

# Data Communication Networks

## Introduction

A decorative graphic consisting of two wavy lines, one dark blue and one light gray, spanning the width of the slide below the title.

M. Hasheminejad

# لایه فیزیکی

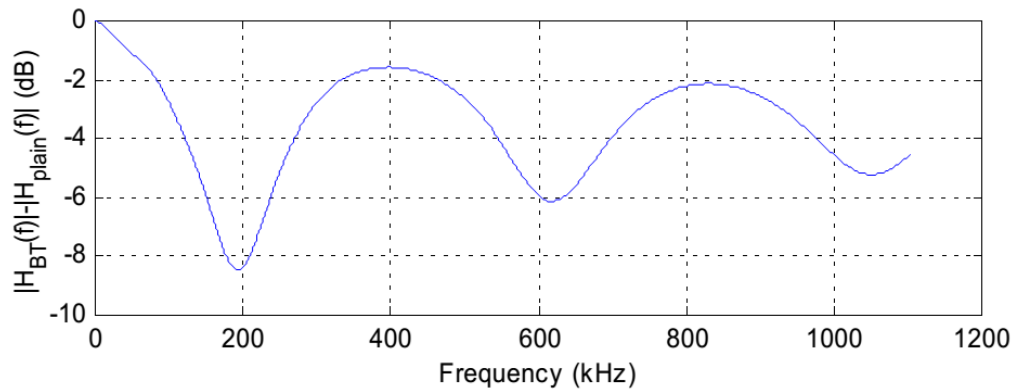
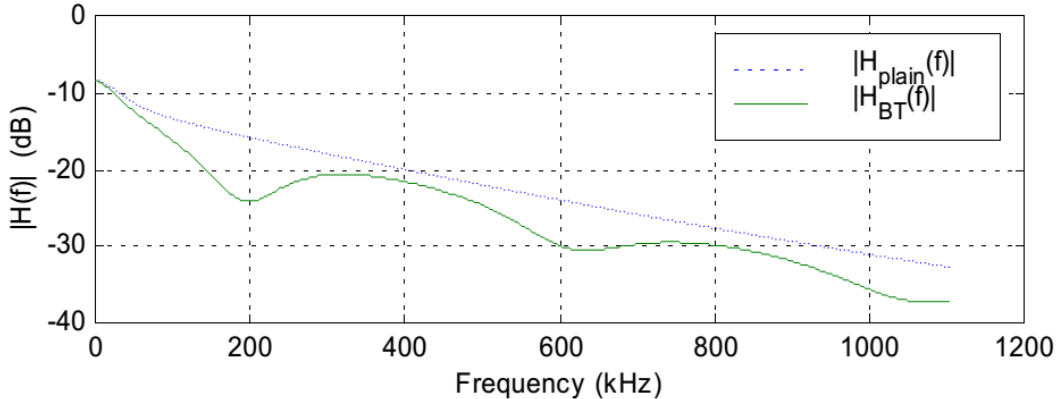
- حداکثر نرخ داده یک کانال بدون نویز باند محدود:
  - $W$  عرض باند،  $V$  تعداد سطوح سیگنال یا سمبولهای متمایز مورد استفاده
  - $C=2W*\log_2(V)$  bits/sec
- که در آن  $V$  تعداد سطوح سیگنال گسسته است،  $W$  پهنای باند کانال است
- برای کانال نویزی:  $C=W\log_2(1+SNR)$  bits/sec
- مثال: کانالی با پهنای باند ۴ کیلوهرتز و  $SNR=30dB$  می تواند حداکثر ۴۰ کیلوبیت بر ثانیه را حمل کند.
- رسانه های ارتباطی مهم:
  - رسانه انتقال هدایت شده
    - جفت پیچ خورده
    - کابل هممحور
    - خطوط برق
    - فیبرهای نوری
  - انتقال بی سیم
    - انتقال رادیو/مایکروویو
    - انتقال موج میلیمتری
    - انتقال موج نور
  - ارتباطات ماهواره ای
    - زمین ثابت
    - ماهواره های مدار متوسط
    - ماهواره های مدار پایین زمین

# زوج سیم مسی Twisted pair

طول ۱/۲ کیلومتر

- جفت پیچ خورده در شبکه دسترسی:
  - مهمترین سرمایه گذاری یک شرکت تلفن
  - عملکرد انتقال به طول حلقه، نوع سیم/قطر و ساختار سیم کشی (شیرهای پل) بست

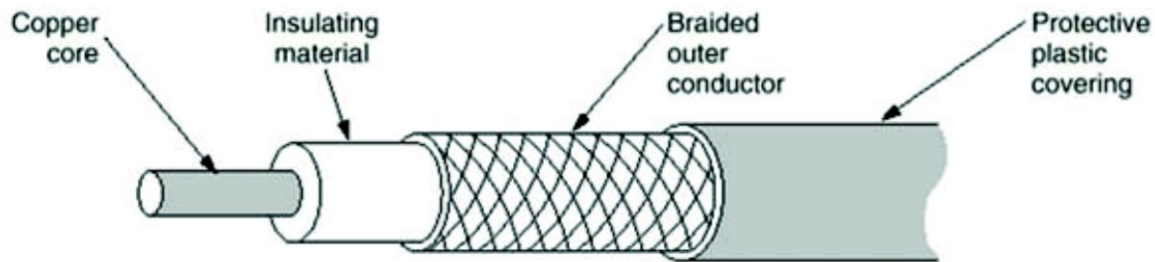
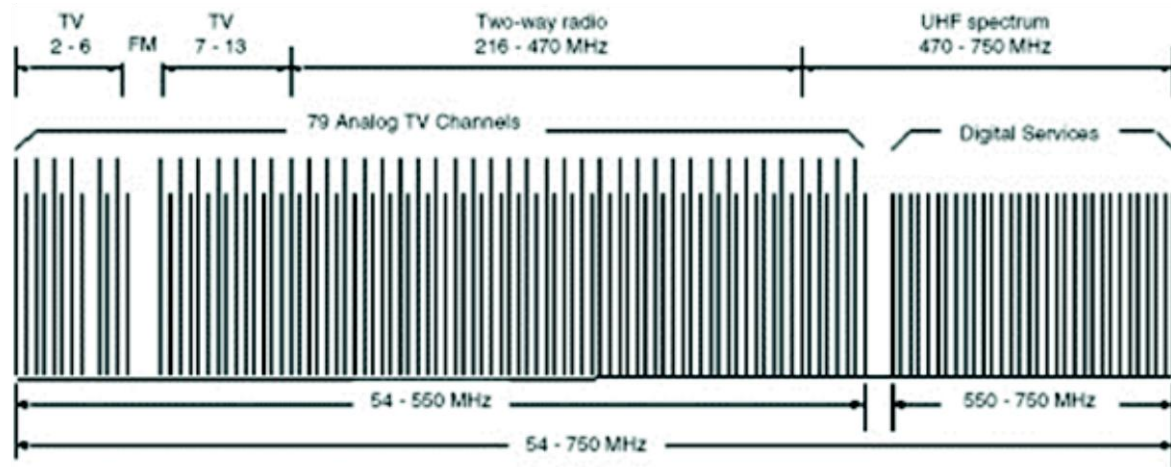
Loop Length:4(kft) BT Length:0.7503(kft) BT distance from ATU-C:0.5(kft)



- جفت پیچ خورده در آفیس (بیشتر برای کابل کشی LAN):
  - استانداردهای مهم تعیین شده توسط EIA/TIA
  - CAT3: 4 جفت سیم بدون محافظ که از اترنت ۱۰ مگابیت در ثانیه (۱۶ مگاهرتز BW) پشتیبانی می کند
  - CAT5: 4 جفت سیم، پشتیبانی از اترنت ۱۰۰ مگابیت در ثانیه (۱۰۰ مگاهرتز BW)
  - CAT6: 4 جفت، پشتیبانی از اترنت ۱ گیگابیت در ثانیه (پهنای باند ۲۵۰ مگاهرتز)
  - CAT7: چهار جفت محافظ جداگانه (STP) در داخل یک سپر کلی (پهنای باند ۶۰۰ مگاهرتز)

افت DB

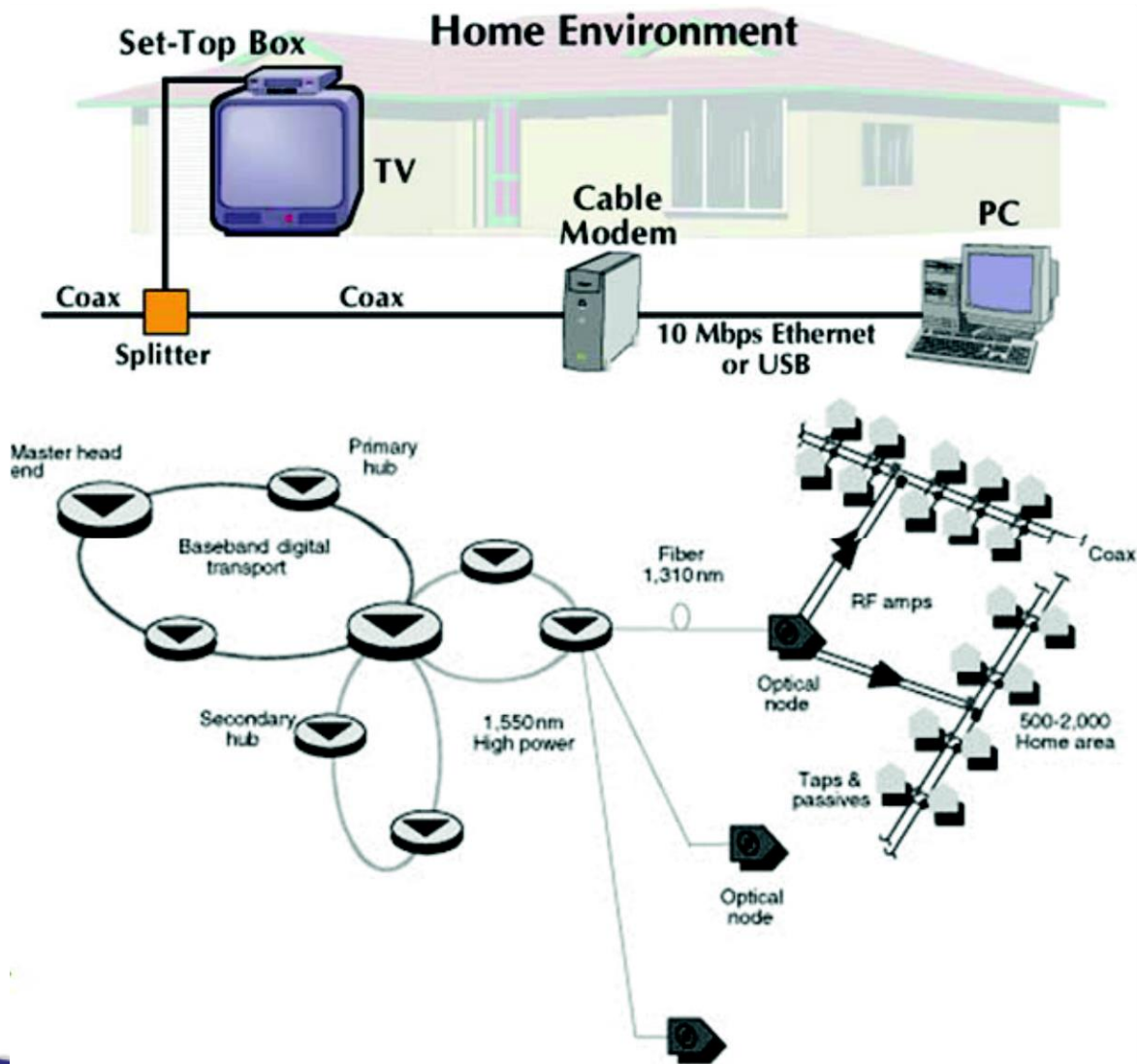
# کابل کواکسیال



- محافظ بهتر از جفت پیچ خورده
- کاهش تضعیف و صحبت متقاطع
- می تواند ۱ تا ۲ گیگابیت بر ثانیه را در ۱ کیلومتر حمل کند
- Telco از آن برای ارتباطات اصلی خود استفاده کرد. فیبر نوری جایگزین آن شده است.
- شرکت های تلویزیون کابلی از آن برای خدمات تلویزیون و تحویل داده استفاده می کنند

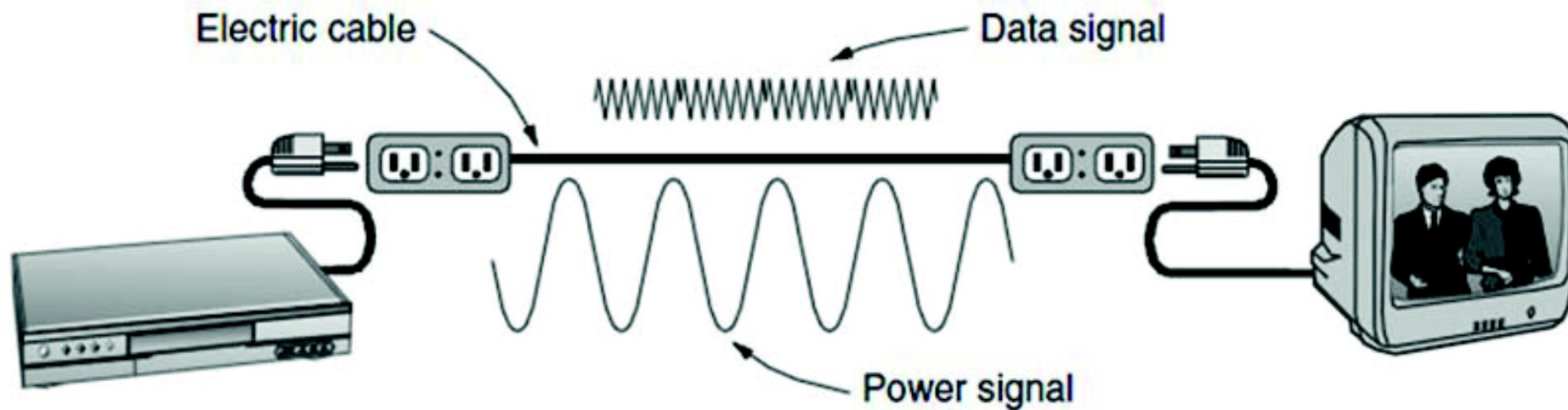
# ساختار هیبرید کواکس فیبر

- ترکیبی از فیبر و محورهای برای ارائه خدمات استفاده می‌شود.
- لیزرها با استفاده از سیگنال RF آنالوگ مدوله می‌شوند
- سری استانداردهای Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) برای اجازه دادن به ارائه خدمات داده از طریق شبکه کابلی تلویزیون ایجاد شد.
- DOCSIS 3.0 آخرین نسخه استاندارد (۲۰۰۷) است که از QoS نیز پشتیبانی می‌کند



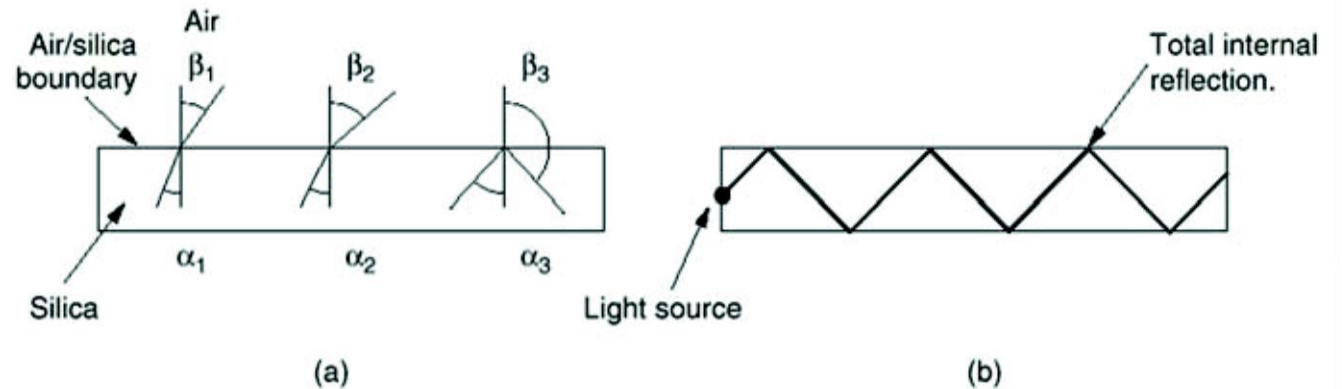
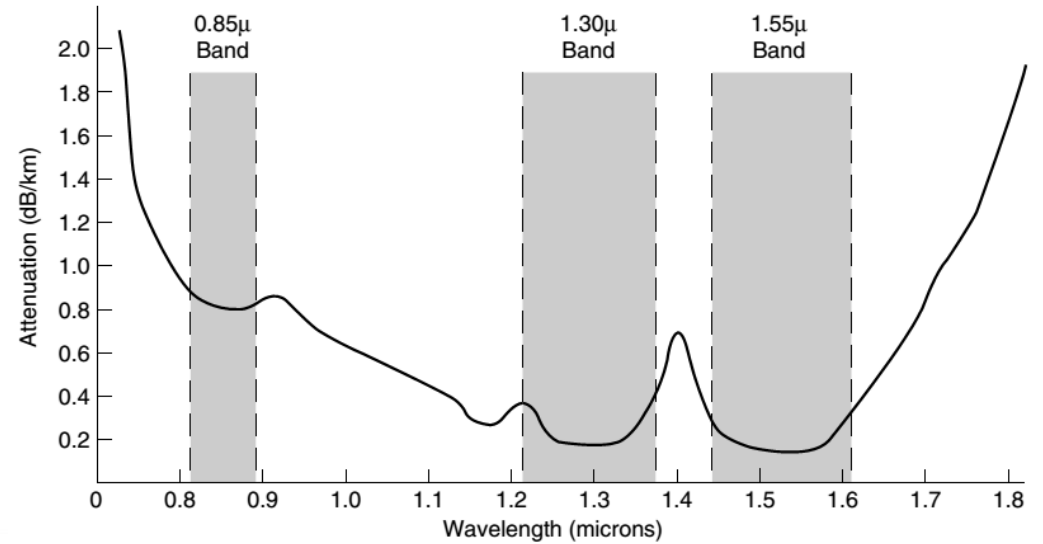
# خطوط قدرت

- خطوط برق سال‌هاست که توسط شرکت‌های برق برای انتقال داده‌ها استفاده می‌شود (ارتباط داده با نرخ پایین برای کنترل و دیسپاچینگ)
- خطوط برق را می‌توان برای ارتباطات داده پهن باند استفاده کرد
  - ارائه دسترسی پهنای باند به منازل با استفاده از شبکه برق به عنوان شبکه دسترسی
  - ایجاد شبکه ارتباطی داده در داخل منازل



# فیبر نوری

- اگر زاویه ورودی بزرگتر از زاویه بحرانی باشد، نور منعکس می شود
- تک حالت
- فیبر بسیار نازک => هدایت موج
- چندین گیگابیت در ثانیه بیش از ده ها کیلومتر بدون تکرار کننده
- چند حالت
- هر پرتو نوری به دلیل بازتاب، مسیره‌های متفاوتی را طی می کند
- تضعیف  $10 \log_{10}(P_{rx}/P_{tx}) =$

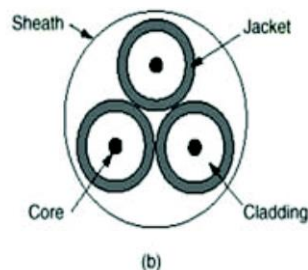
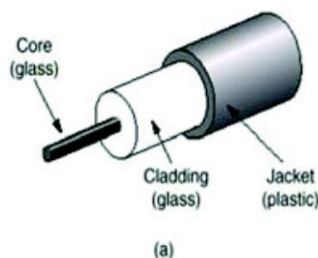


# فیبر نوری

- Comparing fiber and copper wire:

- High bandwidth
- Few repeaters / km
- No electromagnetic interference تداخل
- No corrosion خوردگی
- Lightweight
- Difficult to tap (این هم حسن است و هم عیب!)
- Unidirectional => (halfduplex) از دو طول موج استفاده کنید یا از دو فیبر استفاده کنید یا از شکاف های زمانی استفاده کنید

تپ فیبر از یک روش در شبکه استفاده می کند که سیگنال را از فیبر نوری بدون قطع شدن اتصال استخراج می کند. تپ فیبر نوری امکان انتقال برخی از سیگنال های ارسال شده در هسته فیبر را به فیبر دیگر یا ایجاد می کند.



Item	LED	Semiconductor laser
Data rate	Low	High
Mode	Multimode	Multimode or single mode
Distance	Short	Long
Lifetime	Long life	Short life
Temperature sensitivity	Minor	Substantial
Cost	Low cost	Expensive

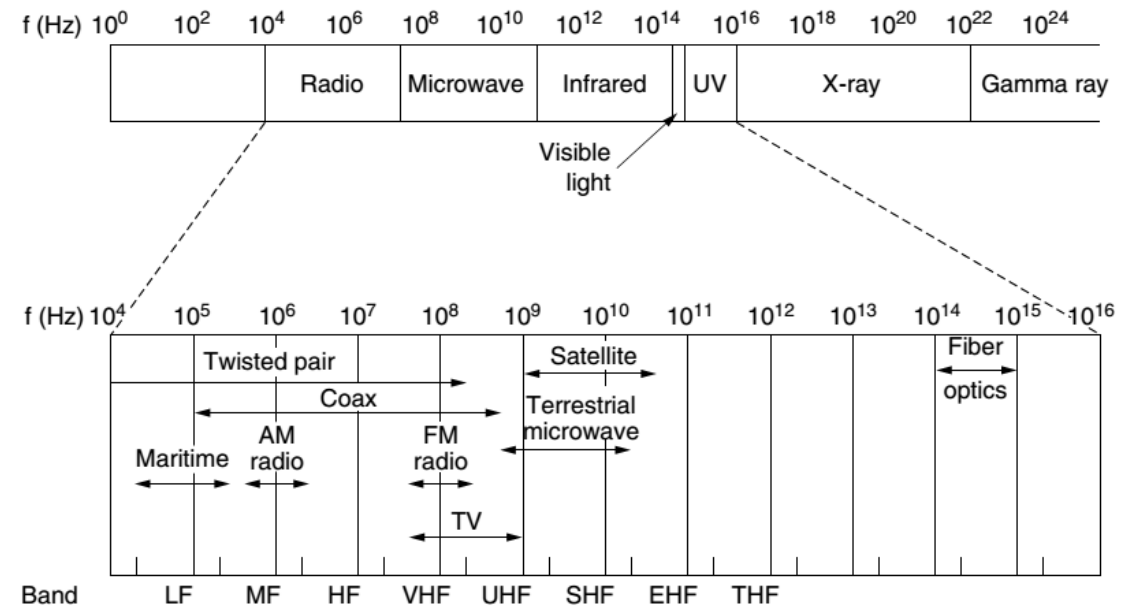
# ارتباط بیسیم

## • مزیت‌های اصلی

- ارتباط بدون اتصال فیزیکی مانند سیم یا فیبر.
- تحرک کاربران
- سهولت پیاده سازی
- کاهش هزینه ارتباطات (به عنوان مثال، ارائه خدمات اتصال به روستاهای دورافتاده)

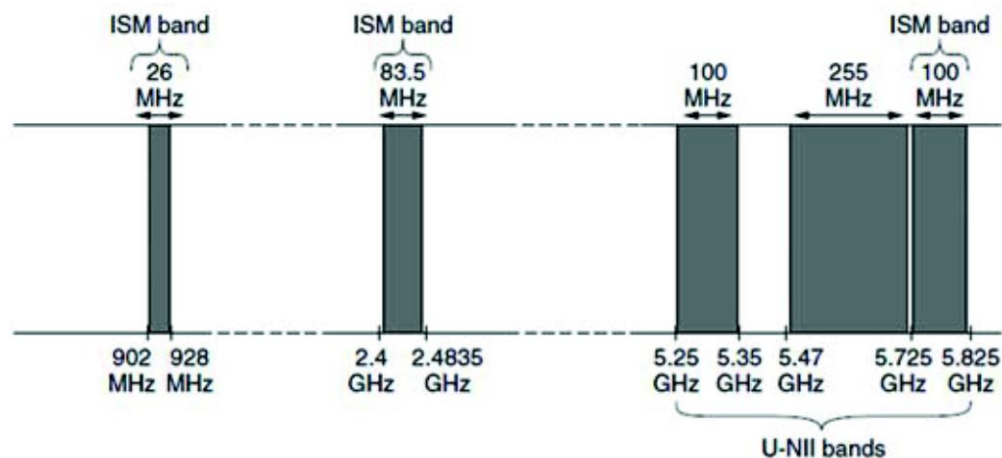
## • طیف الکترومغناطیسی

- $\lambda = cT = c / f$
- $c = 3 \times 10^8$  m/sec in vacuum
- فرکانس‌های بالاتر (طول موج‌های کوتاه‌تر) پهنای باند در دسترس بسیار بیشتری دارند



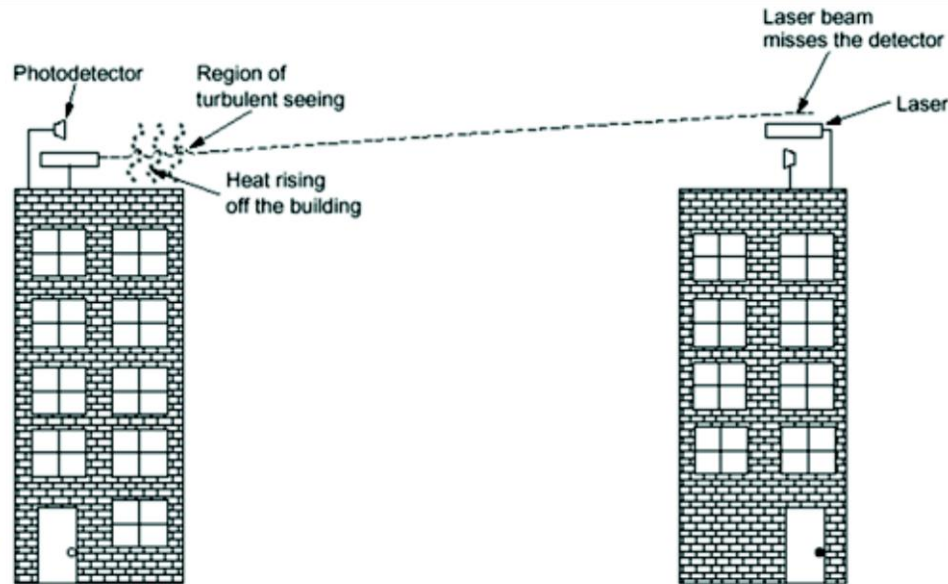
# ارتباط بیسیم

- ❖ محدوده فرکانس رادیویی (۱۰ کیلوهرتز تا ۱۰ مگاهرتز) معمولاً برای ارتباطات پخش استفاده می شود
  - برد طولانی، میرایی کم، بازتاب از یونوسفر
- ❖ محدوده فرکانس های میکروویو (۱۰ مگاهرتز تا ۱۰ گیگاهرتز) معمولاً برای انتقال نقطه به نقطه از راه دور و ارتباطات دو طرفه محلی استفاده می شود.
  - دامنه متوسط، تحت تأثیر باران و شرایط آب و هوایی. مشروط به محو شدن چند مسیره.
- ❖ اکثر باندهای فرکانس رادیویی تنظیم شده اند. استفاده از طیف فرکانس برای مقاصد تجاری معمولاً مشمول هزینه نظارتی است.
  - از سال ۱۹۹۴، دولت ایالات متحده بیش از ۶۰ میلیارد دلار از هزینه های مجوز طیف درآمد کسب کرده است.
  - ایرانسل ۳۰۰ میلیون یورو برای مجوز طیف خود به سازمان تنظیم مقررات ارتباطات (CRA) پرداخت کرده است.
- ❖ در اکثر کشورها باندهای بدون مجوز موجود است (باندهای ISM)



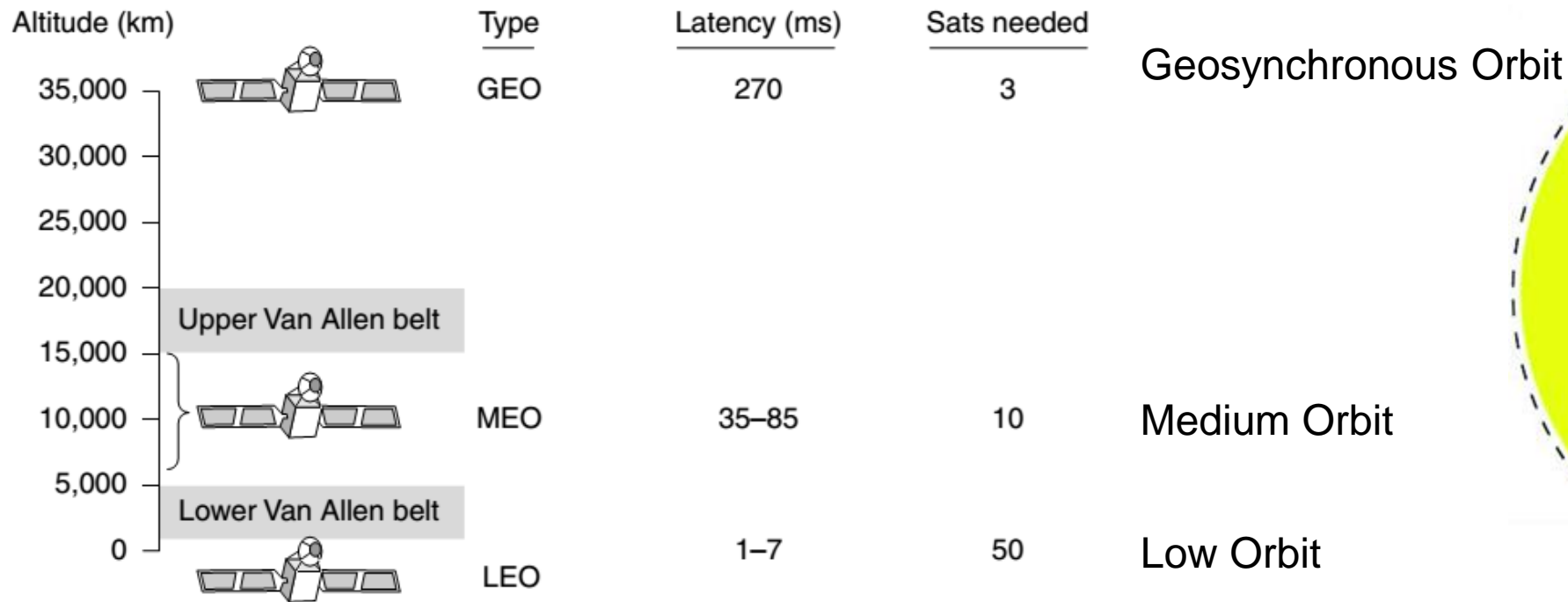
# ارتباط نوری بیسیم

- ایده: نور به عنوان حامل اطلاعات برای ارتباطات فضای آزاد
- برنامه های داخلی: شبکه بی سیم، استاندارد IrDA
- کاربرد در فضای باز: ارتباط ساختمان تا ساختمان
  - می تواند سرعت داده بالا را به فواصل چند کیلومتری انتقال دهد
  - باید با اثرات تلاطم هوا کنار بیاید و به طور تطبیقی روی گیرنده های هدف تمرکز کند



# ارتباط ماهواره ای

- ماهواره ها را می توان به عنوان یک گره بی سیم در آسمان استفاده کرد که می تواند سیگنال های ارتباطی را دریافت، تقویت، پردازش و ارسال کند.
- آنها عمدتاً در سه محدوده مداری استفاده می شوند و بنابراین دارای دوره چرخش متفاوت به دور زمین هستند



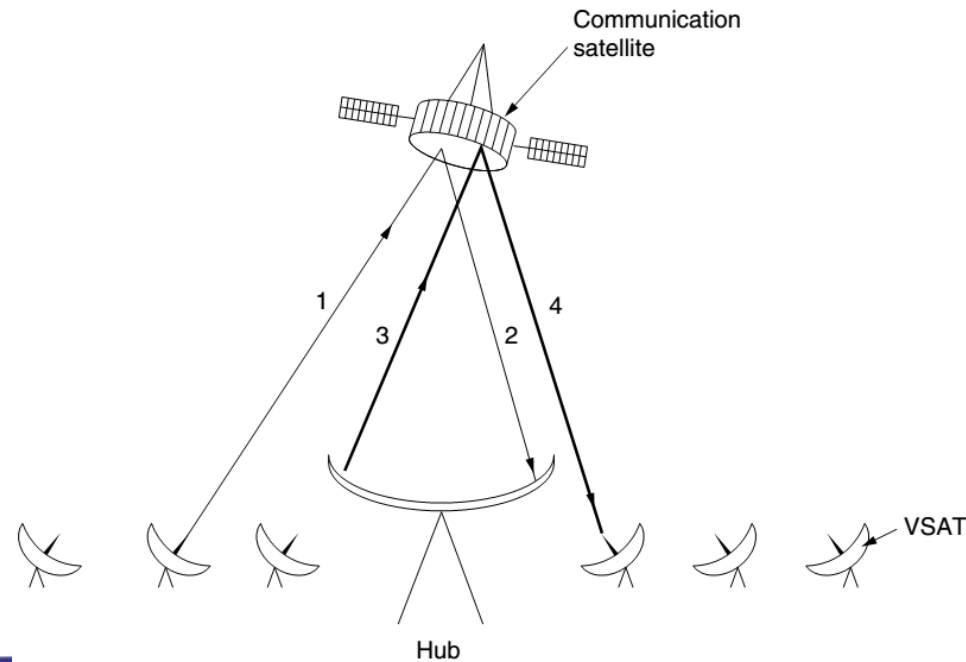
# ارتباط ماهواره ای

- ماهواره‌ها معمولاً چندین فرستنده دارند که هر کدام دارای پهنای باند/ظرفیت معینی برای انتقال داده هستند. فرستنده خودکار صوتی
- آنها معمولاً از "پرتوهای نقطه ای" برای متمرکز کردن انتقال خود در یک منطقه خاص استفاده می کنند.
- بیشتر ماهواره های ارتباطی در مدار زمین ثابت هستند
- محدوده فرکانس عملیاتی ماهواره:

Band	Downlink	Uplink	Bandwidth	Problems
L	1.5 GHz	1.6 GHz	15 MHz	Low bandwidth; crowded
S	1.9 GHz	2.2 GHz	70 MHz	Low bandwidth; crowded
C	4.0 GHz	6.0 GHz	500 MHz	Terrestrial interference
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Rain
Ka	20 GHz	30 GHz	3500 MHz	Rain, equipment cost

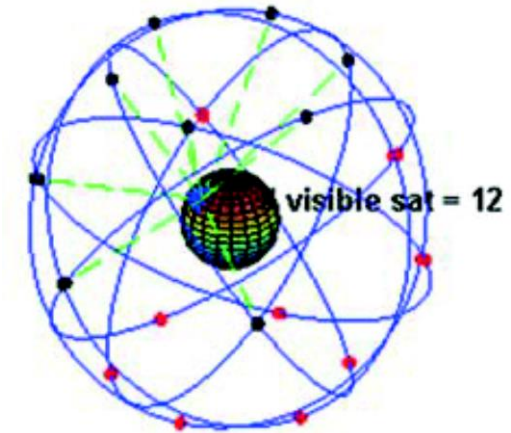
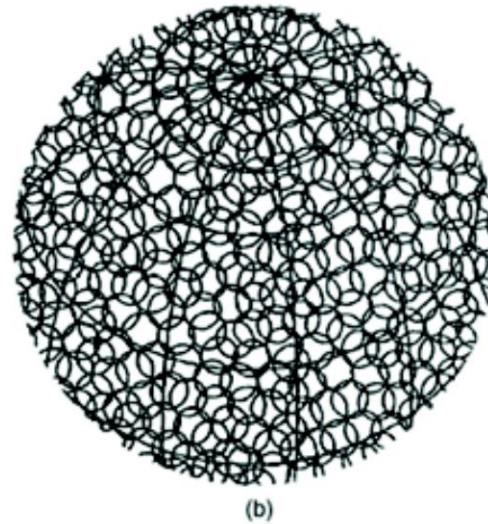
# ارتباط ماهواره ای

- پایانه های دیافراگم بسیار کوچک (VSAT)
- ترمینال های کوچکی که ۱ وات برق را انتقال می دهند و از طریق ماهواره Geostationary و HUB با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند.
- معمولاً می تواند با سرعت چند مگابیت بر ثانیه ارسال کند و با سرعتی در حدود ۱ مگابیت در ثانیه دریافت کند
- ارائه خدمات صوتی و/یا داده با هزینه کم



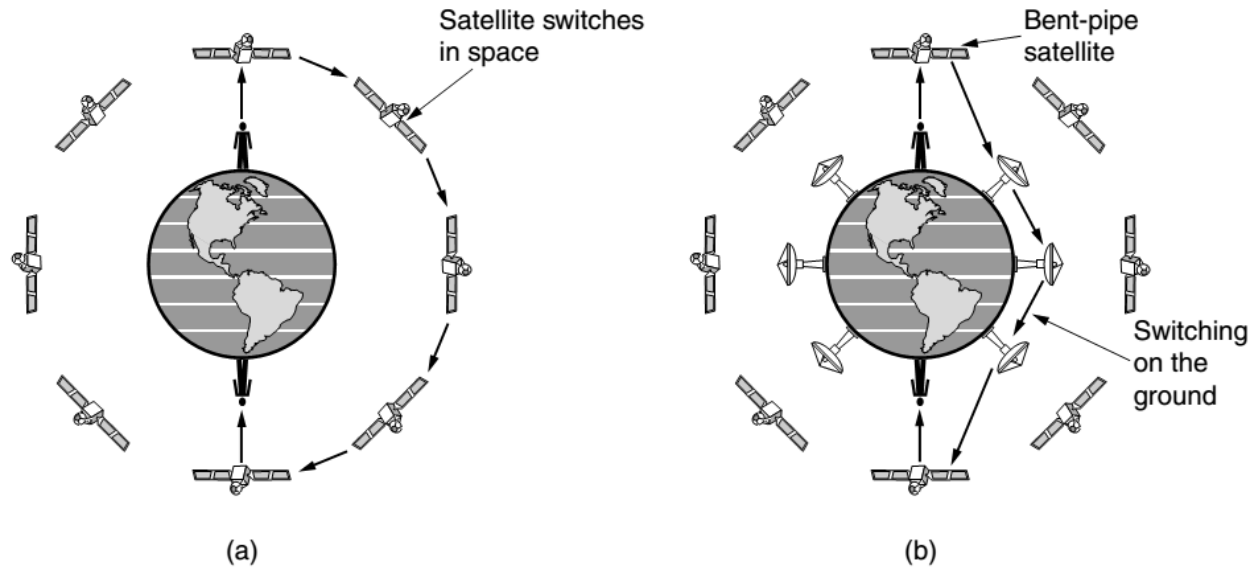
# ارتباط ماهواره ای

- ماهواره‌های مدار زمین متوسط/پایین (MEO/LEO)
  - ۶ ساعت یا کمتر به دور زمین بچرخید
  - ماهواره‌های زیادی برای پوشش زمین برای ارائه خدمات ارتباطی (تلفن همراه، دسترسی به اینترنت) مورد نیاز است.
  - Iridium, Globalstar و Teledisc برخی از سیستم‌های ماهواره ای هستند که خدمات صوتی و داده جهانی را ارائه می دهند.



# ارتباط ماهواره ای

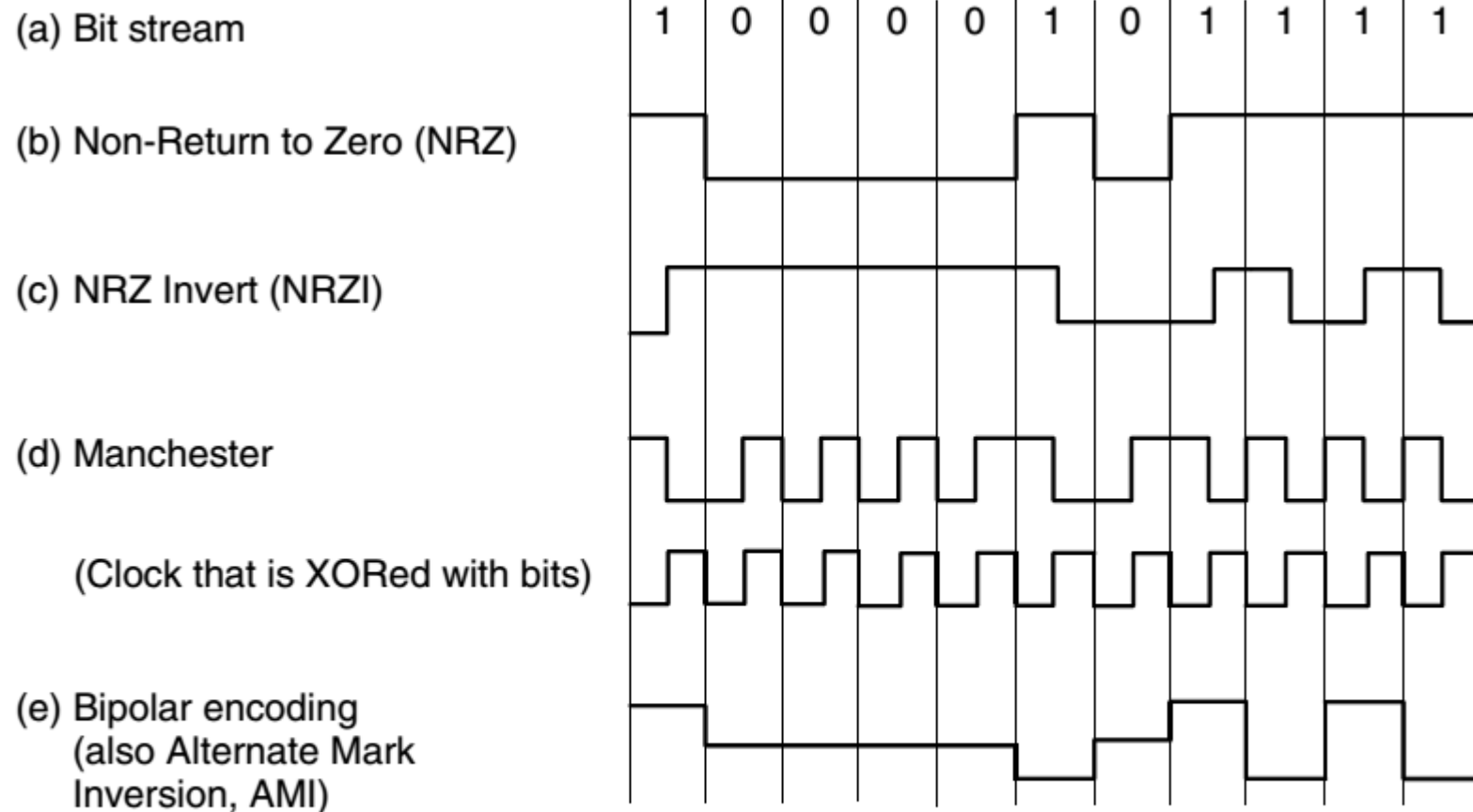
- در برخی از سیستم‌های ماهواره‌ای LEO مانند ایریدیوم، ماهواره‌ها داده‌ها را از مبدا به مقصد منتقل و تغییر می‌دهند.
- در برخی دیگر از سیستم‌های ماهواره‌ای مانند گلوبال استار، ماهواره‌ها سیگنال را به ایستگاه زمینی خود رله می‌کنند و سوئیچینگ توسط یک شبکه زمینی انجام می‌شود. مزیت این است که بسیاری از پیچیدگی‌ها روی زمین است و ماهواره‌ها ساده‌تر هستند.



# مقایسه ماهواره و فیبر

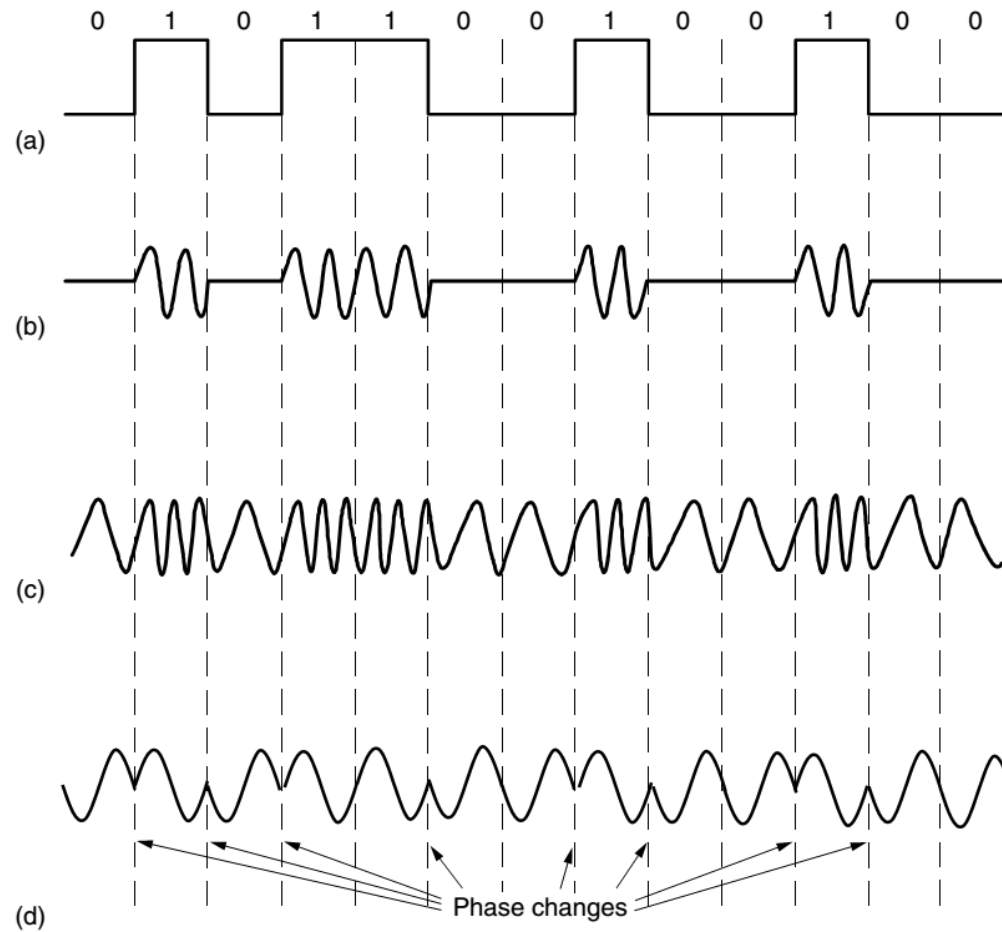
- ارتباطات نوری تکنولوژی غالب برای انتقال داده است.
- از شبکه های محلی اداری گرفته تا شبکه های ارتباطی بین قاره ای، سیستم های ارتباطی نوری به عنوان یک راه حل مقرون به صرفه استفاده می شوند.
- ارتباطات ماهواره ای برخی از خواسته های کلیدی را برآورده می کند
  - شبکه هایی که نیاز به **استقرار سریع** دارند (بازیابی **بلایا**، برنامه های **نظامی**)
  - ارتباط در مکان هایی که شبکه های زمینی به خوبی توسعه نیافته اند (جنگل ها، کشورهای دارای جزایر زیاد، ایستگاه های نفتی در دریا)
  - **پخش** (تلویزیون، رادیو)

# انتقال باند پایه



**Figure 2-20.** Line codes: (a) Bits, (b) NRZ, (c) NRZI, (d) Manchester, (e) Bipolar or AMI.

# انتقال باند میانی



**Figure 2-22.** (a) A binary signal. (b) Amplitude shift keying. (c) Frequency shift keying. (d) Phase shift keying.

# Frequency Division Multiplexing

- اطلاعات از چندین منبع را می توان با اختصاص حامل های مختلف به منابع مختلف در حوزه فرکانس چندگانه کرد.
- معمولاً یک باند محافظ بین باندهای فرکانسی مختلف وجود دارد
- مولتی پلکسی تقسیم فرکانس متعامد (OFDM) به ما امکان می دهد از باندهای فرکانسی مختلف برای انتقال داده ها به روشی کارآمدتر استفاده کنیم.
- OFDM در ۸۰۲.۱۱، شبکه های کابلی، شبکه های خطوط برق و غیره استفاده می شود.

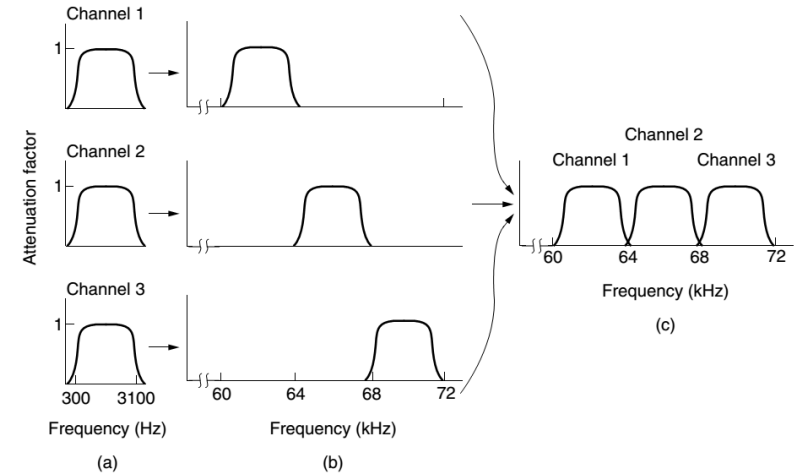


Figure 2-25. Frequency division multiplexing. (a) The original bandwidths. (b) The bandwidths raised in frequency. (c) The multiplexed channel.

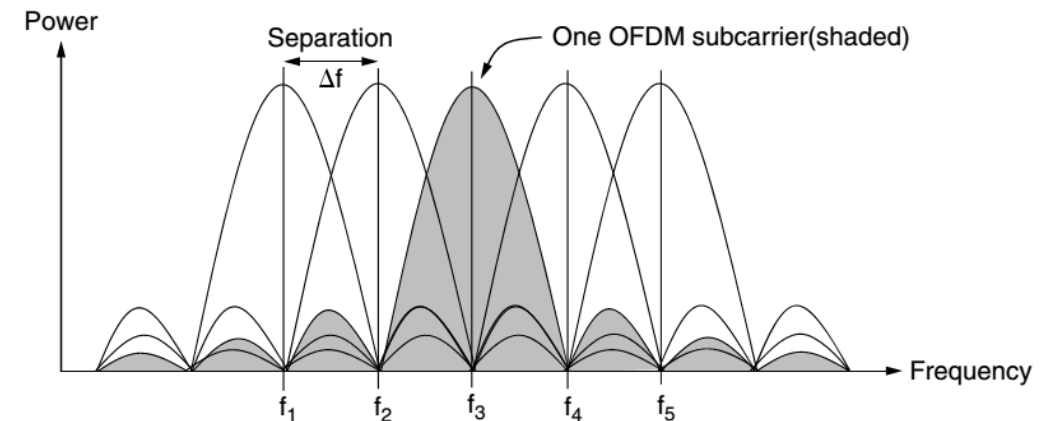
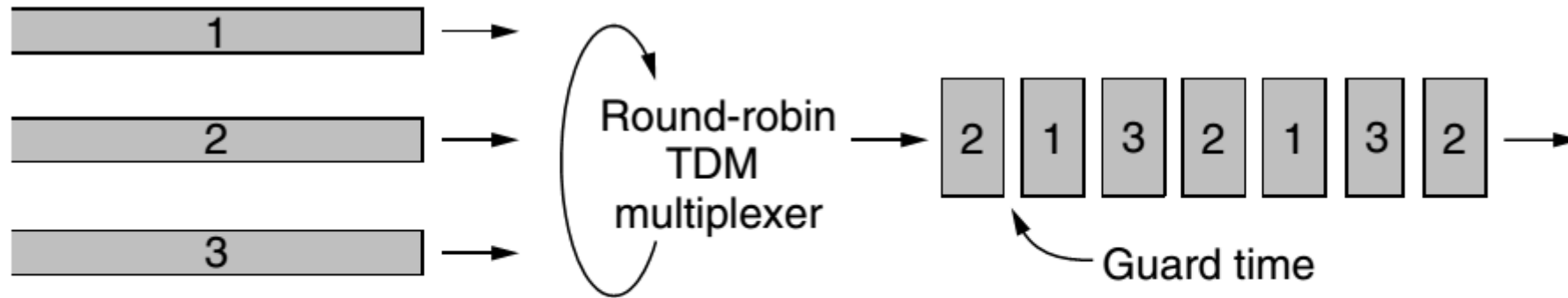


Figure 2-26. Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM).

# Time Division Multiplexing

- منابع مختلف داده را می توان با تقسیم زمان به اسلات های مختلف منتقل کرد
- TDM به طور گسترده در شبکه های تلفن و تلفن همراه استفاده می شود



**Figure 2-27.** Time Division Multiplexing (TDM).

# Code Division Multiple Access (CDMA)

- A techniques which allows for a new multiple access mechanism and is proving to be very effective for mobile communication. (Used in 2G and 3G mobile systems)
- Time division: TDM
  - each speaker gets its turn
- Frequency division: FDM
  - concurrent speakers separated far enough
- Now: Code Division
  - every speaker speaks a different language *at the same time*
- Key idea:
  - Each station uses the entire frequency band, but uses a different code.

- Each bit time interval is divided into m slots called chips
- Each transmitter uses a unique chip sequence to send 1 and its inverse to send 0.
  - Send 1 as: 1 1 -1 -1 1 -1 1 -1
  - Send 0 as: -1 -1 1 1 -1 1 -1 1
- Chips are chosen to have these properties:

$$S \cdot T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i t_i = 0$$

$$S \cdot S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^2 = 1$$

# CDMA

- Practical issues:
  - Keys should be known in advance
  - Power Control:
    - Senders should be received with same power
    - Send with inverse power of received signal strength
  - Synchronization: what if senders are not synchronized:
    - Lock into the ‘wanted’ channel
    - Other channels will be received as background noise

A: 00011011  
 B: 00101110  
 C: 01011100  
 D: 01000010

(a)

A: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)  
 B: (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)  
 C: (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)  
 D: (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)

(b)

Six examples:

--1-	<b>C</b>	$S_1 = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$
-11-	<b>B + C</b>	$S_2 = (-2 0 0 0 +2 +2 0 -2)$
10--	<b>A + B</b>	$S_3 = (0 0 -2 +2 0 -2 0 +2)$
101-	<b>A + B + C</b>	$S_4 = (-1 +1 -3 +3 -1 -1 -1 +1)$
1111	<b>A + B + C + D</b>	$S_5 = (-4 0 -2 0 +2 0 +2 -2)$
1101	<b>A + B + C + D</b>	$S_6 = (-2 -2 0 -2 0 -2 +4 0)$

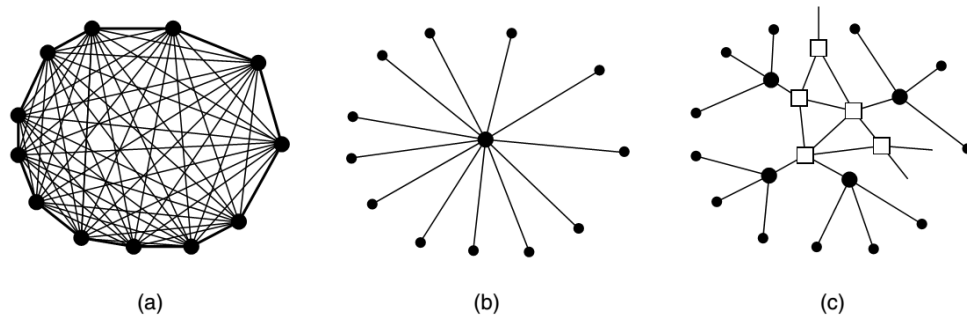
(c)

$S_1 \cdot C = (1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1)/8 = 1$   
 $S_2 \cdot C = (2 +0 +0 +0 +2 +2 +0 +2)/8 = 1$   
 $S_3 \cdot C = (0 +0 +2 +2 +0 -2 +0 -2)/8 = 0$   
 $S_4 \cdot C = (1 +1 +3 +3 +1 -1 +1 -1)/8 = 1$   
 $S_5 \cdot C = (4 +0 +2 +0 +2 +0 -2 +2)/8 = 1$   
 $S_6 \cdot C = (2 -2 +0 -2 +0 -2 -4 +0)/8 = -1$

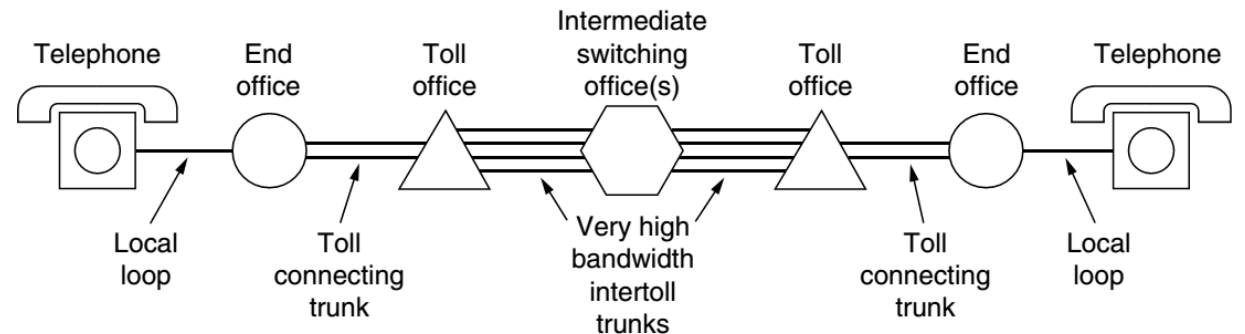
(d)

# سیستمهای تلفن

- Public Switched Telephone Network (PSTN)
  - Originally designed to transmit human voice
  - Loop plant with Limited bandwidth and complex interference environment
- Telephone system organization: hierarchical network with three important components:
  - Local loops:
  - Switching centers:
  - Trunks: connecting switching offices using various transmission technologies



**Figure 2-29.** (a) Fully interconnected network. (b) Centralized switch. (c) Two-level hierarchy.



**Figure 2-30.** A typical circuit route for a long-distance call.

# مثالی از ساختار سلسله مراتبی سوئیچ

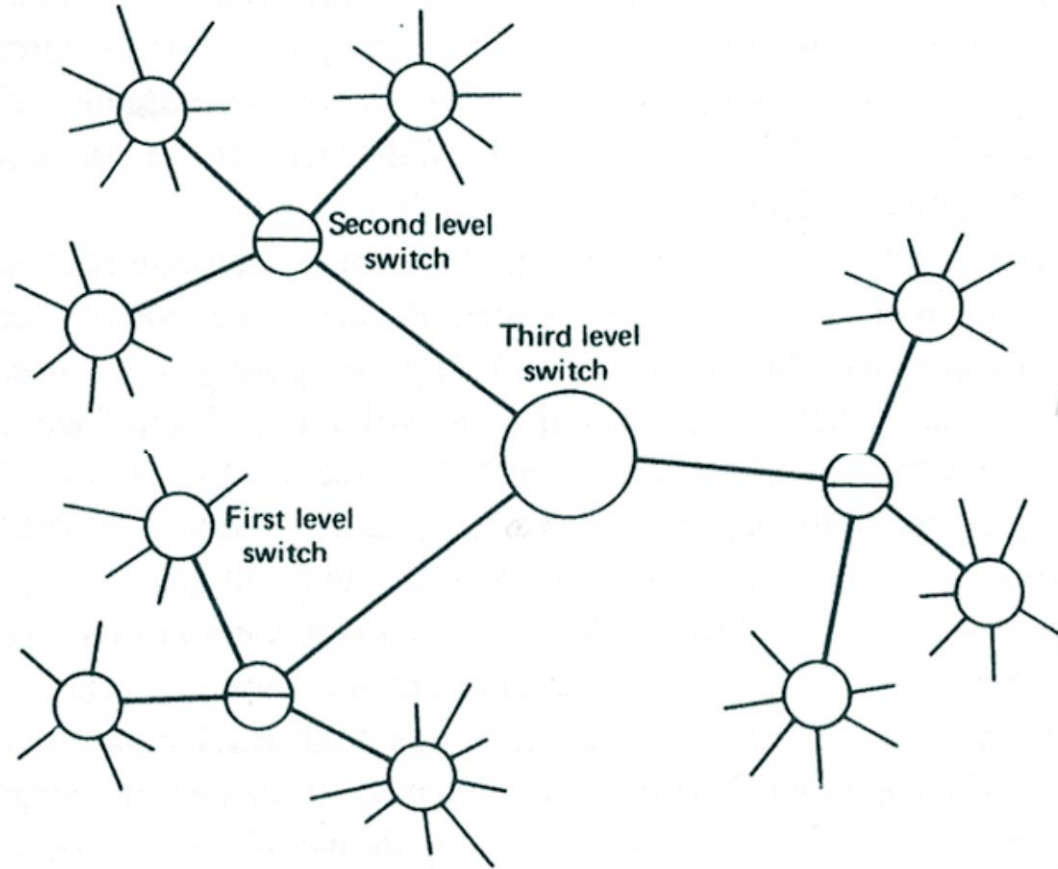
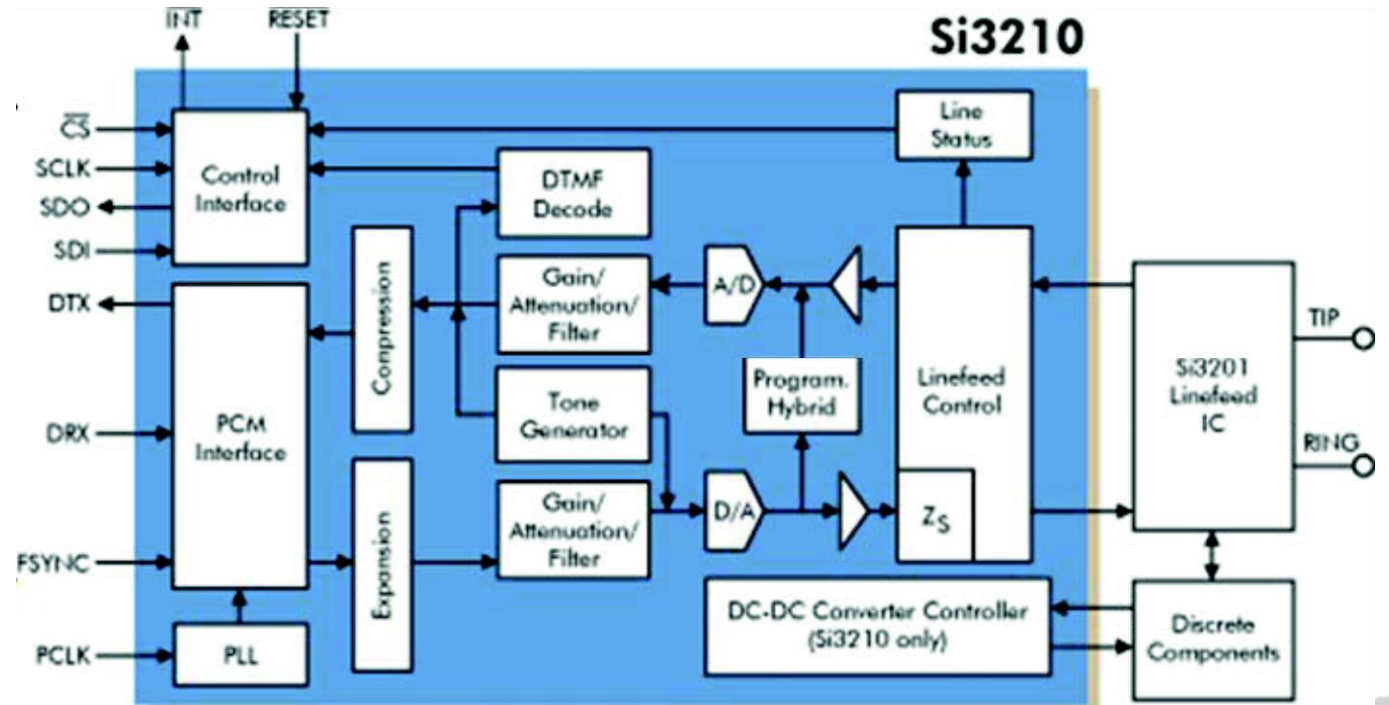


Figure 1.2 Three-level switching hierarchy.

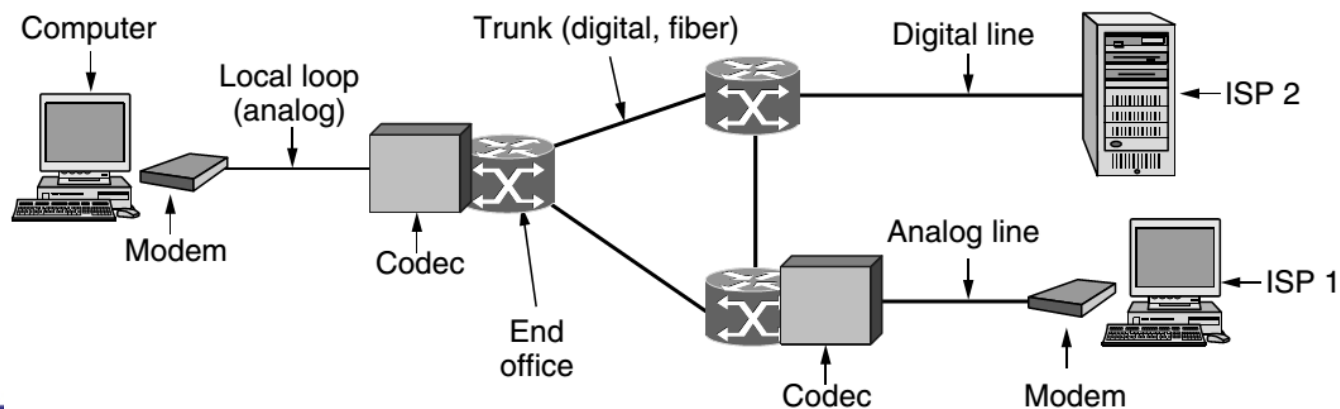
# SLIC/CODEC

- Important User Side Functions
  - Battery supply to subscriber line
  - Overvoltage protection
  - Off/On hook detection
  - Ring Generation
  - Tone Detection
  - Tone Generation
  - Hybrid
  - Testing
- Important Network Side Function
  - PCM Coder/Decoder
  - Filtering and Amplification
  - Compression/Decompression



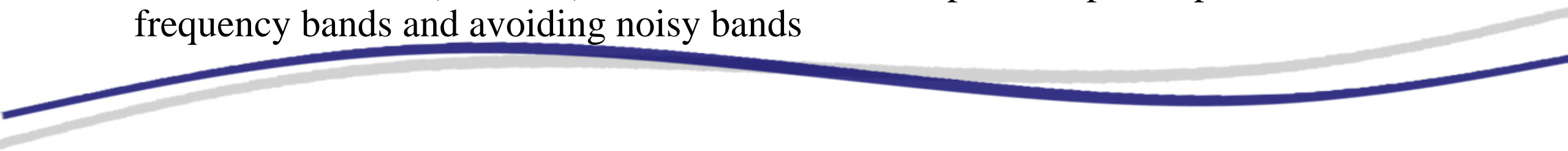
# مودم تلفن

- مودم: یک دستگاه است که رشته ای از بیت‌های دیجیتال را دریافت و به روش مناسب از طریق یک مسیر ارتباطی منتقل می‌کند (از قبیل زوج سیم)
- مشکلات ارسال:
  - تضعیف و تأخیر که به فرکانس وابسته است
  - نویز (نویز حرارتی، نویز ضربه و غیره)
  - Cross talk، به علت القای مغناطیسی سیم‌ها
- برای مودم‌های باند صدا، نرخ داده‌ها توسط فرایند نمونه برداری PSTN و شرایط حلقه محدود می‌شود.



**Figure 2-32.** The use of both analog and digital transmission for a computer-to-computer call. Conversion is done by the modems and codecs.

# Voice band modem standards

- V.32: 9600 bps : 4 bits / baud
  - V.32 bis: 14.4 kbps : 6 bits / baud
  - V.34: 28.8 kbps (Using QAM Constellation)
  - V.90: 56 kbps DS, 33.6 kbps US
  - V.92: 56 kbps DS, 48 kbps US
  - Compression schemes:
    - MNPs : run-length encoding (runs of zero's may be very common)
    - V.42 bis : Ziv-Lempel compression
  - Some advanced techniques used:
    - Trellis Coding
    - Divide bandwidth (3000 Hz) into 512 bands of 20 bps  adaptive optimal use of frequency bands and avoiding noisy bands
- 

# حلقه محلی و دسترسی ADSL باند پهن

- هدف: ارائه سرویس دیتا بدون تأثیر گذاری بر سرویس صوتی روی زوج سیم

- سمت (CO) Central Office:

- استفاده از جدا کننده برای ارسال بخش پایین گذر به سویچ صوت و ارسال فرکانسهای بالاتر به DSLAM

- سمت (CPE) Customer Premise End:

- استفاده از جدا کننده برای تلفن و بخش فرکانس بالا به مودم ADSL CPE

- طیف توان سیگنال ADSL به دقت برای جلوگیری از تداخل خطوط طراحی می شود

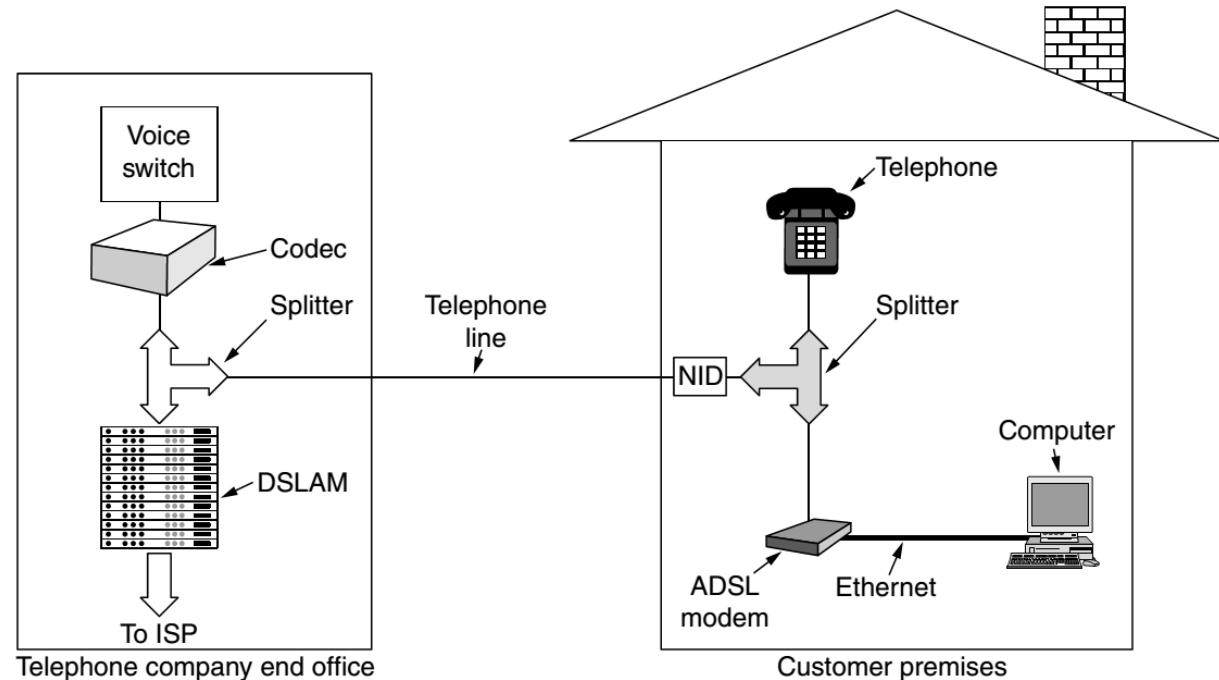


Figure 2-35. A typical ADSL equipment configuration.

# حلقه محلی و دسترسی ADSL باند پهن

- تکنیک Discrete Multi tone technique (DMT) به عنوان طرح مدولاسیون

- ایده: تقسیم فرکانس به بلوکهای کوچک که هر کدام یک QAM جدا را حمل می کند.

- استفاده بهتر از ظرفیت کانال

- مقاومت بهتر به نویز

- نرخ قابل تطبیق

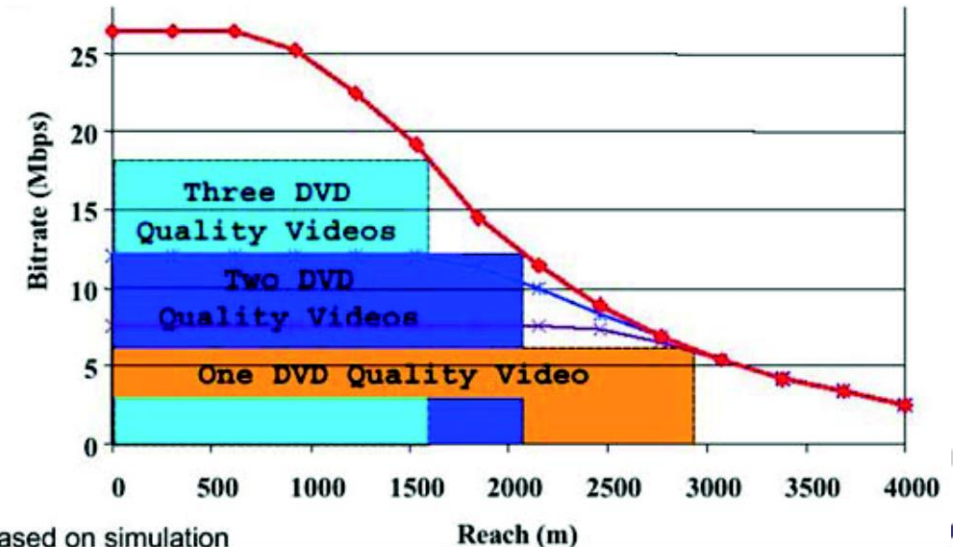
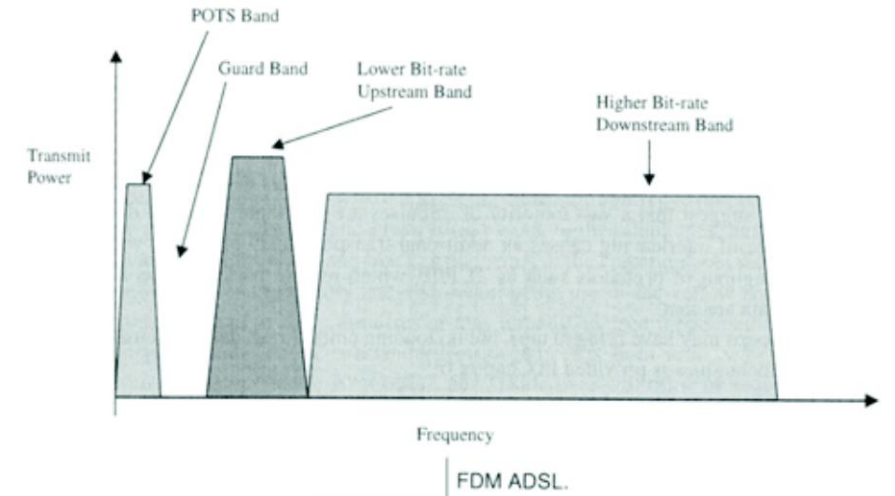
- مود تقسیم فرکانس

- Upstream (US) 25kHz to 130 kbps providing up to 1 Mbps

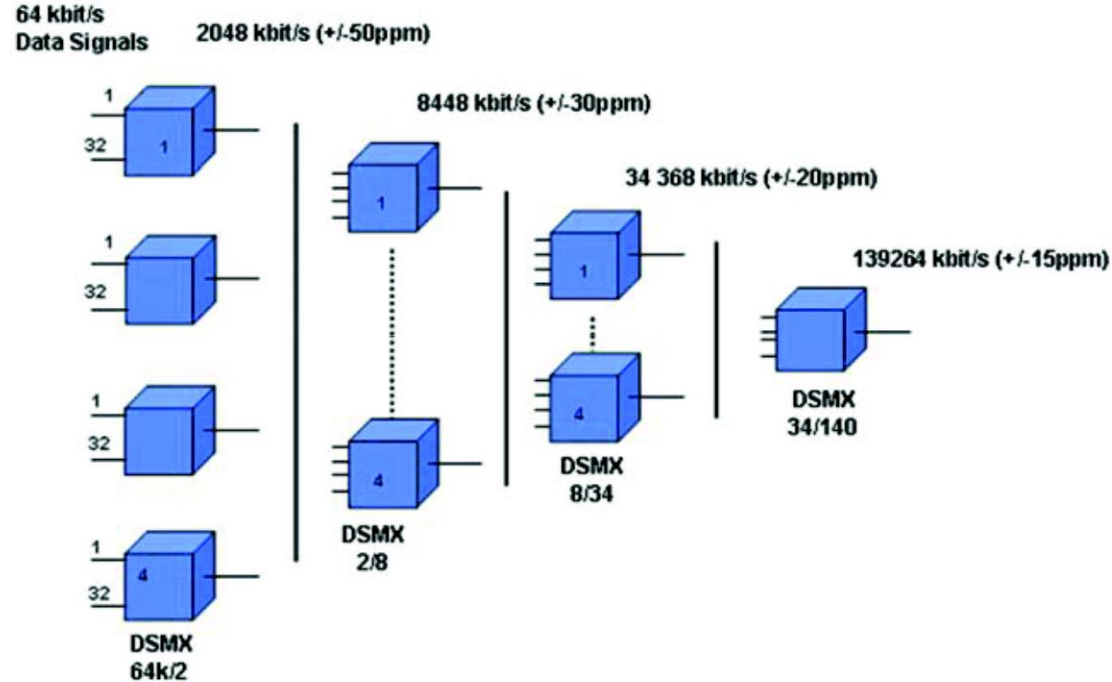
- Downstream (D) 140 kHz to 1.1MHz providing up to 8Mbps

- نسخه جدید (ADSL2+M) با بهبود منحنی نرخ به فاصله دسترسی، باند DS را تا ۲/۲ مگاهرتز ارتقاء داده است.

- (24 Mbps DS, 3.5 Mbps US)



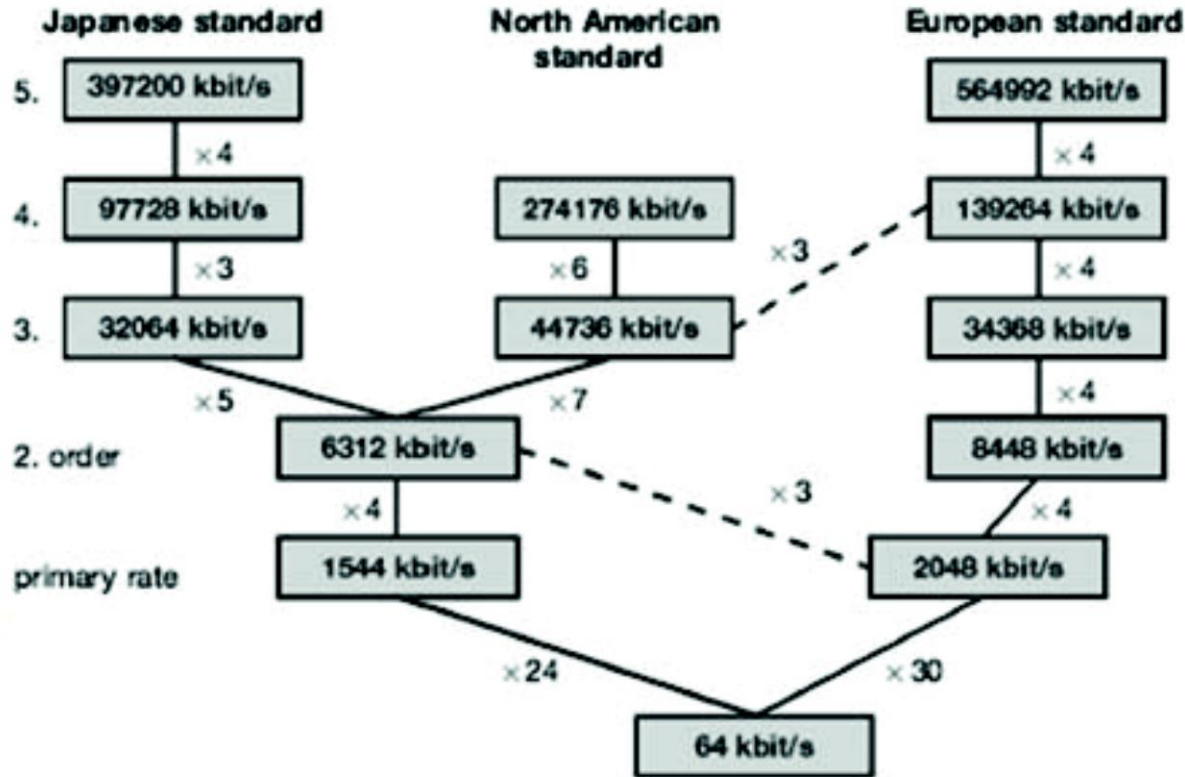
# سلسله مراتب PDH اروپایی



چهار E1 به اضافه تعدادی بیت اضافی تشکیل یک E2 می دهد  
 چهار E2 به اضافه تعدادی بیت اضافی تشکیل یک E3 می دهد.  
 چهار E3 به اضافه تعدادی بیت اضافی تشکیل یک E4 می دهد.

ITU-T Standard	Signal Bit Rate	Frame Size (bits)	Frame Per Second
G.704/732	E1 (2.048 Mbps +/-50ppm)	256	8000
G.742	E2 (8.448 Mbps +/-30ppm)	848	9962.2
G.751	E3 (34.368 Mbps +/-20ppm)	1536	22375
G.751	E4 (139.264 Mbps +/-15ppm)	2928	47562.8

# SONET/SDH



SONET (Synchronous Optical Network) و SDH (Synchronous Digital Hierarchy) استانداردهای اولیه همه نوع مترو و انتقال ترافیک روی شبکه فیبری است.

اهداف طراحی:

- متحد کردن سیستمهای دیجیتال آمریکایی، اروپایی و ژاپنی
- فراهم آوردن طرح مالتی پلکس کردن یا سلسله مراتب دیجیتال
- فراهم کردن پشتیبانی از QAM
- دسترسی مستقیم به شاخه های سطح پایین بدون نیاز به دیمالتی پلکس کل سیگنال

# مقایسه SDH/PDH

- PDH معایبی دارد.
  - نا توانی در تشخیص هر کانال در جریان بیت درجه بالاتر .
  - ظرفیت ناکافی برای مدیریت شبکه.
  - سلسله مراتب مختلفی از آن در دنیا استفاده می شود.
  - برای اتصال دو سلسله مراتب مختلف احتیاج به واسطه‌های خاص است.
- SDH مزیت‌هایی نسبت به شبکه های PHD دارد.
  - نرخ بالای انتقال اطلاعات.
  - توابع ساده شده اضافه و حذف کردن.
  - استانداردهای ساده ای برای اتصالات داخلی تعریف شده است.
  - قابلیت استاندارد
  - پلت فورم های مخصوص آینده برای سرویس‌های جدید.

# PDH Add/Drop

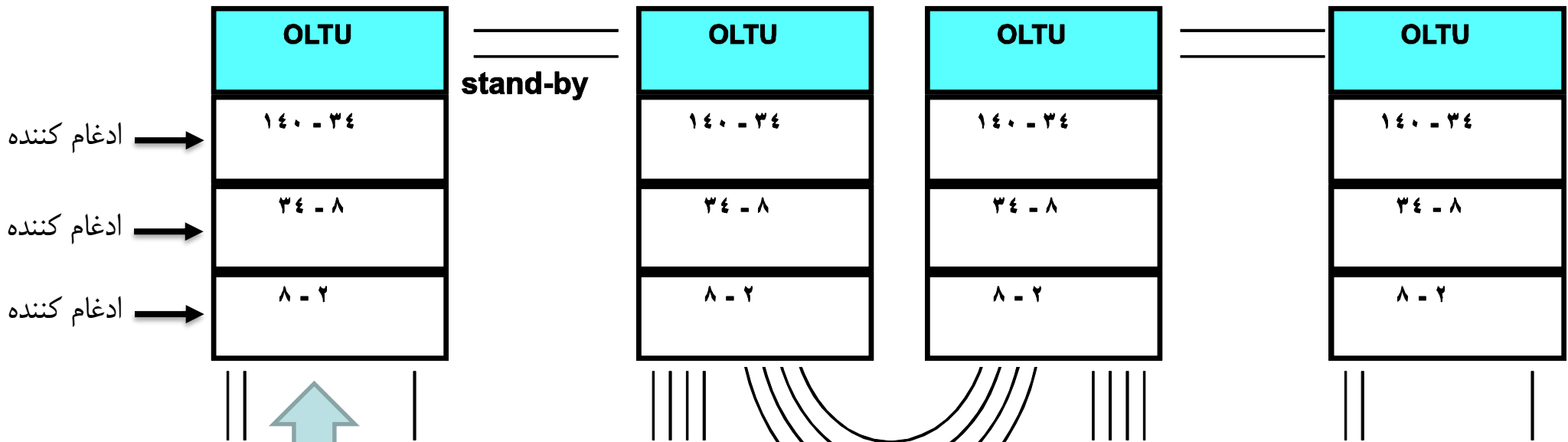
در هر ادغام کننده  
تعدادی بیت سرایند  
اضافه می شود

مشکل این است که برای استخراج یک  
E1 باید کل موارد ادغام شده را جدا کرد

۱۴۰ Mbit/s

۱۴۰ Mbit/s

main  
stand-by

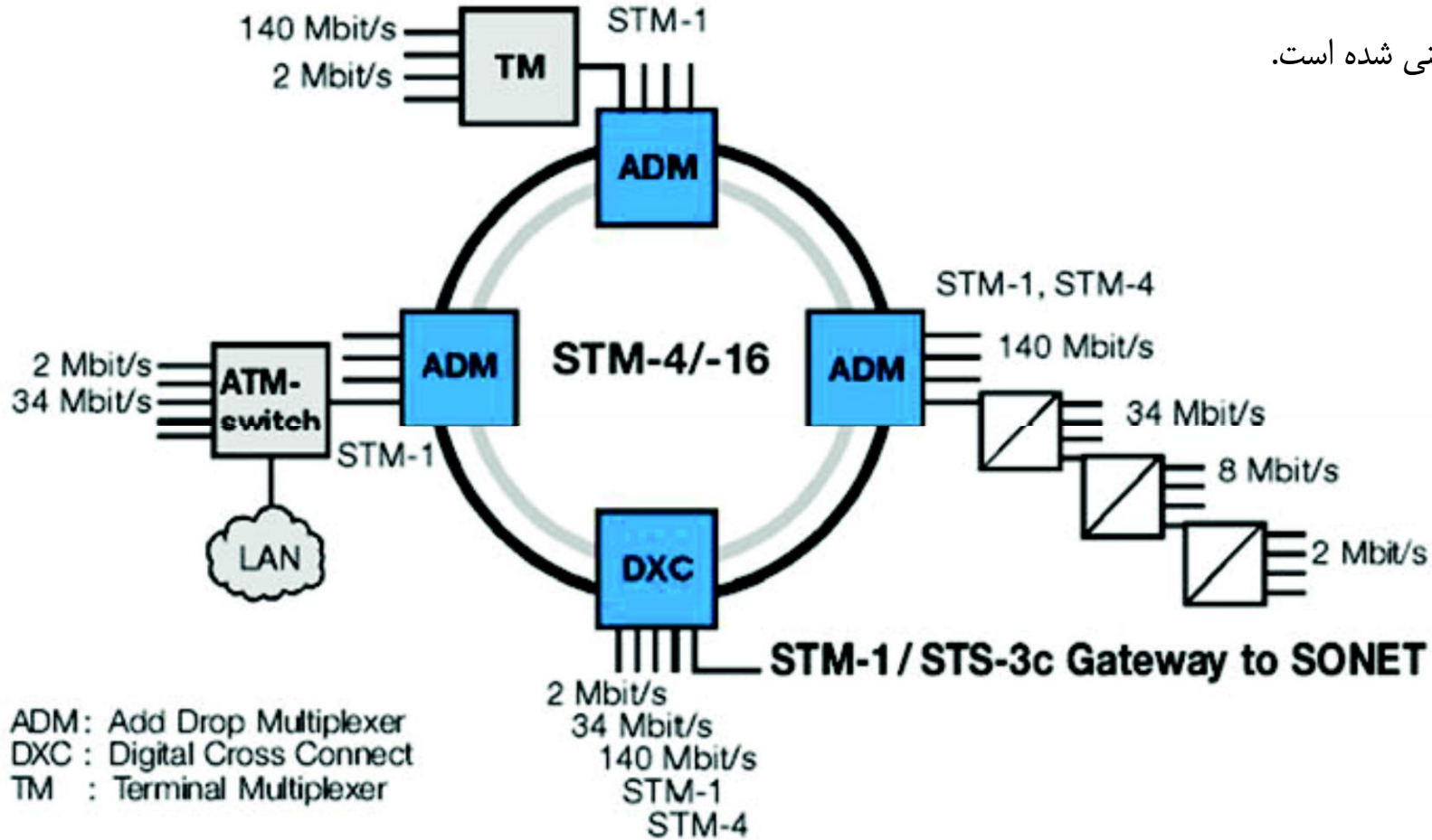


Drop & Insert Station

Line Terminating Unit

# SDH Add/Drop

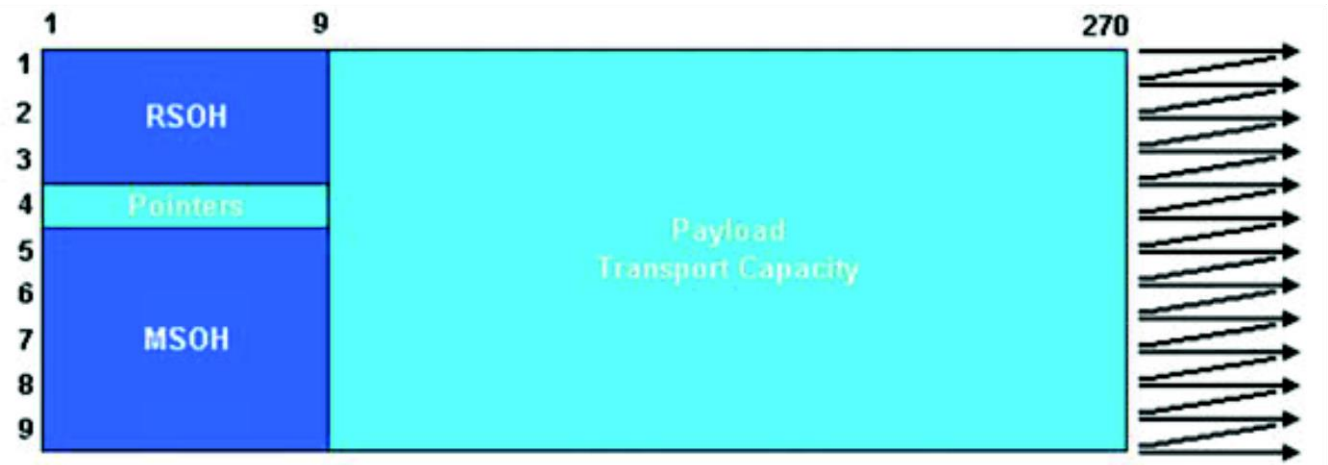
در ساختار SDH یک ساختار حلقوی برای نودها پیشبینی شده است.



# SONET/SDH

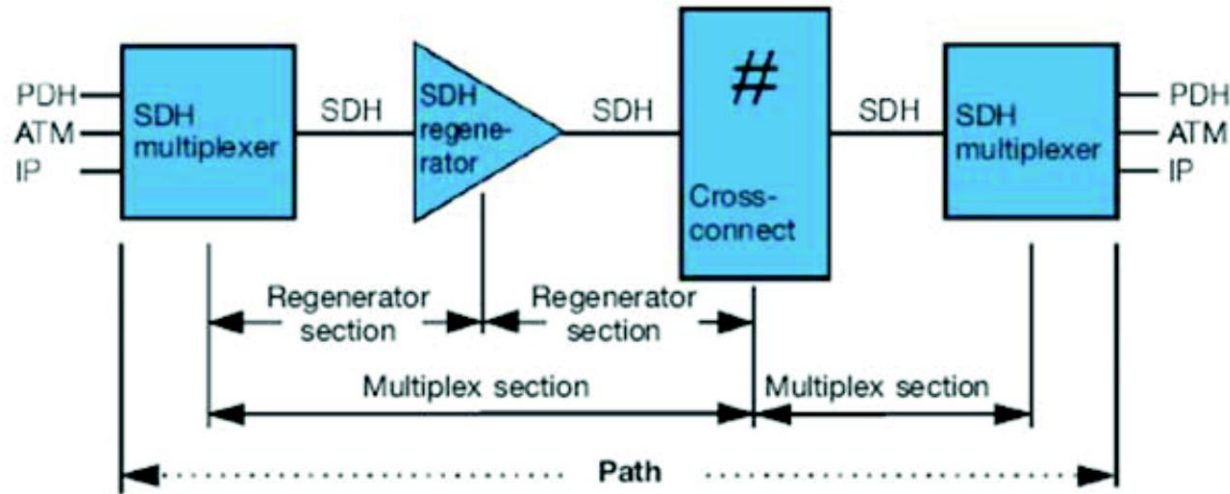
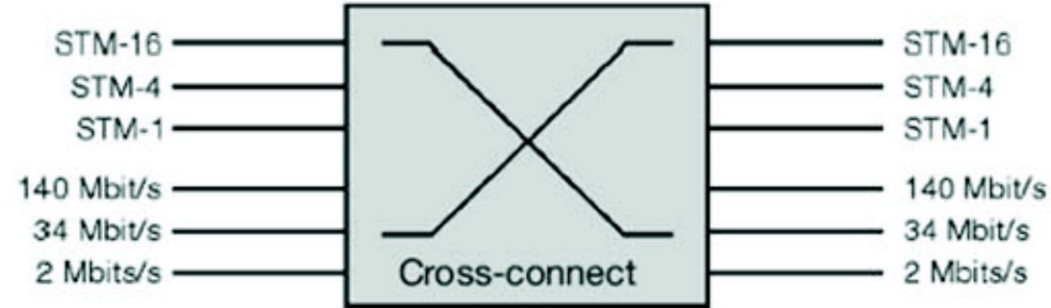
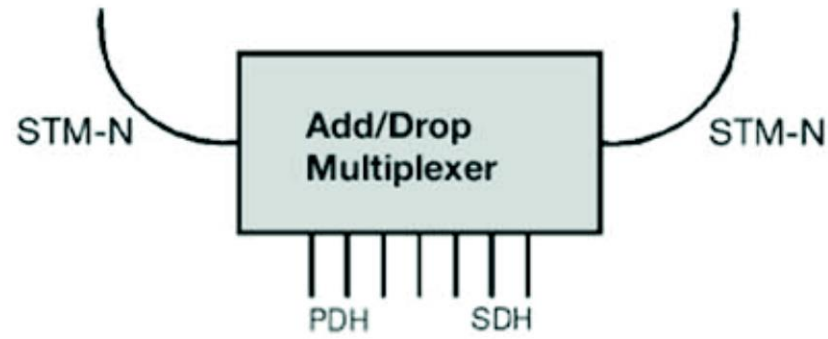
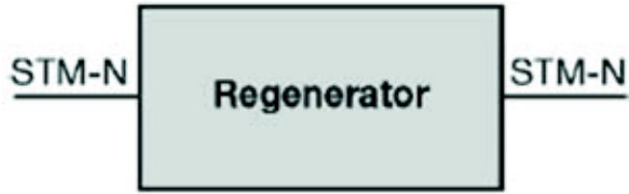
تولید کننده و مصرف کننده قسمت‌های آبی پررنگ خود سیستم انتقال است  
قسمت‌های آبی کم‌رنگ مربوط به payload است.

- SDH Rate and signaling
  - 155 Mbps or multiples
  - 270 x 9 x 8 bits per frame of 125 microseconds
- SDH multiplexing
  - 261 x 8 x 9 x 8 bits for synchronous payload envelope (SPE)
  - Payloads can carry many different types of traffic
  - Header bytes are used for framing, parity, voice channels, error monitoring, IDs, clocking and synchronization
- Standards: Multiples of 4nxSTM-1
  - STM-1: 155.52 Mbps
  - STM-4: 622.08 Mbps
  - STM-16: 2.5 Gbps
  - STM-64: 10 Gbps
  - STM-256: 40 Gbps

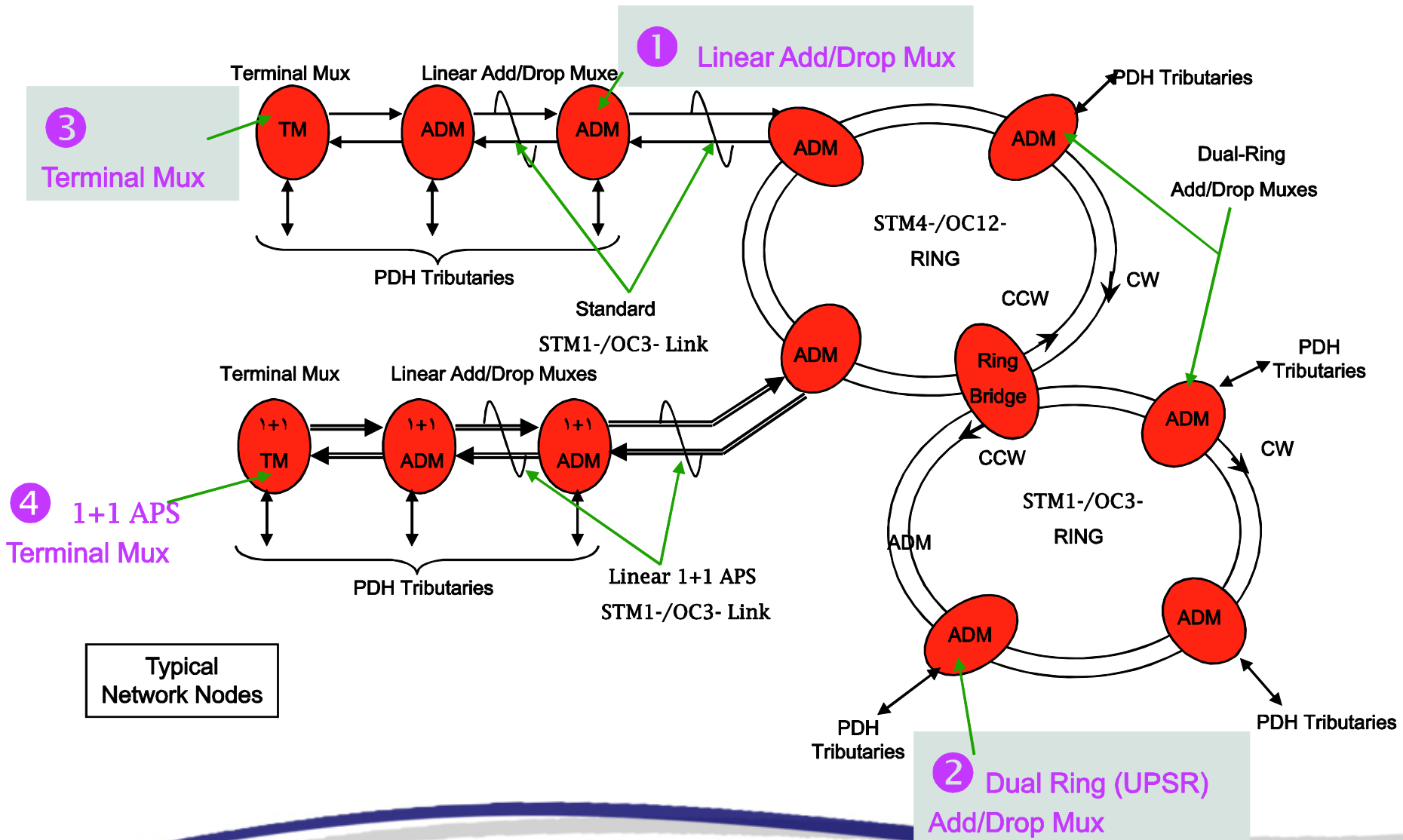


# اجزاء شبکہ SDH

تقویت کننده بین راهی



# مثالی از ساختار یک شبکه



بخشهای خطی  
بخشهای حلقوی  
حلقه بودن نوعی حفاظت ایجاد می کند

# Wavelength Division Multiplexing

- تعداد زیادی دنباله دیتا را که هر کدام در طول موج متفاوتی حمل می شوند، می توان بستر نوری تجمیع کرد و روی یک فیبر تنها ارسال کرد.
- این تکنولوژی به طرز قابل توجهی ظرفیت افزایش می یابد و هزینه انتقال اطلاعات را کاهش داد.

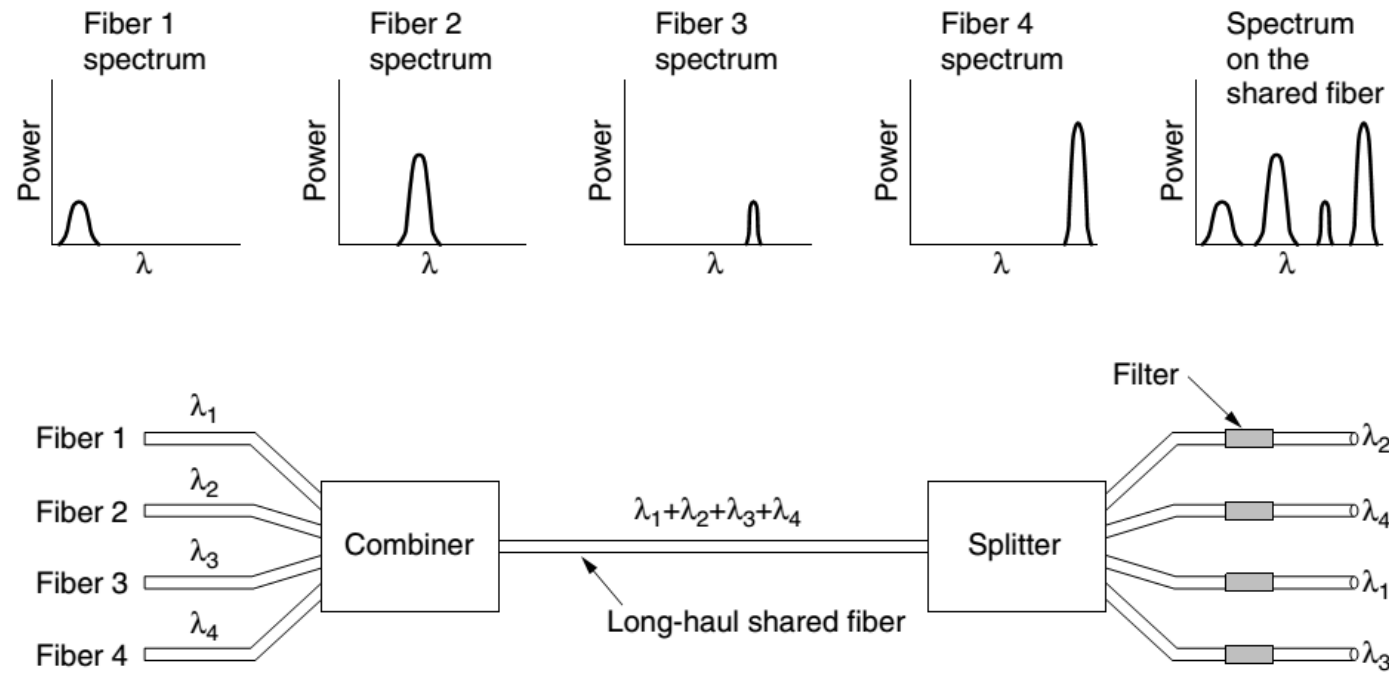


Figure 2-41. Wavelength division multiplexing.

# Switching

- Circuit switching
  - Dedicated path established between source and destination
  - Long set-up time:  $O(10 \text{ sec})$
  - No congestion change: guaranteed bandwidth
  - No extra random delay while call is established. Only transport delay
  - Unused bandwidth is wasted
  - Transparent to data format and framing mode. (road vs. railroad)

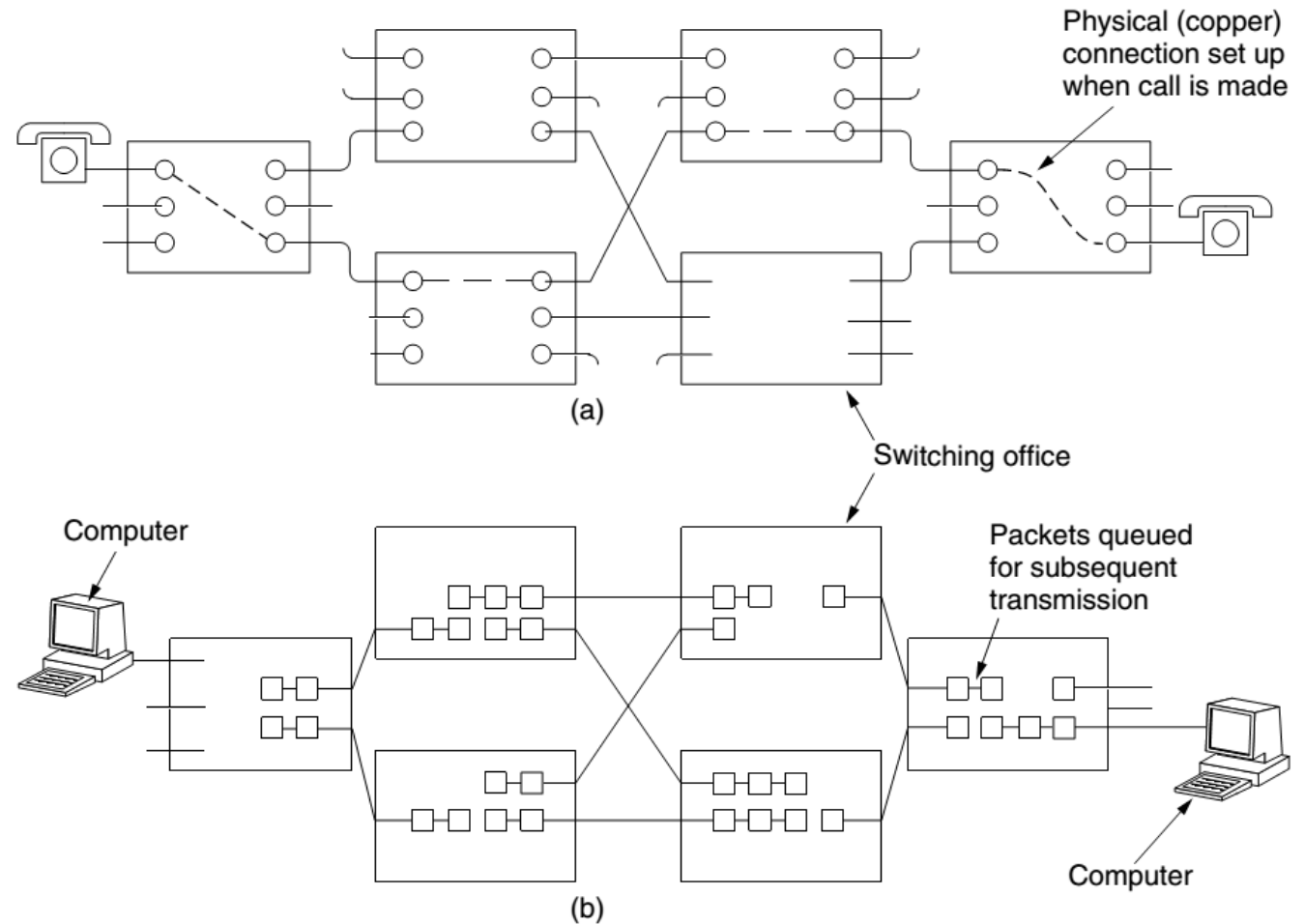


Figure 2-42. (a) Circuit switching. (b) Packet switching.

# Switching

- Message switching
  - Store-and-forward technique used
  - Each router sends the entire message before sending the next one
  - Path is blocked for long times => random and uncontrolled delay
  - Not used in data networks
- Packet switching
  - Store-and-forward technique used
  - No dedicated path
  - Packet size should be limited in order not to block switches and/or overflow buffers
  - First packet is forwarded while second is received.
  - Rate conversion is easy
  - Delivery order may not be guaranteed

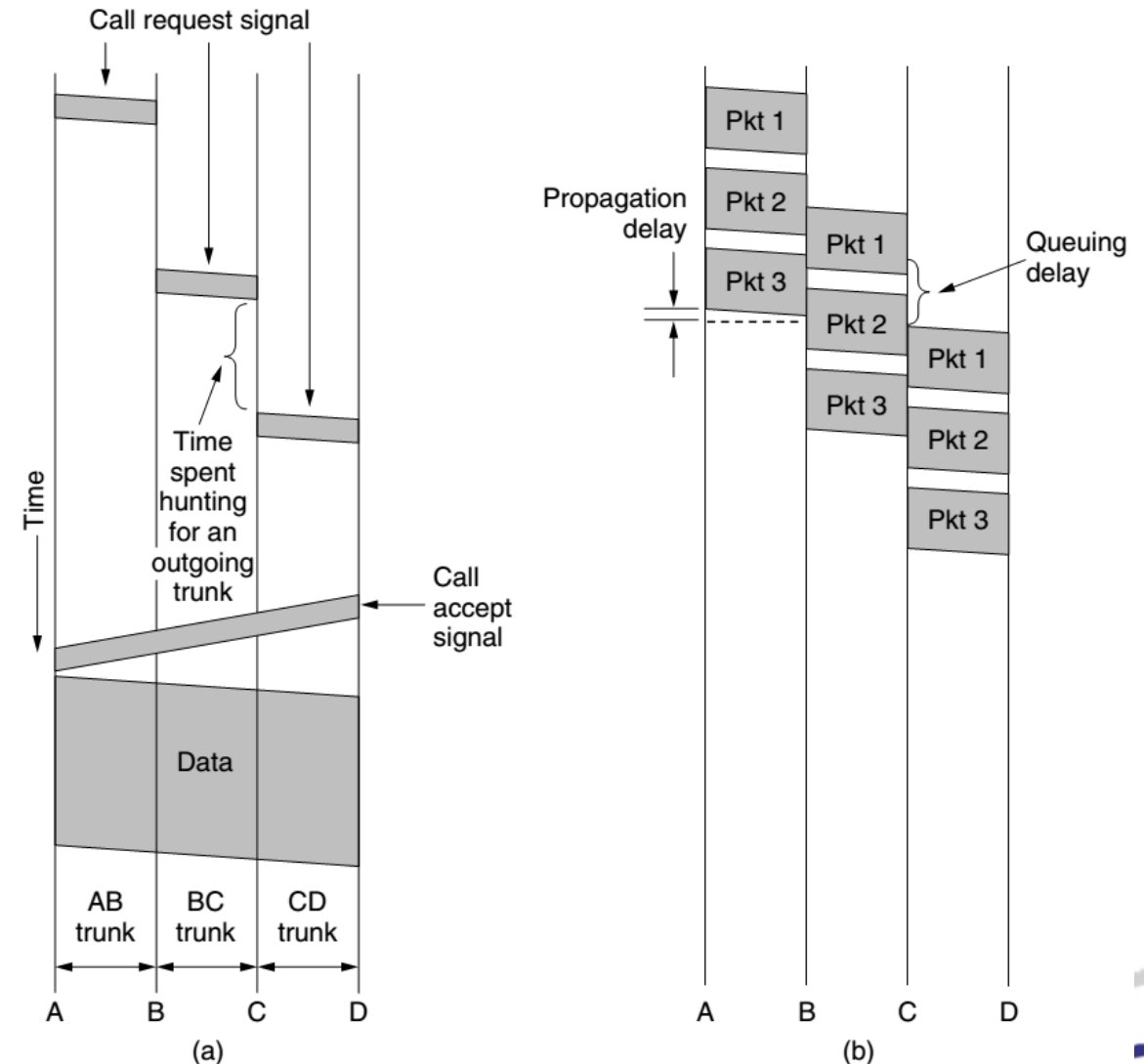


Figure 2-43. Timing of events in (a) circuit switching, (b) packet switching.