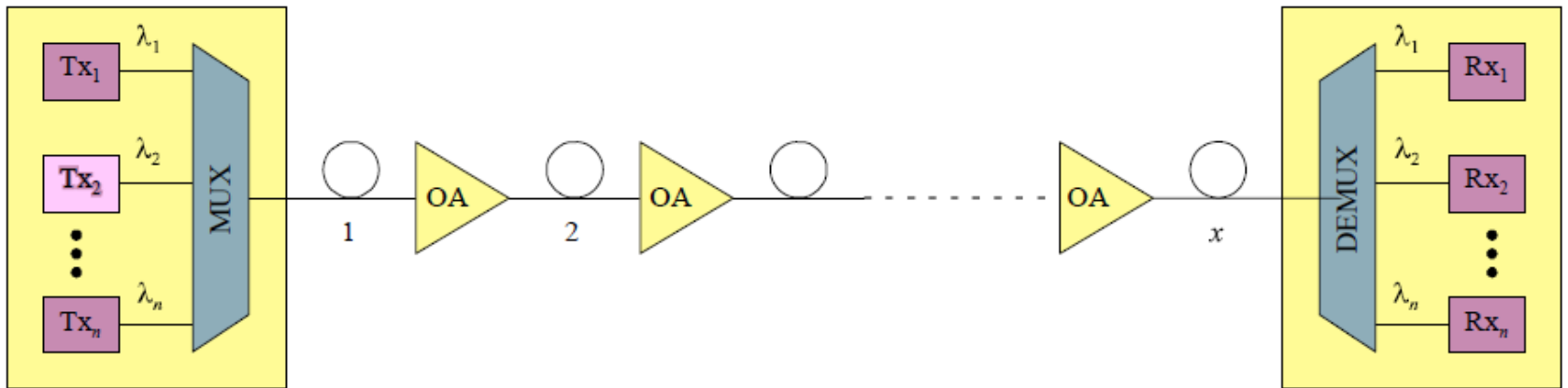
2) Transportna mreža

- 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

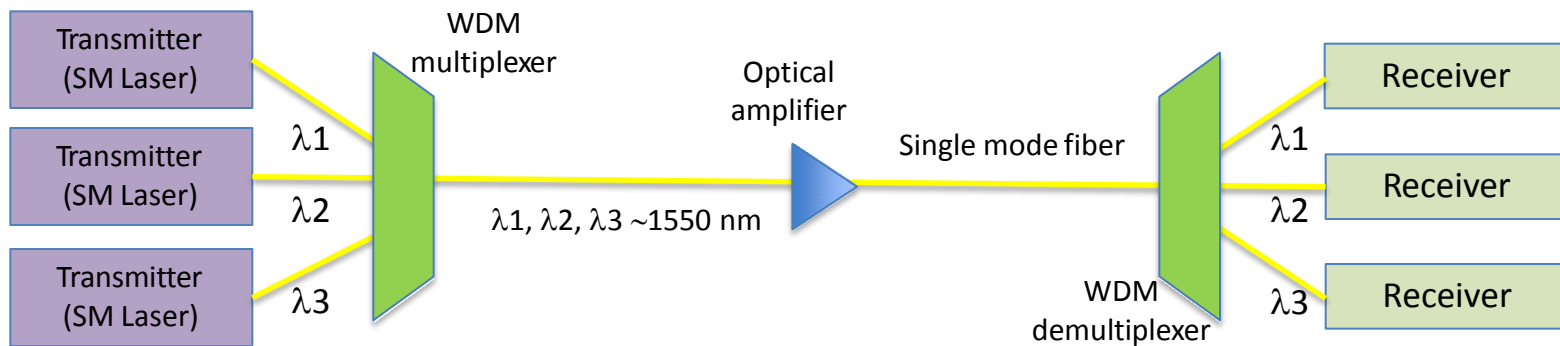
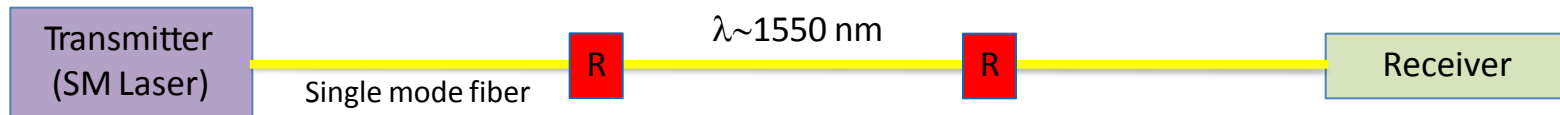
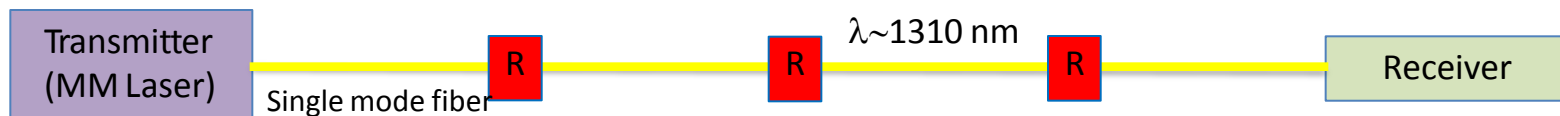
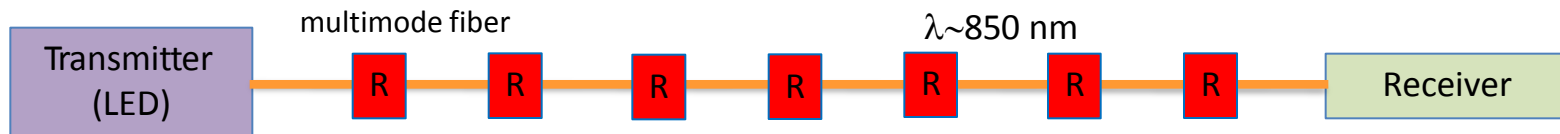
Osobine optičkih mreža

- 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

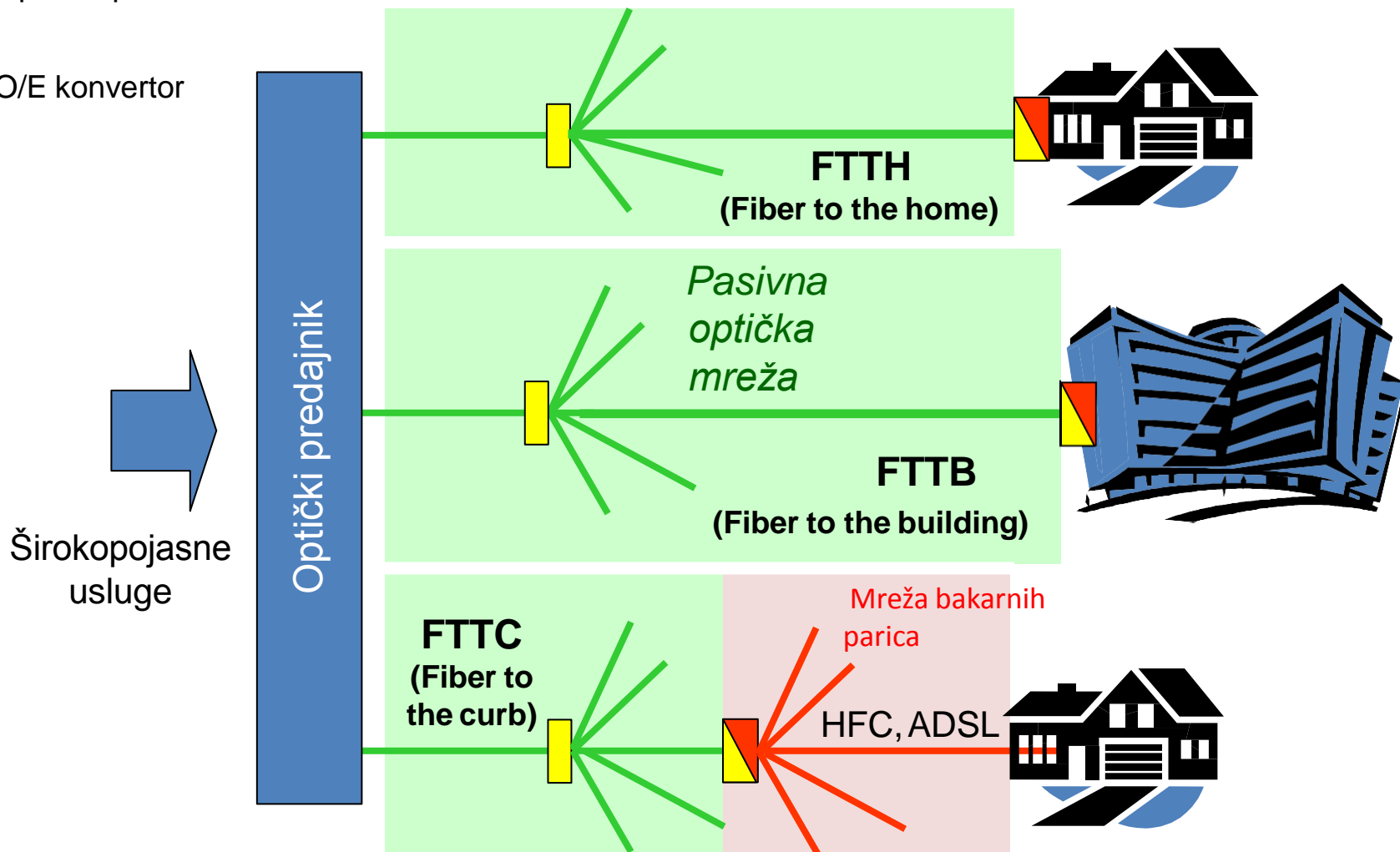
Time evolution

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

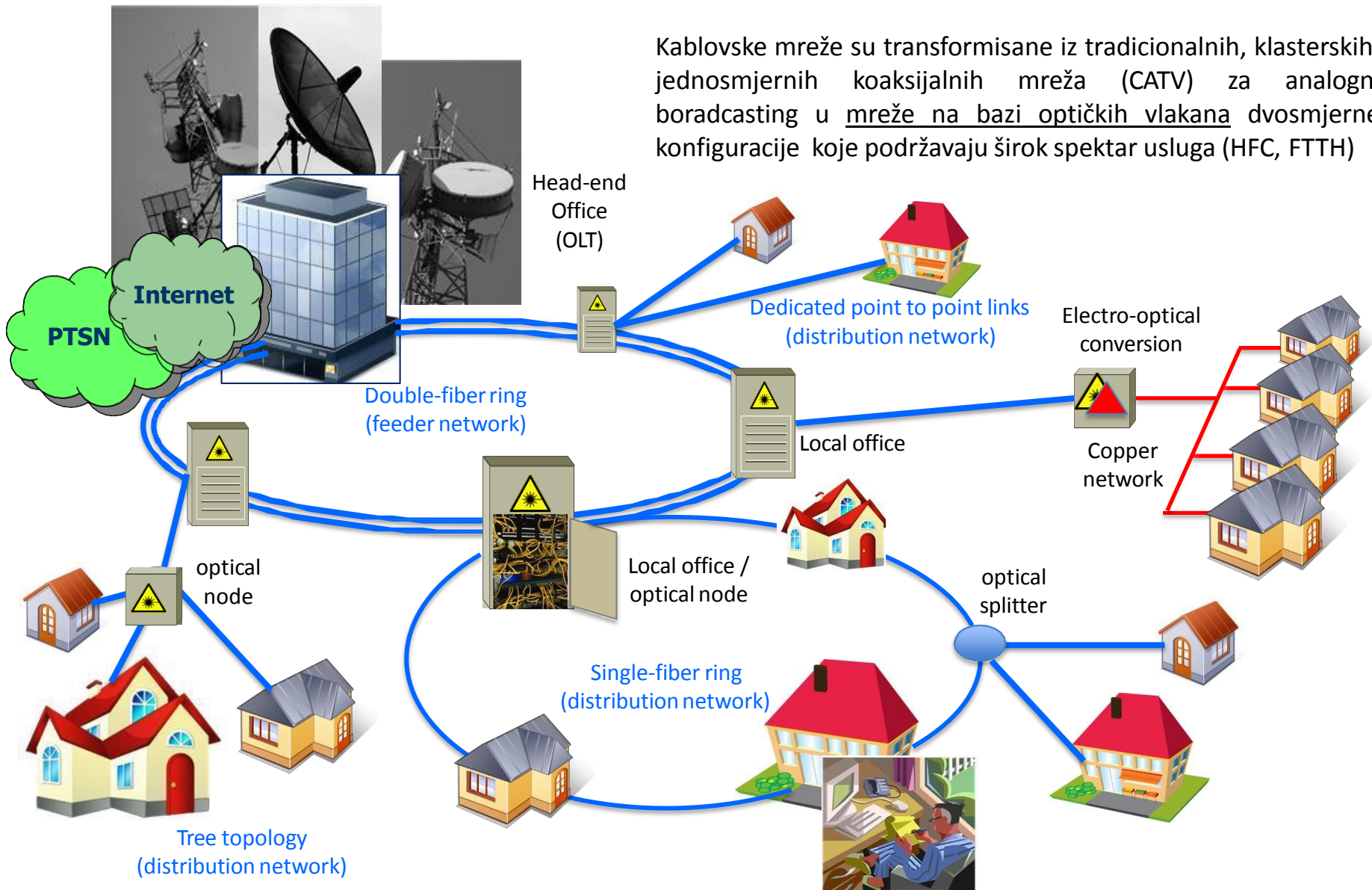
Topologije optičkih mreža

-  Optički splitter
-  O/E konvertor



Primjer SCM (subcarrier multiplexing) mreže

Kablove mreže su transformisane iz tradicionalnih, klusterskih, jednosmjernih koaksijalnih mreža (CATV) za analogni broadcasting 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

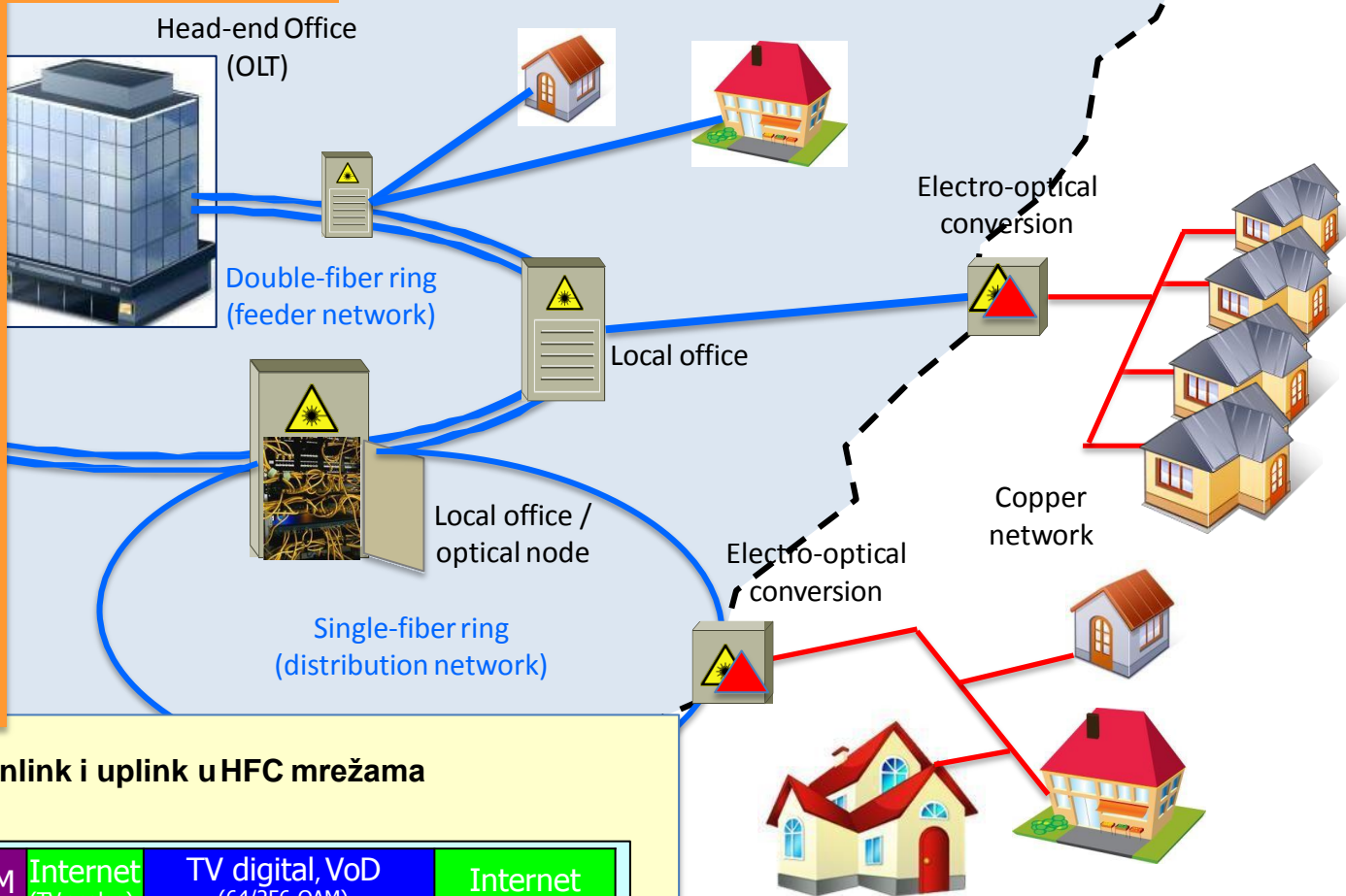
BK600

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

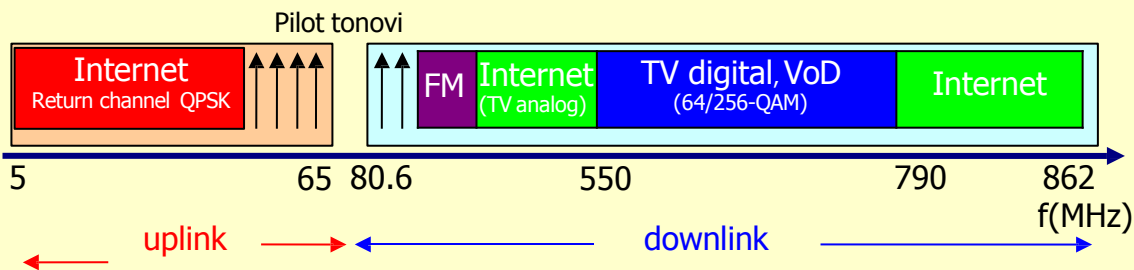
CENELEC

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

Frekvencijski plan

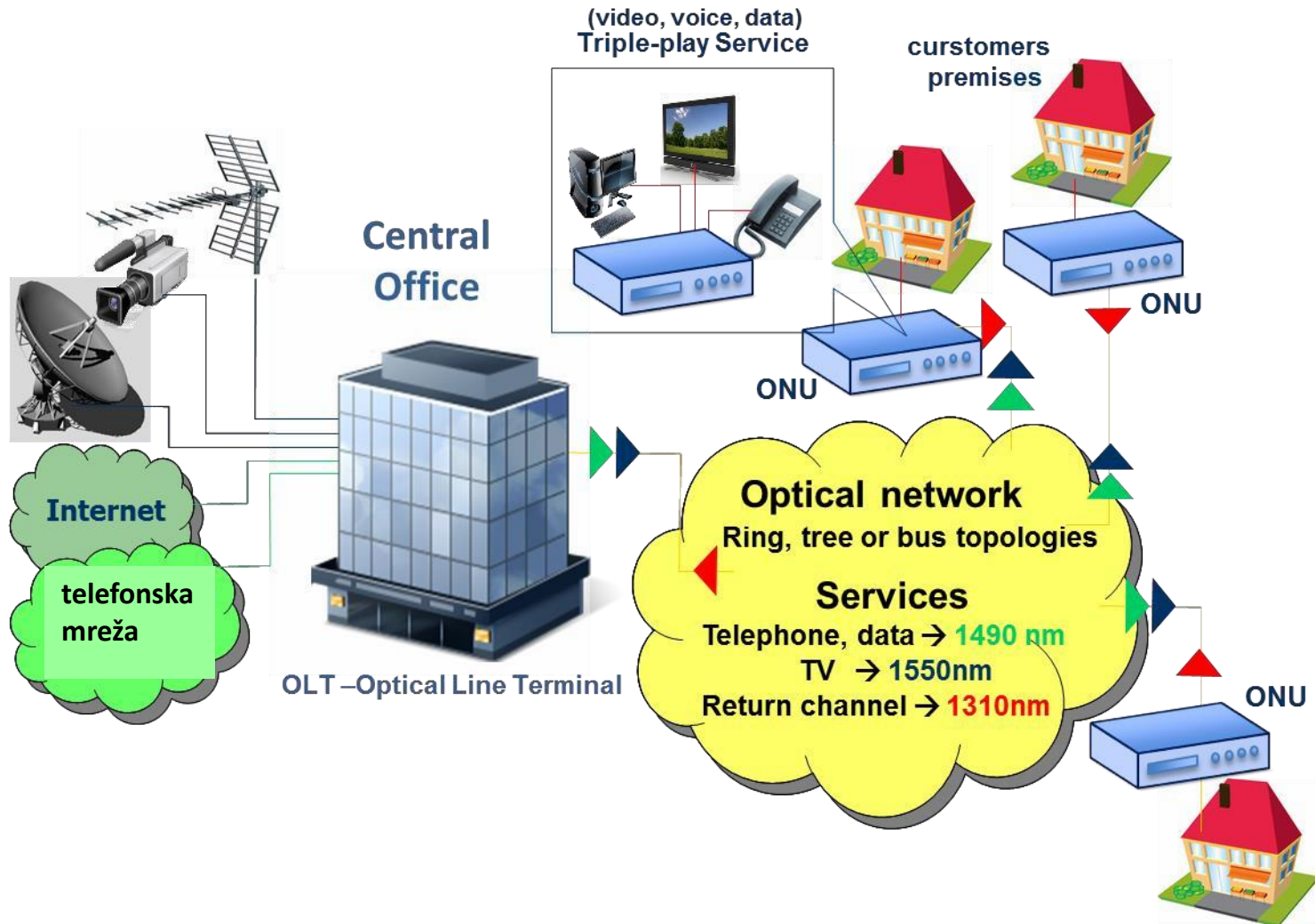


RF spekter za downlink i uplink u HFC mrežama

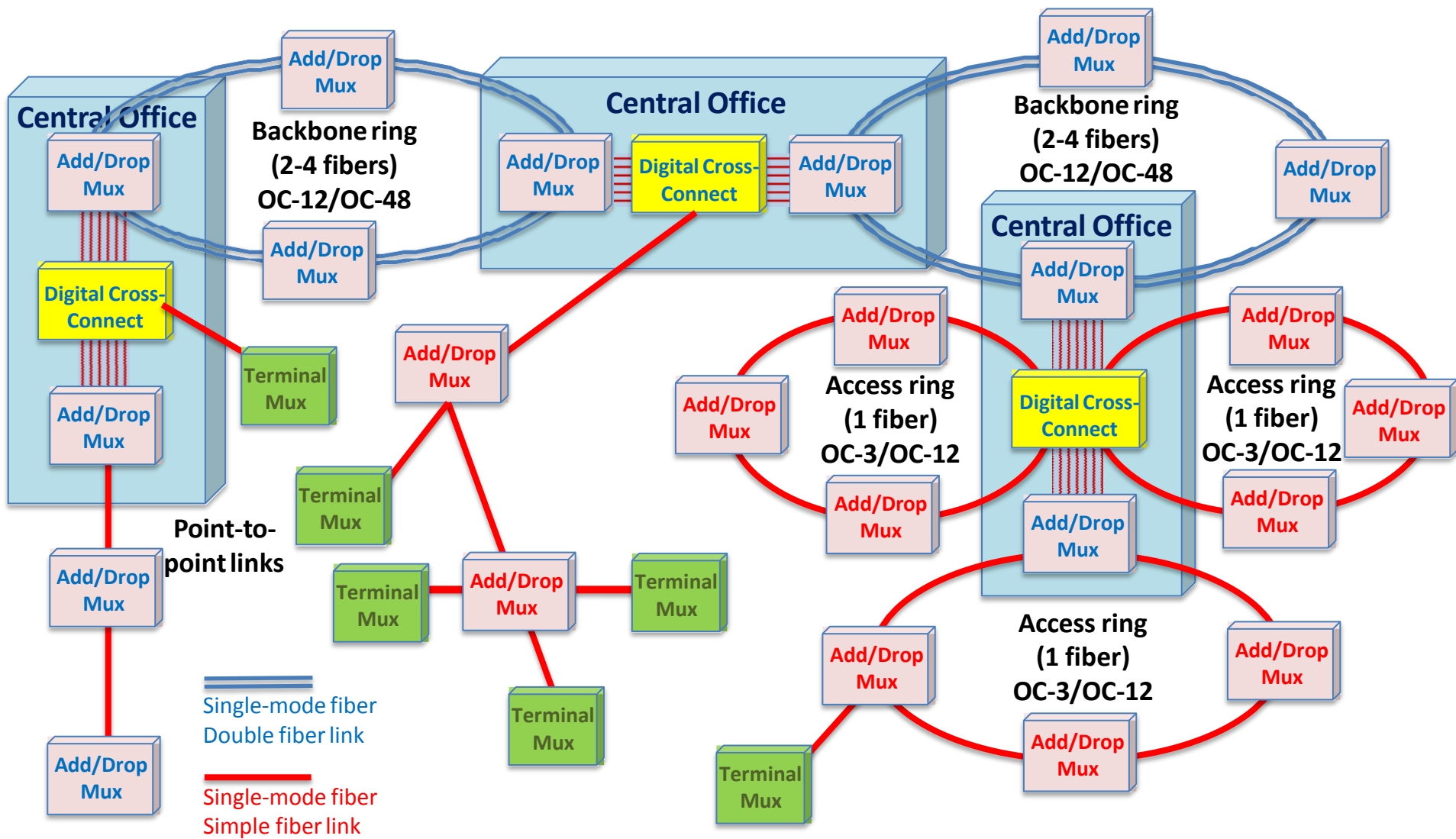


Električni prenos

FTTH mreža bazirana na pristupnoj mreži (PON standard)



1. generacija optičkih mreža



2. generacija optičkih mreža

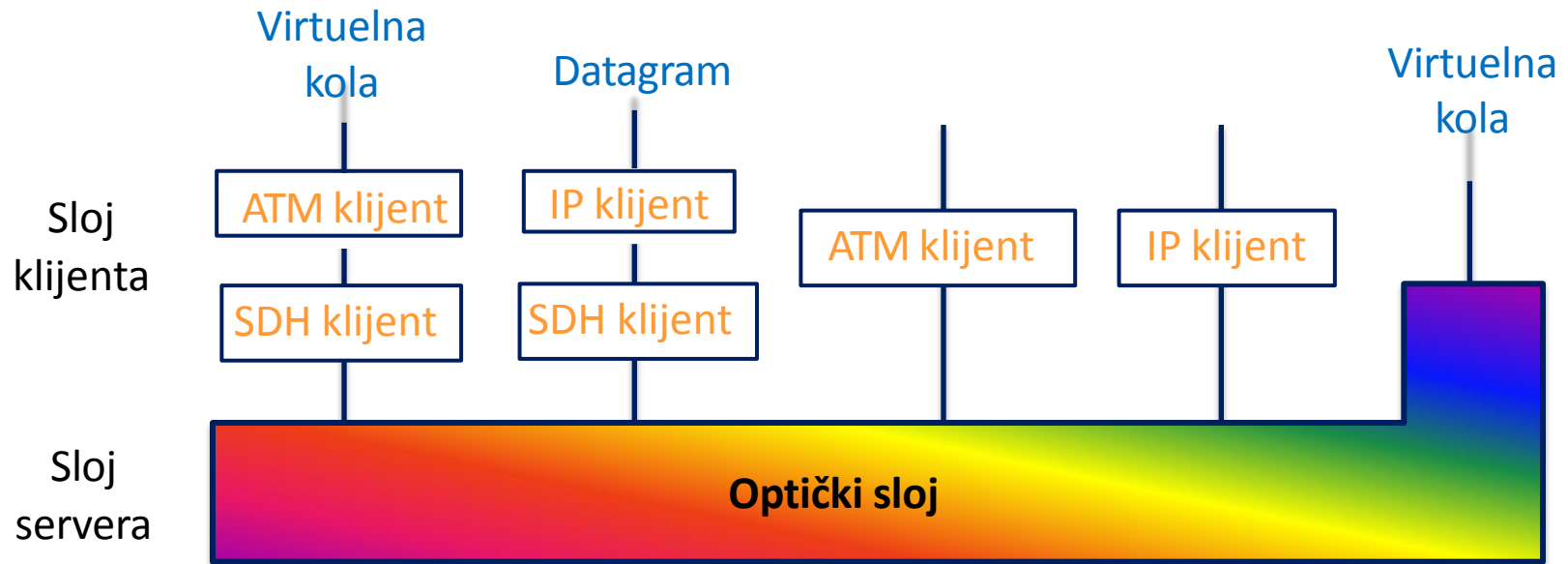
- Za razliku od 1. generacije mreža , namjena je da se funkcije “point to point“ prenosa realizuju u optičkom domenu:
 - **komutacija**
 - **rutiranje**

- Razvoj 2. generacije optičkih mreža doveo je do uvođenja novog nivoa u mrežnom modelu: **optički nivo**

Ovo znači sljedeće:

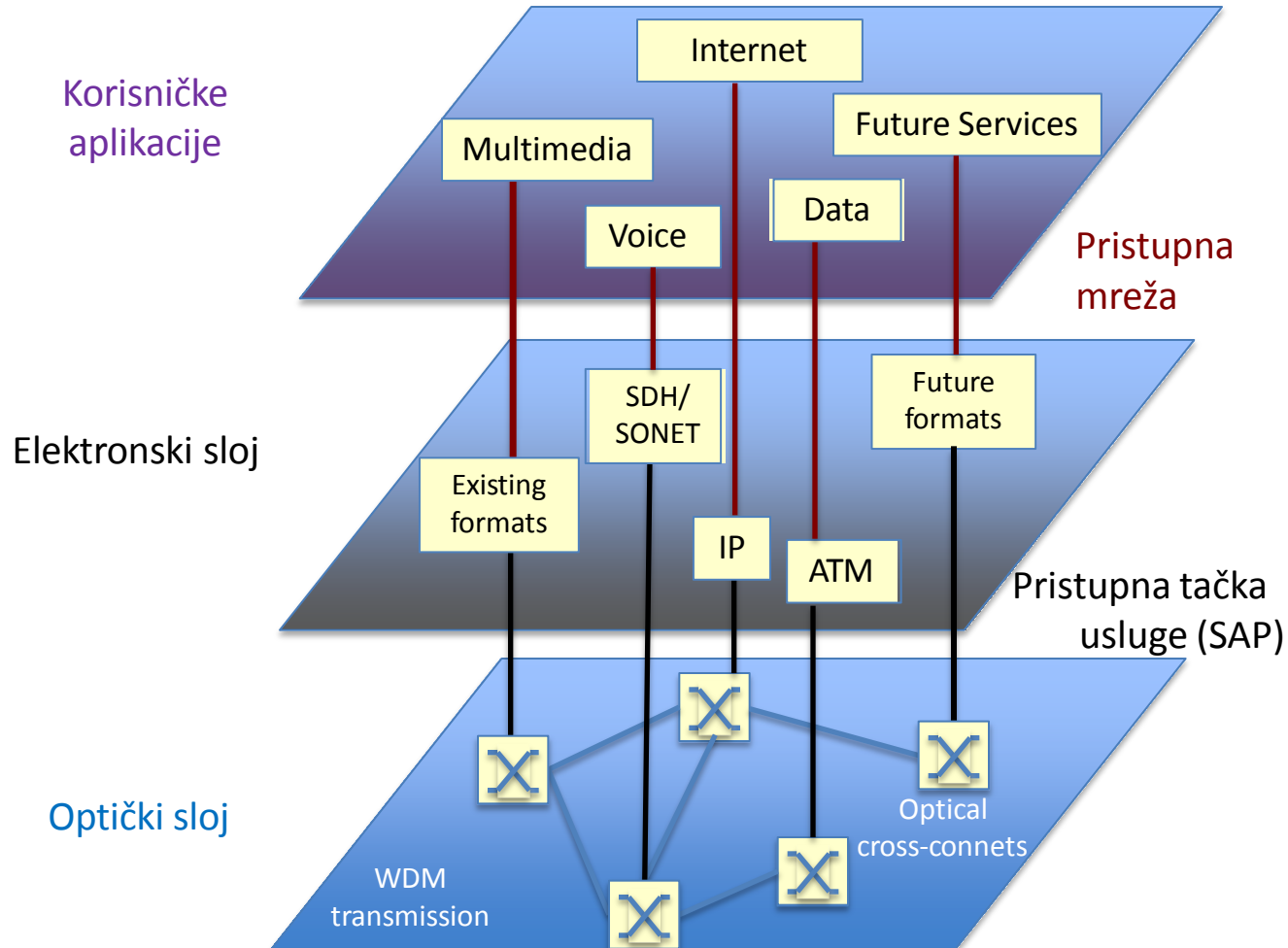
 - Smanjenje broja kritičnih mjesta ("bottlenecks") u mreži:
 - u 1. generaciji mreža, povećanje linijske brzine komplikovalo je obradu zaglavlja u elektronskom domenu
 - To je servisni sloj koji obezbjeđuje "optičke putanje" do korisnika (ostali slojevi su: SDH, ATM, ESCON, 10GbE ...)

2. generacija optičkih mreža



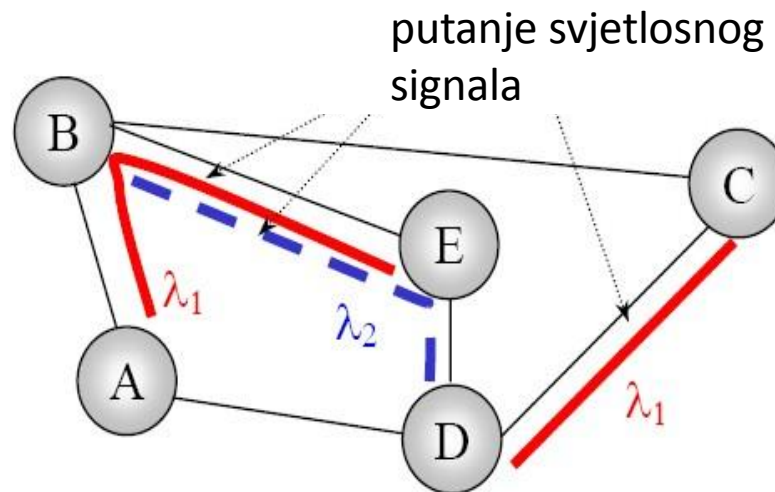
Putanja svjetlosnog signala – optička konekcija “od kraja do kraja” na optičkom sloju, na bazi specifične talasne dužine koja se prenosi duž nekoliko optičkih linkova i kroz različite čvorove .

Slojevita arhitektura telekomunikacionih mreža



2. generacija optičkih mreža

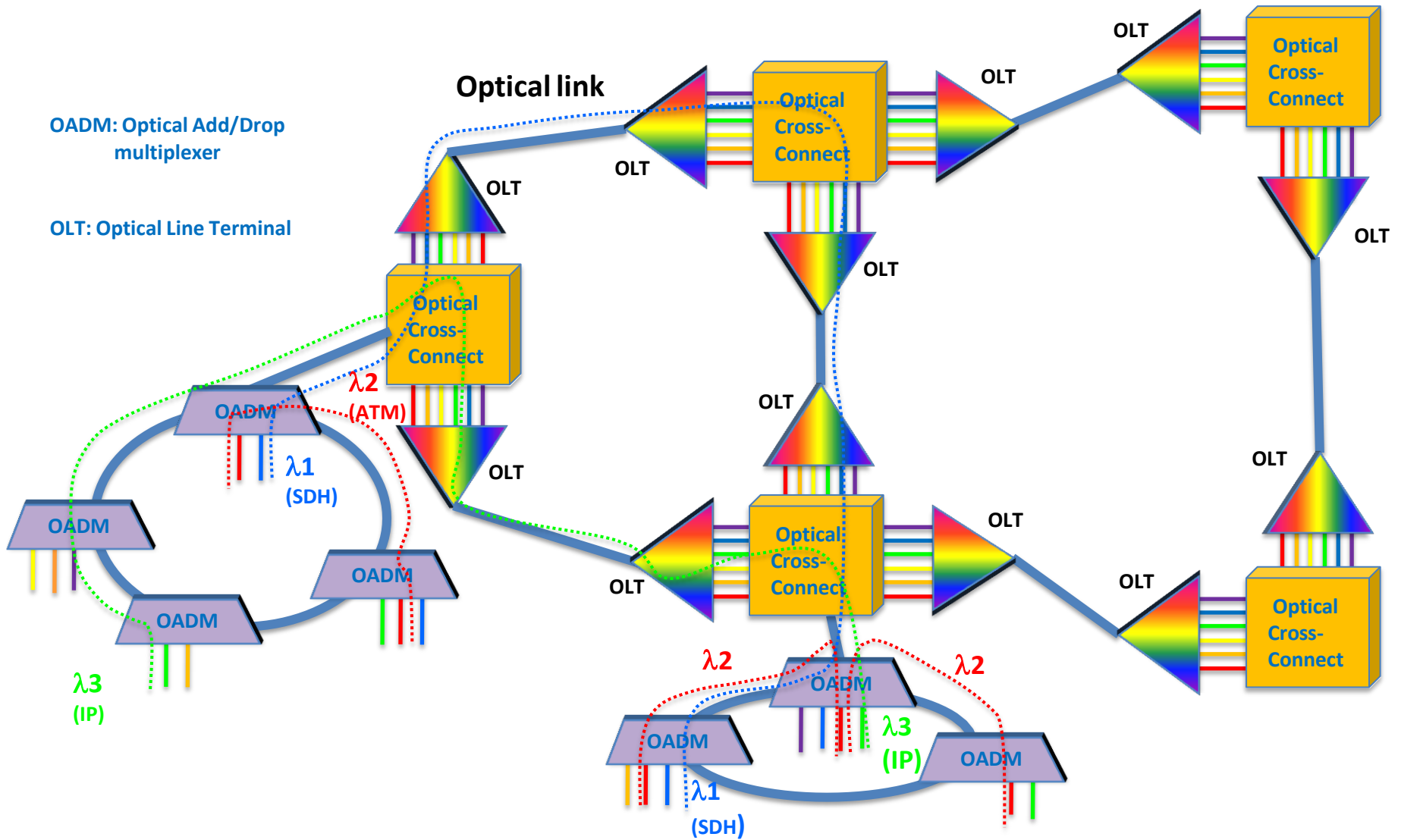
Različite putanje svjetlosnog signala mogu koristiti istu talasnu dužinu sve dok ne dijele isti optički link → **Optical continuity constraint**



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

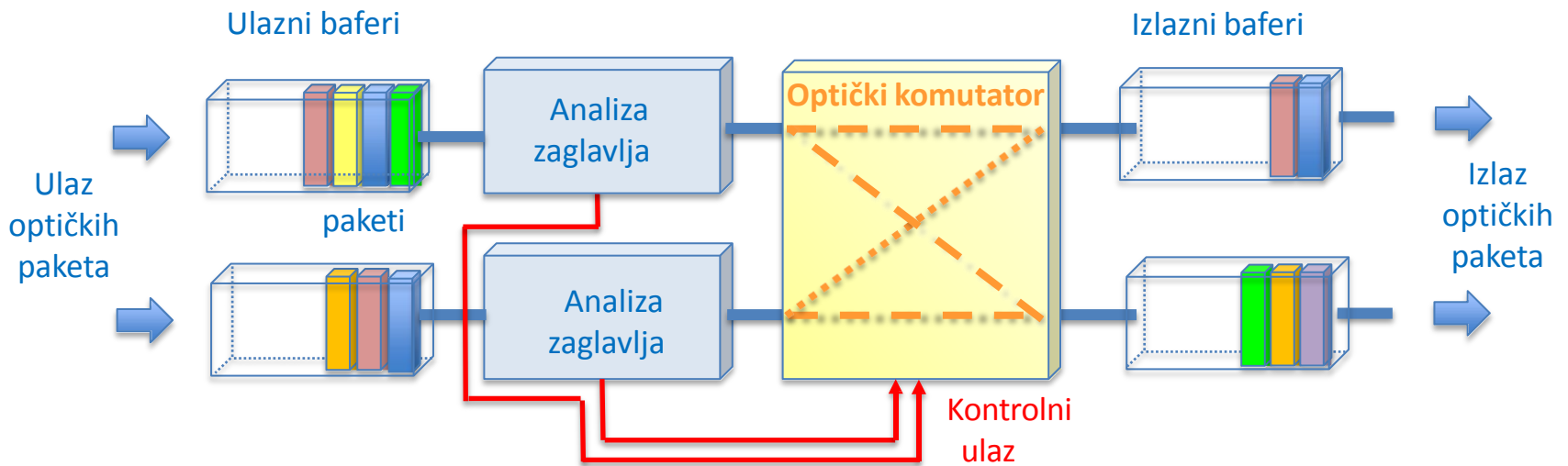
Sljedeća generacija optičkih mreža

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**