

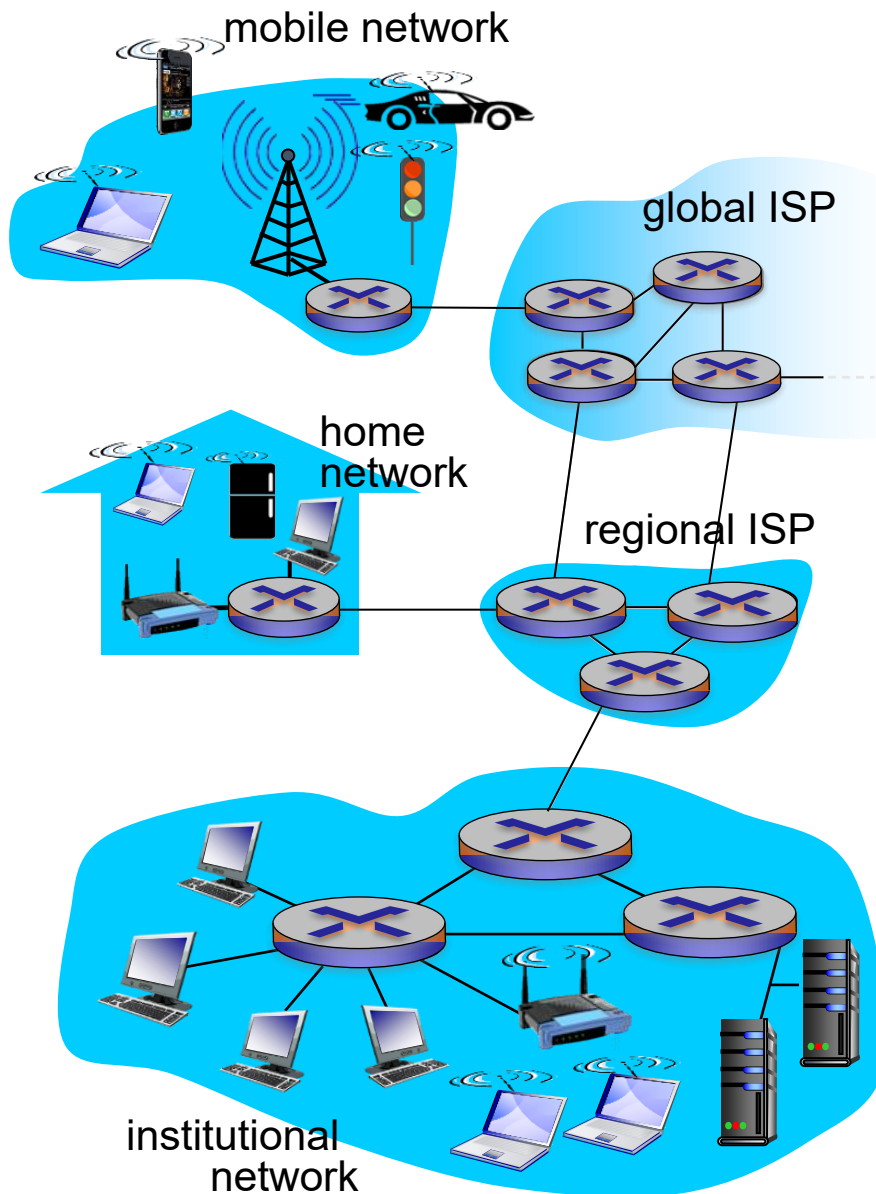
计算机网络



计算机与信息学院
人工智能学院

第二章 物理层

- ✓ 传输介质
- ✓ 数据通信基础
- ✓ 多路复用
- ✓ 接入网技术
- ✓ 物理层协议



1 传输介质（媒体）

- 相邻节点之间实际传输数据的物理载体

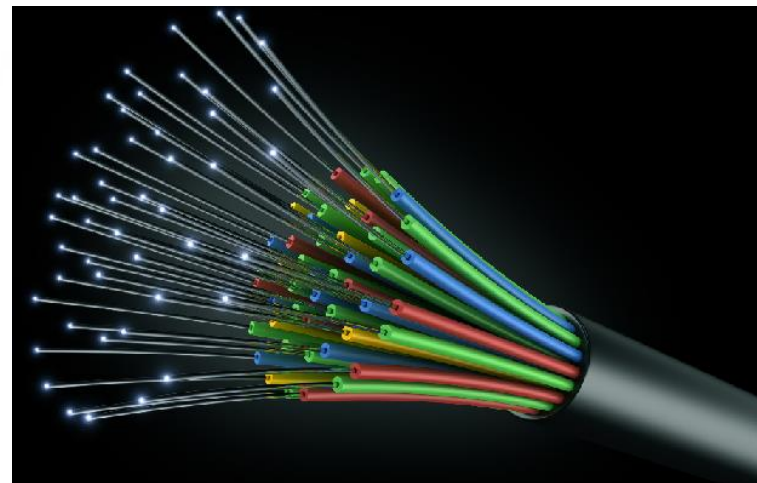
- ✓ 导引型介质

- 信号沿着固体媒介被导引：同轴电缆、光纤、双绞线

- ✓ 非导引型介质

- 开放的空间传输电磁波或者光信号

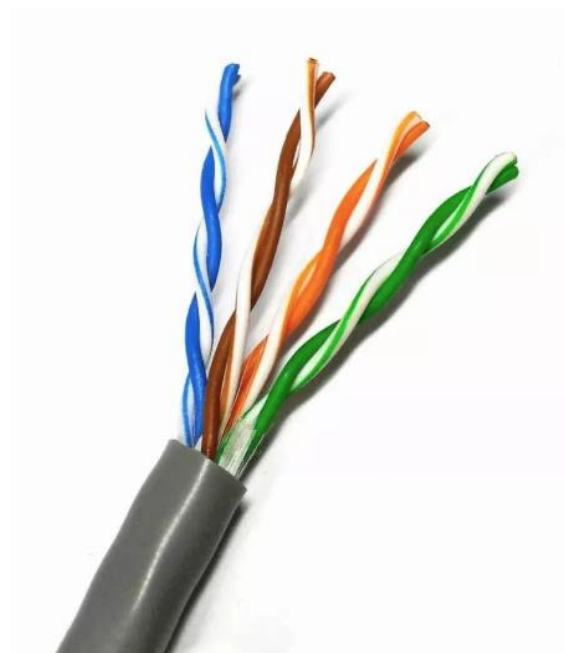
双绞线\同轴电缆\光纤



双绞线 (Twist Pair)

- 常见的有线传输介质，广泛应用于局域网（LAN）中
 - 两根绝缘铜导线拧合（铜具有良好的导电性，拧合可以有效减少电磁干扰）

——双绞线电缆：多对双绞线置于一个防护层中



双绞线 (Twist Pair)

无屏蔽双绞线 (Unshielded Twist Pair: **UTP**)

屏蔽双绞线 (Shielded Twisted Pair: **STP**) : 增加**金属屏蔽层**。抗干扰能力更强

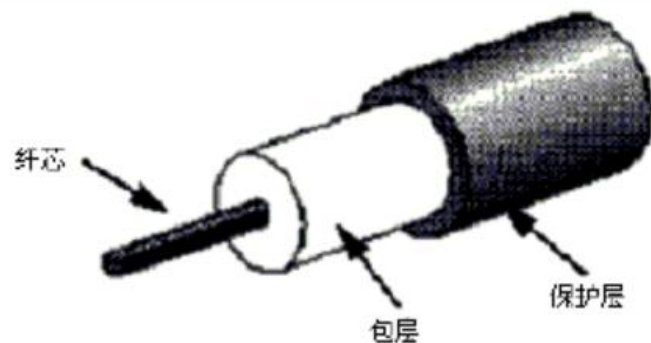
常用的绞合线的类别、带宽和典型应用

绞合线类别	带宽	线缆特点	典型应用
3	16 MHz	2对4芯双绞线	模拟电话；曾用于传统以太网 (10 Mbit/s)
4	20 MHz	4对8芯双绞线	曾用于令牌局域网
5	100 MHz	与4类相比增加了绞合度	传输速率不超过100 Mbit/s的应用
5E (超5类)	125 MHz	与5类相比衰减更小	传输速率不超过1 Gbit/s的应用
6	250 MHz	与5类相比改善了串扰等性能	传输速率高于1 Gbit/s的应用
7	600 MHz	使用屏蔽双绞线	传输速率高于10 <u>Gbit/s</u> 的应用

EIA/TIA-568标准

光纤 (Fiber)

- ✓ 用于高速、长距离传输光信号的通信介质，具有高带宽、低衰减、抗电磁干扰等优点
- ✓ 广泛应用于Internet的主干网



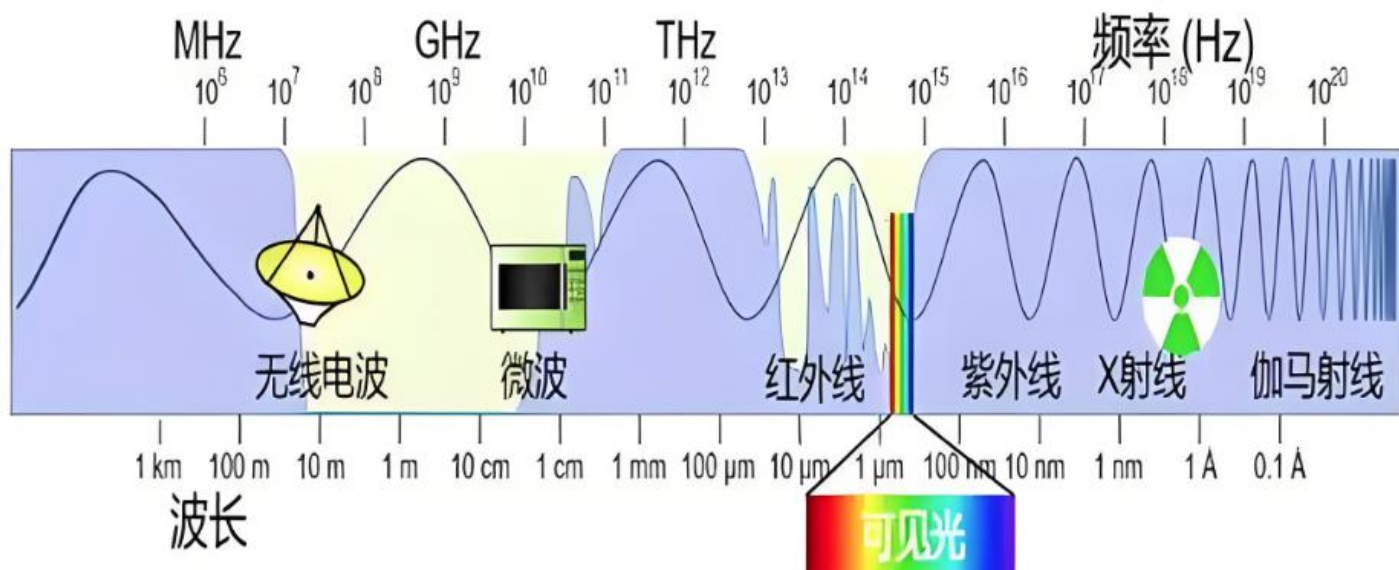
纤芯：纤芯是光纤的核心部分，用于传输光信号，直径几十微米的石英玻璃(SiO_2)

包层：同样由 SiO_2 构成，将光信号限制在纤芯中传播

塑料护套：保护光纤免受外界环境的影响，使得它能够弯曲而不至于断裂



非导引型介质：电磁波



无线电波：用于广播、电视、手机通信等。不同的频率段被分配给不同的通信服务，以避免信号干扰

微波（300MHz 至 300GHz）：卫星通信、雷达和无线网络（如Wi-Fi）

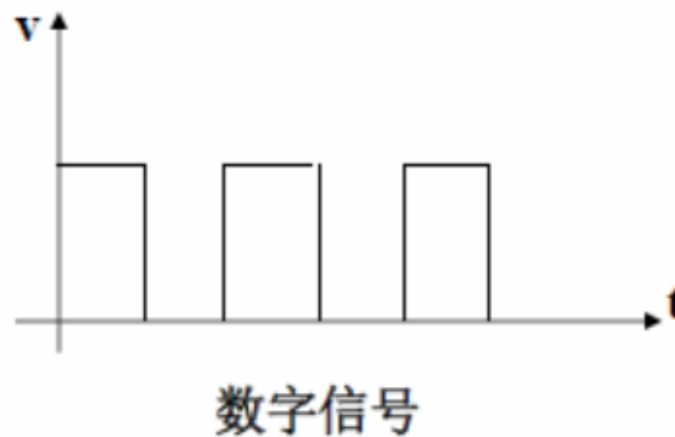
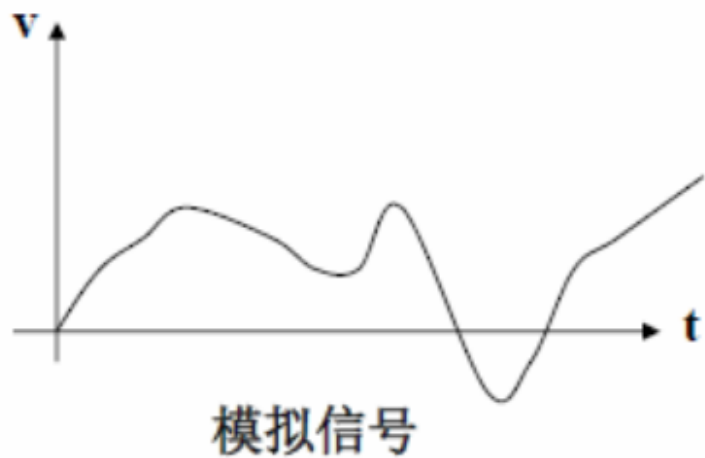
第二章 物理层

- ✓ 传输介质
- ✓ 数据通信基础
- ✓ 多路复用
- ✓ 接入网技术
- ✓ 物理层协议

1、模拟通信和数字通信

模拟信号：信号的物理量（如电压、电流、频率）随时间**连续变化**

数字信号：信号的物理量不连续变化，仅用**离散的电平或脉冲**表示信息



模拟通信：以**模拟信号**为载体传递信息，抗干扰能力弱，通信质量差

数字通信：以**数字信号**为载体传递信息，抗干扰能力强，通信质量高

模拟通信的场景：

- 1) 早期的电话系统
- 2) 广播系统（调频FM，调幅AM）
- 3) 简单的无线对讲设备

数字通信的场景：

- 1) 现代电话网络，VoIP
- 2) 数据通信：Internet、LAN、WAN
- 3) 移动通信
- 4) 数字电视

2、数字信号的编码

- 将二进制数据 (0/1) 转换为电信号进行传输
 1. 非归零编码
 2. 曼彻斯特编码
 3. 差分曼彻斯特编码

1) 非归零编码 (NRZ: Non Return to Zero)

——用两种相反极性电平表示数据，每位时间内电平保持不变

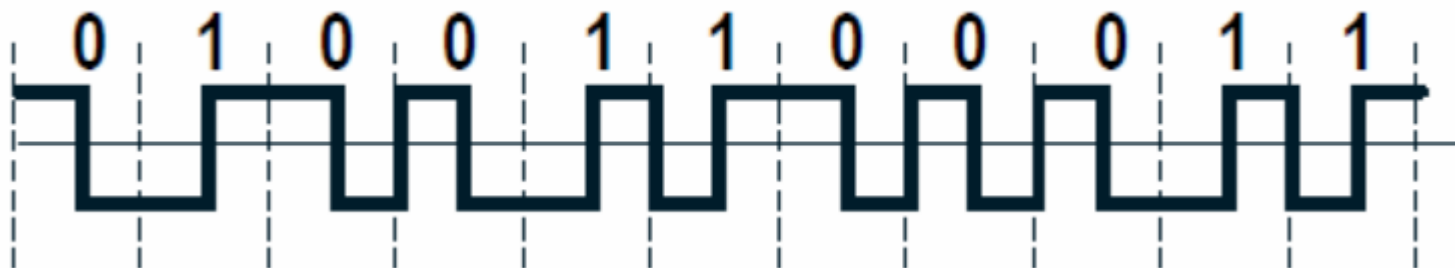


以高电平表示“0”，低电平表示“1”，反之亦然。

编解码简单，适合短距离、低速通信

2) 曼彻斯特编码 (Manchester Encoding)

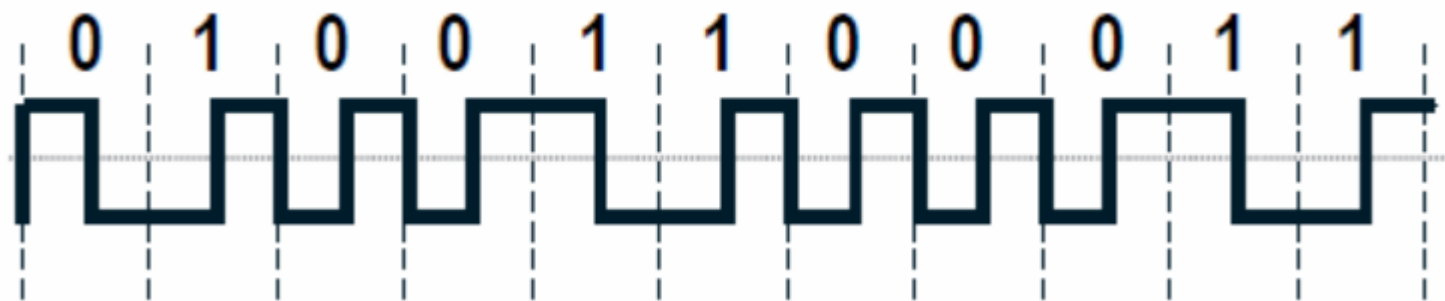
- ✓ 每一位中间有一次跳变，既表示数据，又作为同步信号
- ✓ 从高电平跳变到低电平表示 “1”，从低电平跳变到高电平表示 “0”，反之亦然



收发端同步容易，抗干扰能力强，应用短距离局域网

3) 差分曼彻斯特编码 (Differential Manchester Encoding)

- ✓ 每一位中间也有一次跳变，但这种跳变仅作为同步信号，不表示数据
- ✓ 数据值通过每位开始时无跳变来表示；有跳变表示 “0”，无跳变表示 “1”，反之亦然



收发端同步容易，抗干扰能力强，应用于局域网、工业控制总线

- 高效压缩编码

- ✓ 4B/5B

- ✓ 8B/10B

- ✓ **64B/66B**

——高速、超高速通信（快速以太网、千兆以太网、万兆以太网……）

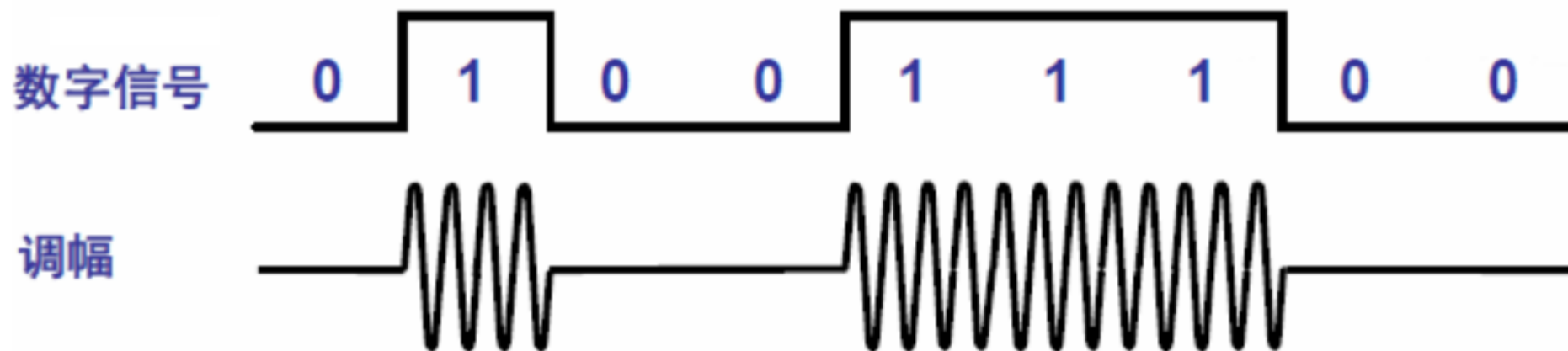
3、调制 (Modulation)

- ✓ 将低频信号搬移到高频载波（载波）上，减少传播损耗，提高传输距离
 - **调制**：按照低频信号的变化规律改变载波信号的某些参数（振幅、频率、相位）
 - **解调**：从载波中提取原始低频信号

调幅AM (Amplitude Modulation) : 原始信号为模拟信号 (如语音)

幅移键控ASK (Amplitude Shift Keying) : 原始信号为数字信号

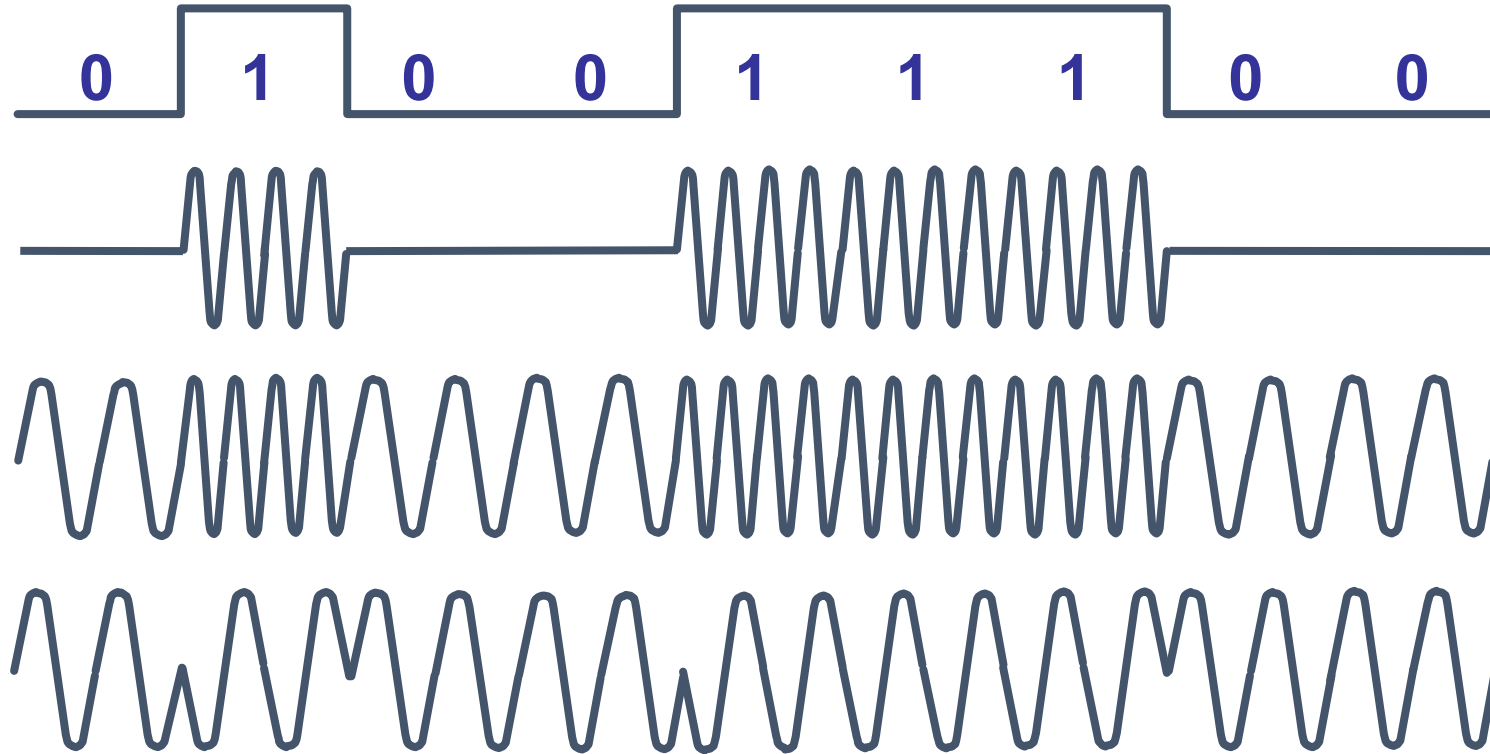
——保持载波的频率和相位不变, 用不同的载波幅度表示不同的数字信号



ASK

FSK

PSK



正交振幅调制（QAM: Quadrature Amplitude Modulation）

——**同时利用载波的幅度和相位**传递信息，通过将不同的幅度与相位组合定义为多个“符号”，每个符号对应多位二进制数据，从而在有限带宽内大幅提升传输速率。

4-QAM: 2个幅度，2个相位

——每个符号传输2个比特

4、模拟信号的编码

- 将模拟信号转换为数字信号（——模数转换）

——数字信号抗干扰强、易存储、易处理、易传输

脉码调制PCM（PCM：Pulse Code Modulation）：采样、量化、编码

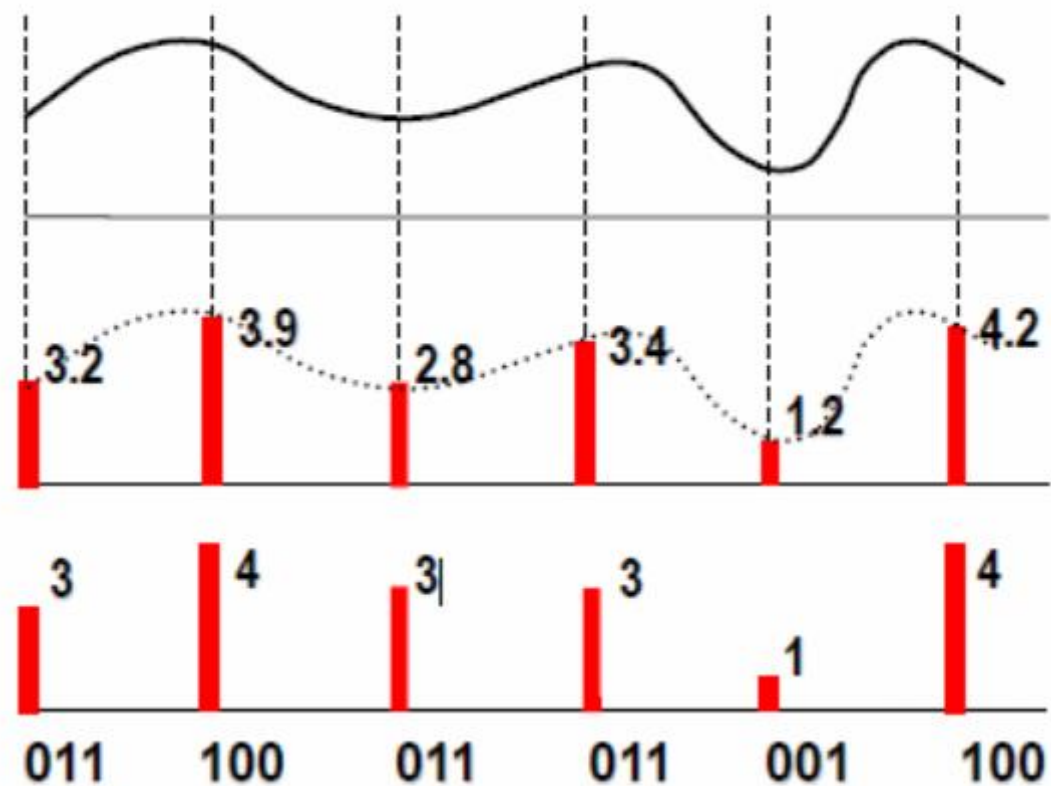
语音信号

采样

量化

编码

PCM 输出



011 100 011 011 001 100

5、信道带宽与数据传输率

信道带宽：信道允许传输信号的频率范围（最高频率与最低频率之差）——HZ

——信道带宽：衡量信道传输能力的关键参数，直接影响**信道容量（最大数据传输率）**

奈奎斯特定理（Nyquist Theorem）

香农定理（Shannon's Theorem）

奈奎斯特定理

理想信道下的最大数据传输率（假设信道中不存在任何噪声干扰）

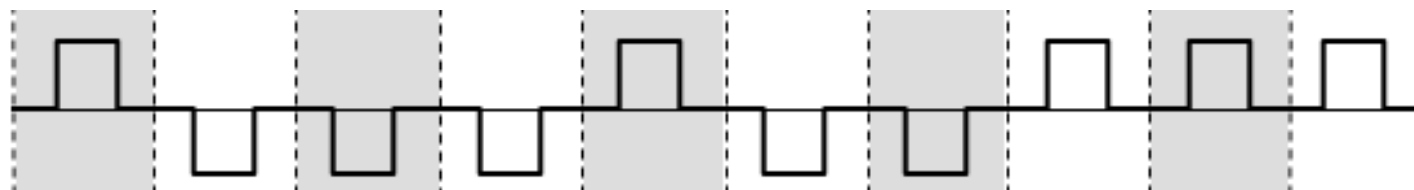
$$C=2H \log_2 L \quad (\text{bps})$$

C：最大数据传输率

H：带宽

L：码元的离散状态数

码元 (Symbol) : 数字信号在传输过程中用来表示信息的基本单元。码元可以是一个电压脉冲、一个光脉冲等，用于携带数字信息



码元的离散状态数 L : 2

每种码元携带1比特数据

码元的离散状态数 L : 4

每种码元携带? 比特数据

例：理想信道 $H=4000\text{HZ}$, $L=8$

计算信道的容量

香农定理

实际信道：存在噪声干扰

在给定带宽和信噪比的条件下，信道的最大数据传输速率C

$$C = H \log_2(1 + S/N) \quad (\text{bps})$$

S/N：信噪比

S：信号功率、N：噪声功率

例： $H=4000\text{Hz}$, $S/N=1023$, $L=8$; 求 C 。

$$C=2H \log_2 L = 2 \times 4000 \log_2 8 = 24000 \text{ (bps)}$$

$$\begin{aligned} C &= H \log_2(1+S/N) = 4000 \log_2(1+1023) \\ &= 40000 \text{bps} \end{aligned}$$

传输介质

数字通信：数字信号

模拟通信：模拟信号

0, 1bit——数字信号（电平信号）：数字信号的编码

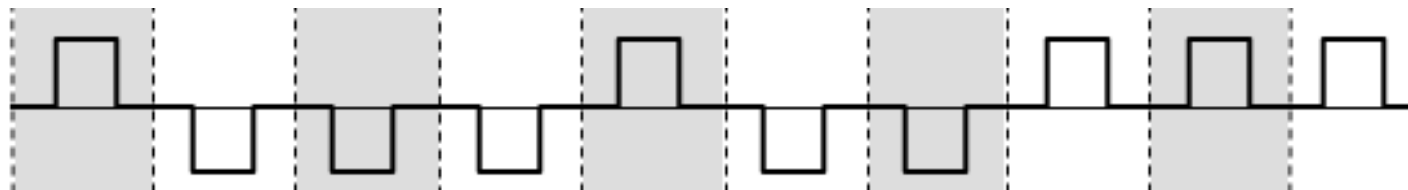
数字信号，模拟信号——载波：调制

模拟信号——数字信号：PCM

衡量信道的传输能力（信道容量）：信道带宽（HZ）

两个定理：奈奎斯特定理， $C = 2H$ ， L （码元的离散状态数）

香农定理： $C = H \log_2 S/N$



码元：携带数据的信号单元

波特率（码元速率）：主机（设备）每秒传输码元的数目，单位波特（baud）

数据传输率：

$$C=B\log_2L$$

$$C = H \log_2(1 + S/N) \quad (\text{bps})$$

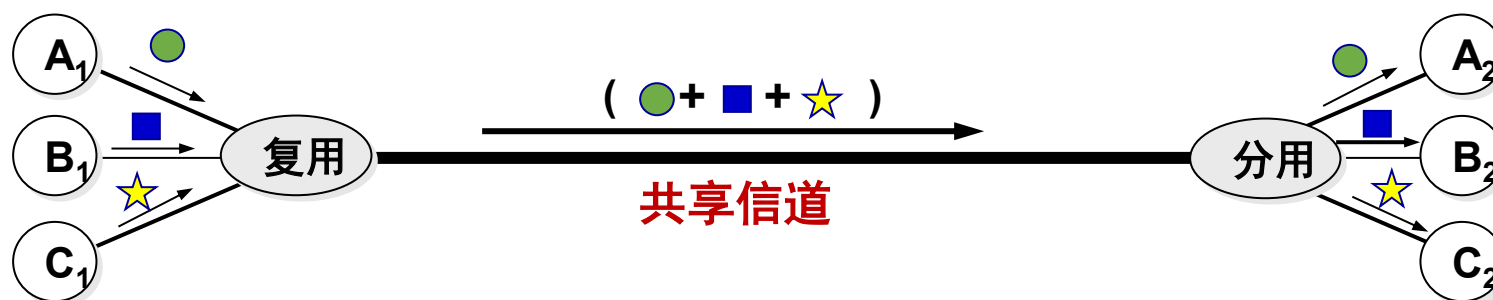
$$\text{分贝(dB)} = 10 \log_{10}(S/N)$$

第二章 物理层

- ✓ 传输介质
- ✓ 数据通信基础
- ✓ 多路复用
- ✓ 接入网技术
- ✓ 物理层协议

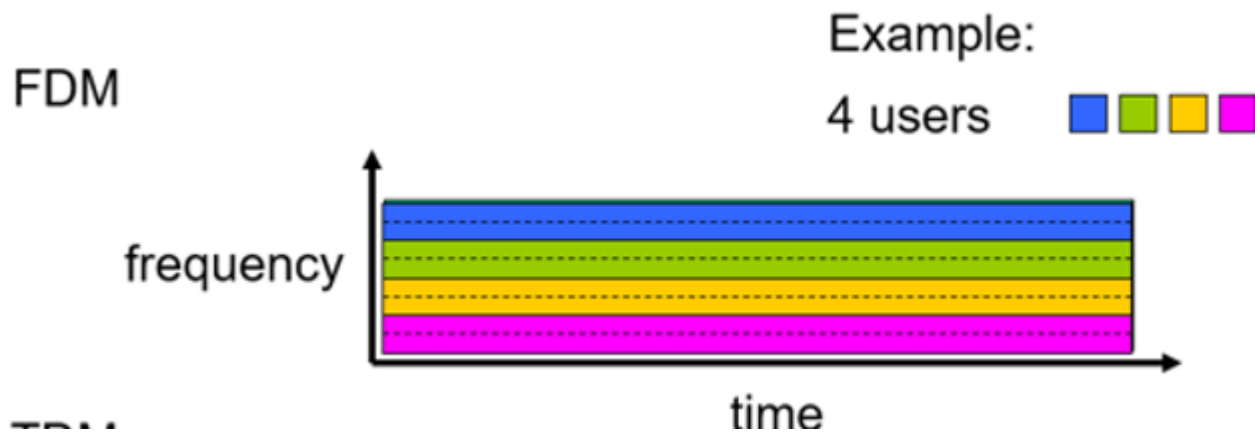
多路复用

多路复用 (Multiplexing)：允许多个信号共享同一物理信道，从而提高信道的利用率和通信效率



1) 频分多路复用 (FDM: Frequency-Division Multiplexing)

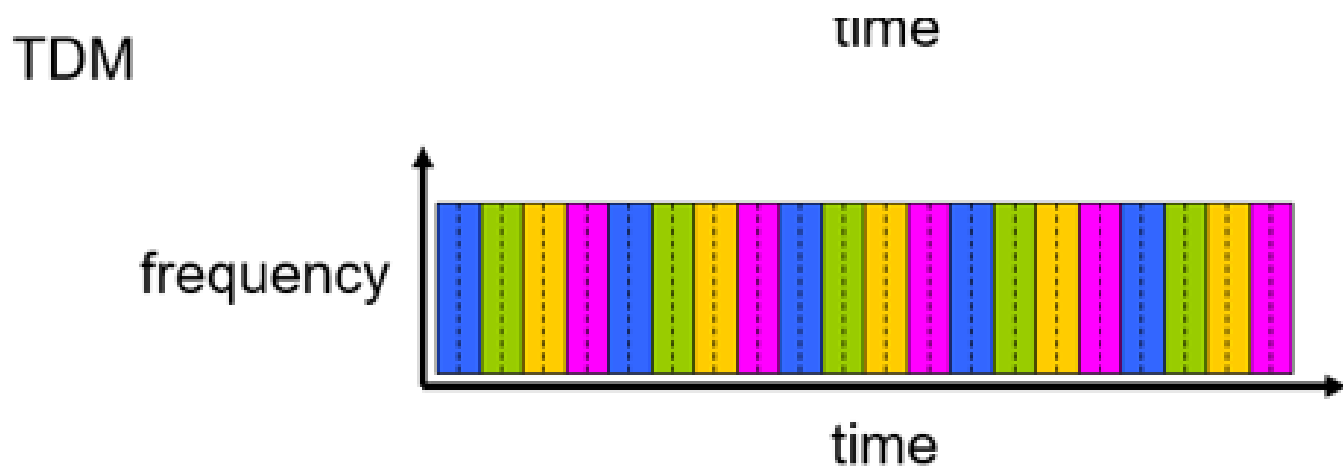
将物理信道的带宽划分为多个独立的子频段，每个子频段传输一个独立信号



数字信号：调制到不同频段的载波上

2) 时分多路复用 (TDM: Time-Division Multiplexing)

时间划分为固定的时隙，每个信号在各自的时隙内传输



链路速率为1.536 Mbps，使用时隙数为24的TDM，每个用户的传输速率？

3) 波分多路复用 (WDM: Wave-Division Multiplexing)

——光的频分复用，使用一根光纤同时传输多路光信号

4) 码分多路复用 (CDM: Code-Division Multiplexing)

——每个节点分配一种不同的编码，相互之间不干扰，广泛用于无线通信领域

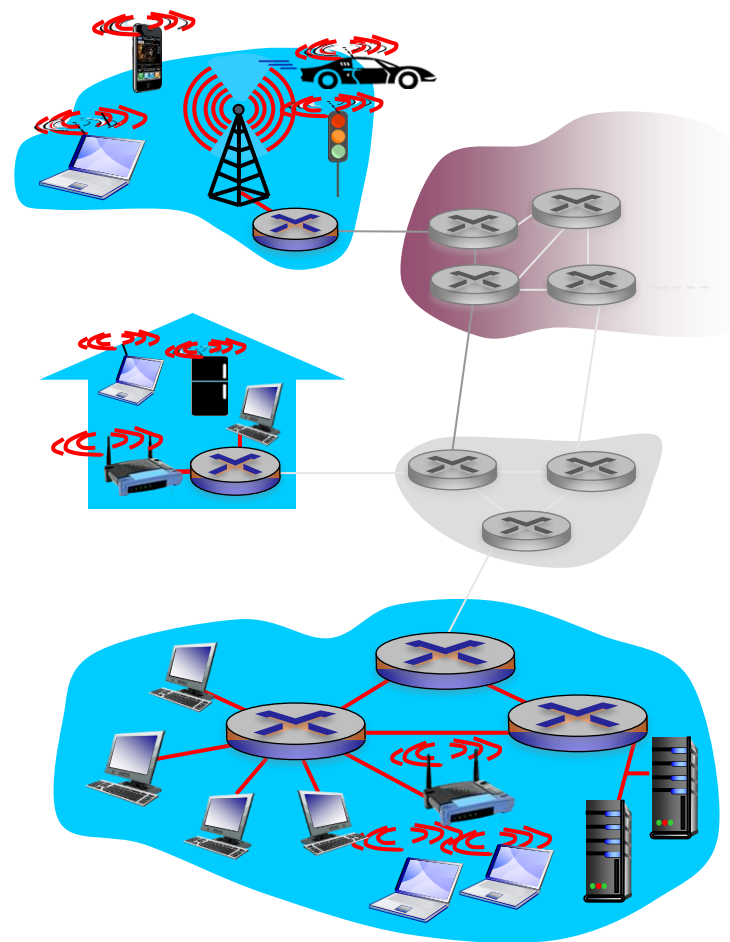
第二章 物理层

- ✓ 传输介质
- ✓ 数据通信基础
- ✓ 多路复用
- ✓ 接入网技术
- ✓ 物理层协议

4、接入网技术

如何将端系统和边缘路由器连接？

- ✓ 住宅接入网络
- ✓ 单位接入网络（学校、公司）
- ✓ 无线接入网络



住宅接入

- 1) 发展经历了多个阶段，从拨号上网到光纤到户，技术不断演进，速度和稳定性大幅提升
 - ✓ 拨号上网： 20世纪90年代 - 21世纪初
 - ✓ DSL（数字用户线）： 21世纪初 - 2010年代初

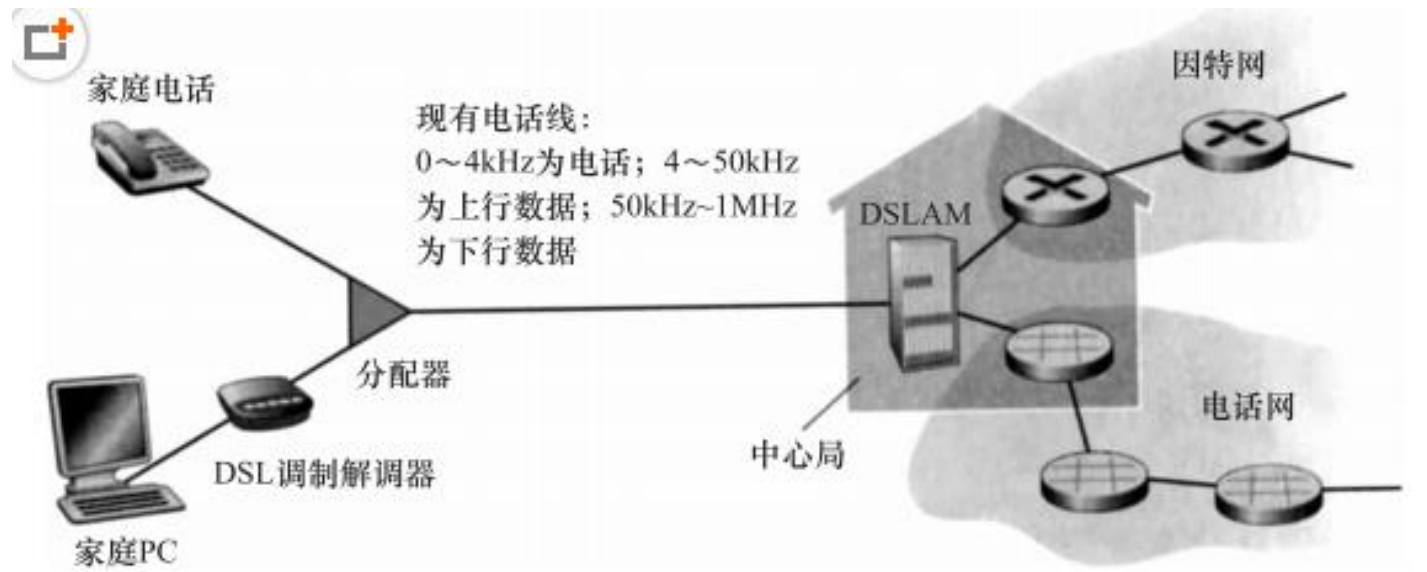
1) 拨号上网：通过电话网络接入

——56Kbps 的速率 (通常更低), 不能同时上网和打电话



56Kbps 的速率 (通常更低), 不能同时上网和打电话

2) Digital Subscriber Line (DSL: 数字用户线)



< 2.5 Mbps上行传输速率(typically < 1 Mbps)

< 24 Mbps下行传输速率(typically < 10 Mbps)

住宅接入

1) 发展经历了多个阶段，从拨号上网到光纤到户，技术不断演进，速度和稳定性大幅提升

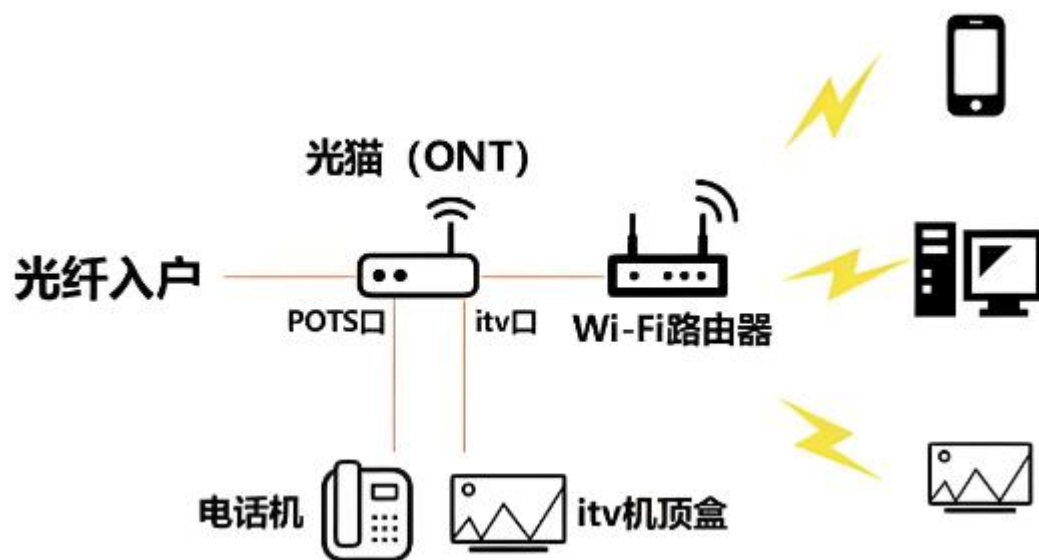
- ✓ 拨号上网：20世纪90年代 - 21世纪初
- ✓ DSL（数字用户线）：21世纪初 - 2010年代初
- ✓ HFC（混合光纤同轴电缆）：2000年代 - 2010年代
- ✓ FTTB/FTTC（光纤到楼/光纤到路边）：2010年代初 - 2010年代末
- ✓ FTTH（光纤到户）阶段：2010年代末 - 至今
- ✓ 下一代光纤接入（10G PON（无源光网络）及以上）：2020年代 - 至今

3) FTTB/FTTC (光纤到楼/光纤到路边)

光纤铺设到楼栋或路边，再通过铜缆（如网线）连接到用户家中

4) FTTH (光纤到户)

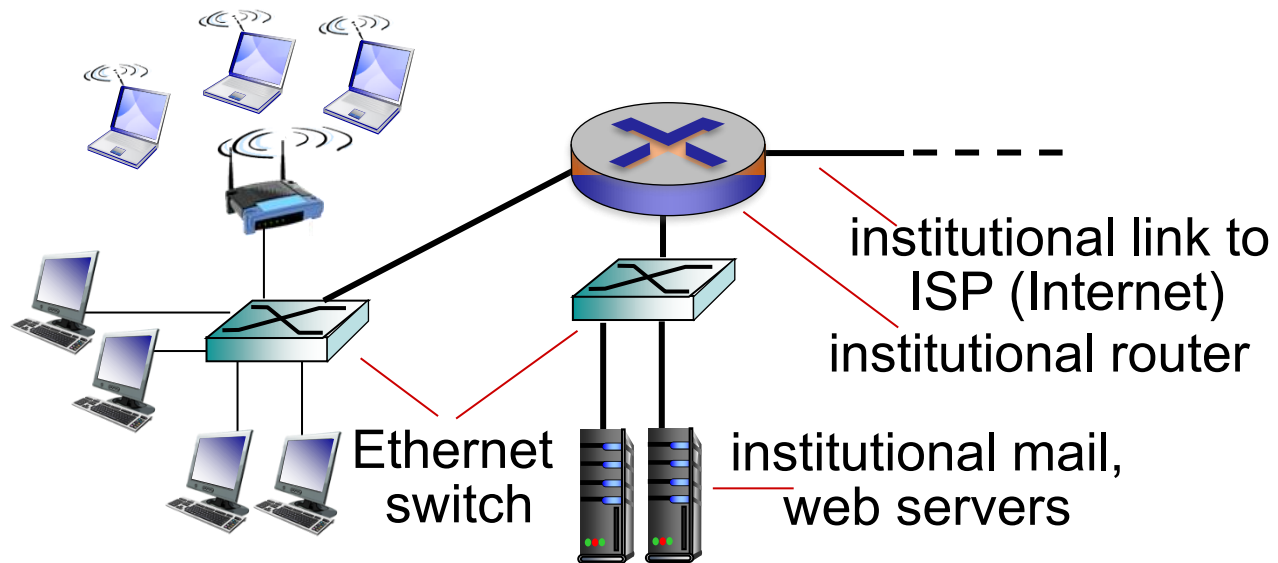
光纤直接铺设到用户家中



单位接入网络（学校、公司）LAN（第4章）

被企业或者大学等机构采用

- 10 Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps传输率
- 端系统直接接到以太网交换机上

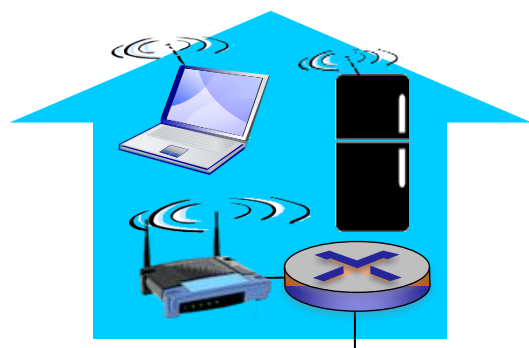


无线接入网络

端系统共享无线接入

调制：将数据调制到无线电波上

基站/接入点：解调，将数据从无线电波中提取出来



to Internet

无线LANs：建筑物内、家庭网络

802.11b/g (WiFi)



to Internet

移动通信：由电信运营商提供 3G

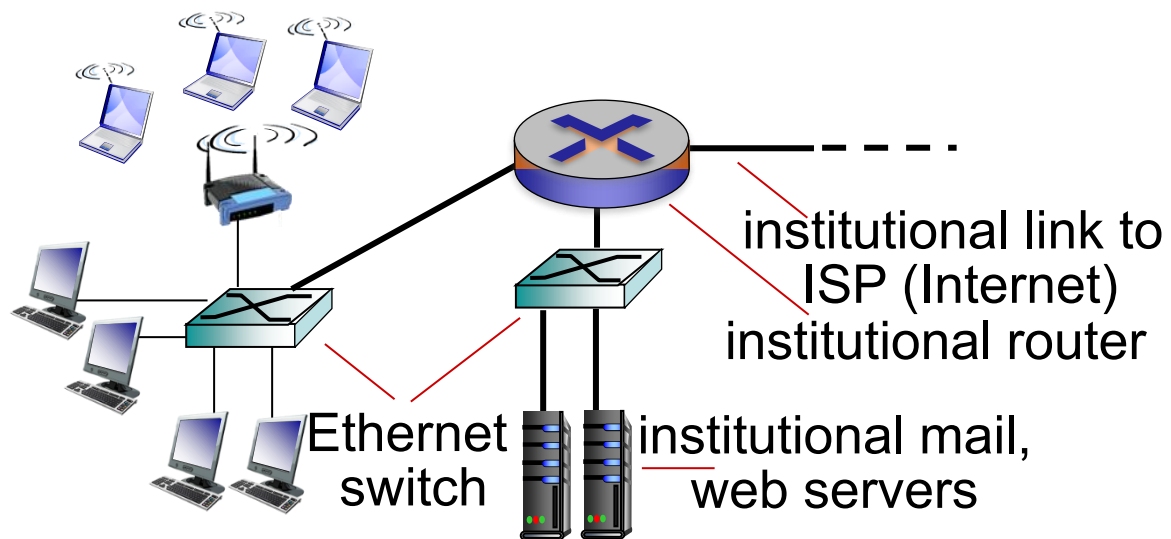
(CDMA) , 4G, 5G....

第二章 物理层

- ✓ 传输介质
- ✓ 数据通信基础
- ✓ 多路复用
- ✓ 接入网技术
- ✓ 物理层协议

物理层协议

□ 制定与传输介质接口的一些特性



传输介质：双绞线（UTP）、光纤

- **IEEE 802.3系列标准（以太网的物理层协议）**

传输介质：双绞线（UTP）

编码：曼彻斯特编码(4B/5B编码.....)

接口标准：RJ45接口（头、插槽）

传输速率：10Mbps、100Mbps、1Gbps、10Gbps....



- ✓ **机械特性**：接口的插头（座）的规格（尺寸、引脚）
- ✓ **电气特性**：传输速率、电平、负载和电缆长度
- ✓ **功能特性**：接口的信号线作用
- ✓ **过程特性**：各信号线之间的关系，动作发生的先后次序

无线通信物理层协议

Wi-Fi (IEEE 802.11标准) :

- 无线局域网 (WLAN) 的调制方式 (如QPSK、16-QAM等)
- 频段 (2.4GHz、5GHz)
- 信道划分和传输速率 (从Mbps到数Gbps)