

计算机网络

第六章 物理层

谢瑞桃

xie@szu.edu.cn

[rtxie.github.io](https://github.com/rtxie)

计算机与软件学院
深圳大学

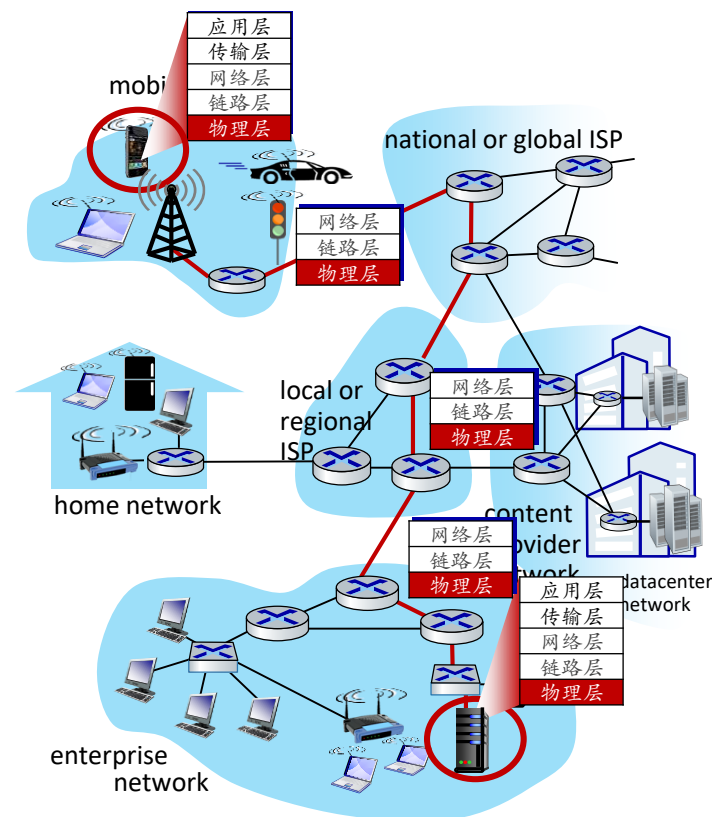


第六章讲解内容

1. 物理层概述/服务
2. 带宽
3. Nyquist定理和Shannon定理
4. 双绞线与光纤

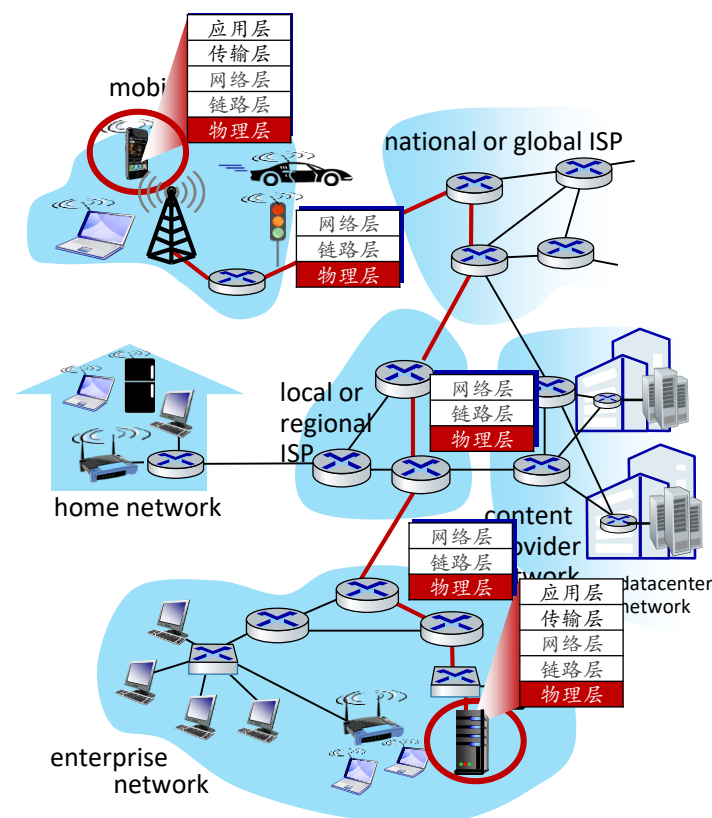
物理层概述

- 所有网络的基础
- 服务：在一条链路上传输**比特流**



物理层概述

- 核心问题：用模拟信号发送数字比特
- 物理信道（电线，光纤，无线电）的物理属性限制了上层网络的传输能力





物理层

- 介质：电线wires，光纤fiber，无线电
- 信号传播：衰减，噪声，带宽
- 调制：如何将比特表达成电压信号
- 速率限制：Nyquist，Shannon



第六章知识点汇总

- 了解物理层服务

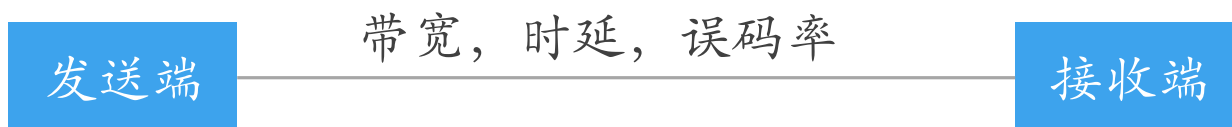


第六章讲解内容

1. 物理层概述/服务
2. 带宽
3. Nyquist定理和Shannon定理
4. 双绞线与光纤



链路的抽象模型



- 带宽 (bits/sec)
- 时延 (delay) : 一比特从发送端传到接收端所需的时间
- 误码率 (bit error rate) : 一比特发生错误的概率

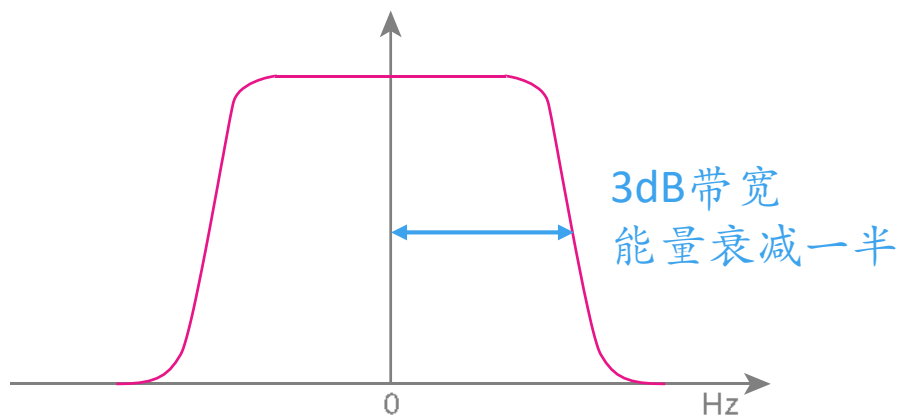


电线上的信号传播

- 信号传播速率有限，大约为 $2/3$ 光速
- 信号会衰减
- 截止频率以上的频率能量大幅降低
- 噪声混入了信号

信道的带宽

- 信号的截止频率 (Hz) (EE领域)
- 低于该截止频率的信号，传输时不会发生剧烈衰减



- 对于数据传输，是最大数据速率 (bits/sec) (CS领域)

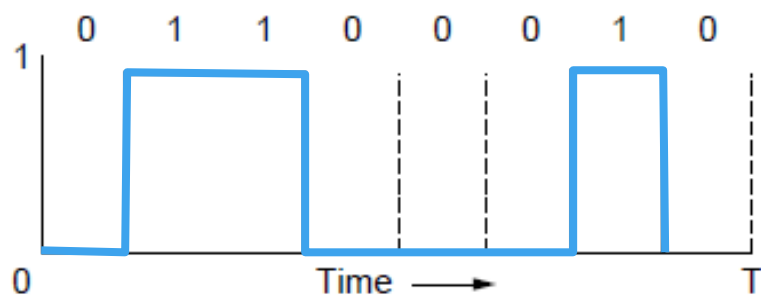
傅里叶变换

- 一个时变周期信号可以被表示为一系列谐波的和

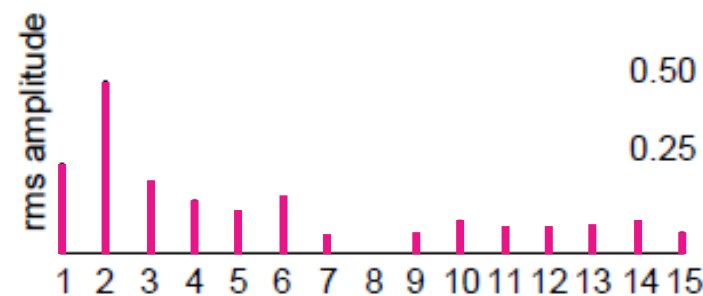
$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$



Jean-Baptiste Joseph Fourier
1768~1830



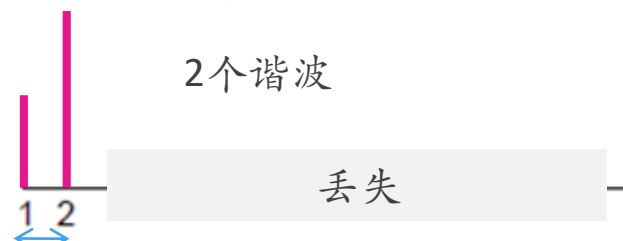
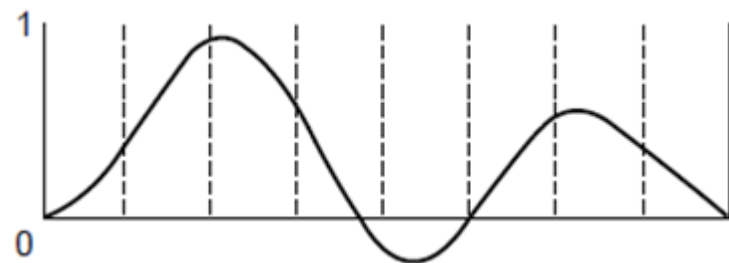
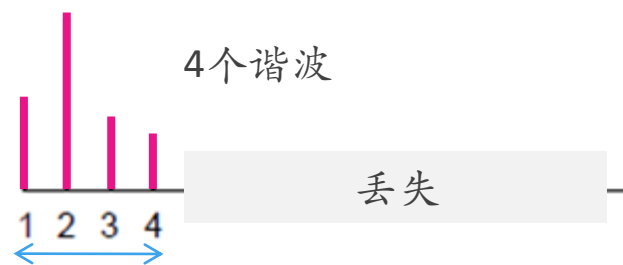
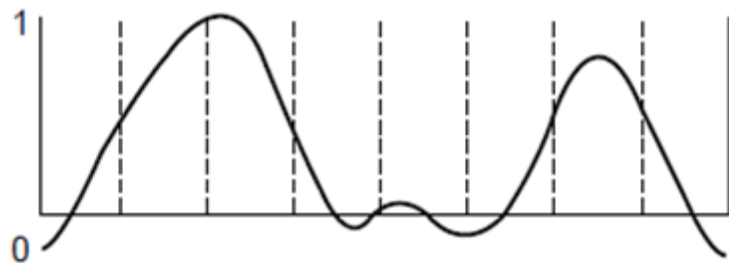
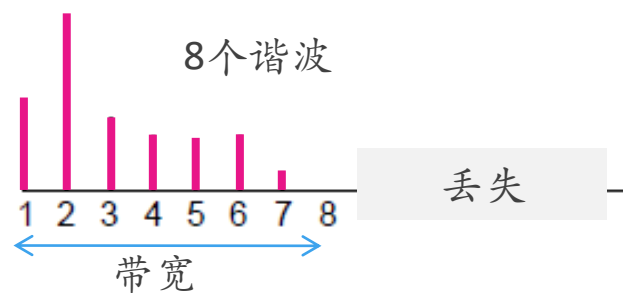
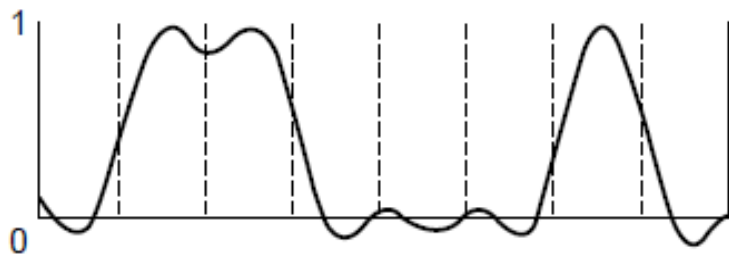
时域信号



频域信号

带宽——截止频率

- 会引起信号的部分频率信息丢失，使得波形畸变





第六章知识点汇总

- 理解信道带宽（截止频率）对信号传输的影响



第六章讲解内容

1. 物理层概述/服务
2. 带宽
3. Nyquist定理和Shannon定理
4. 双绞线与光纤

Nyquist采样率

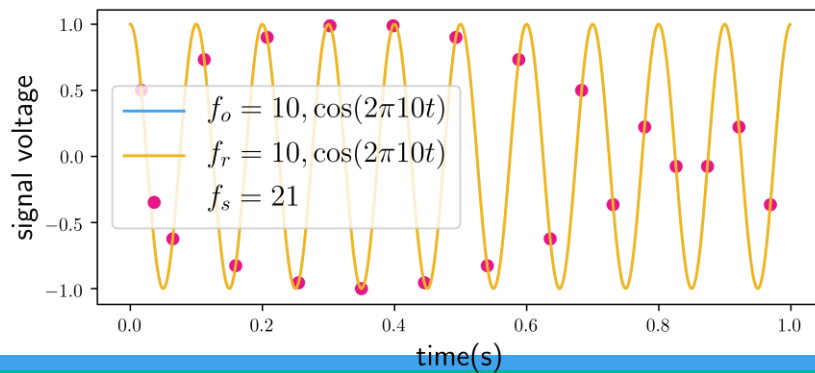
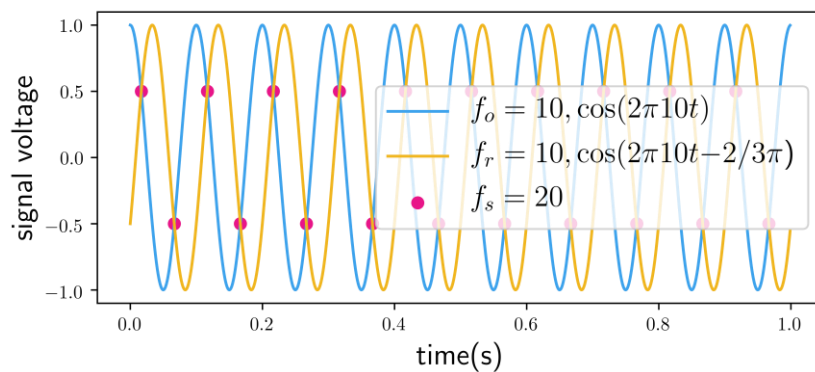
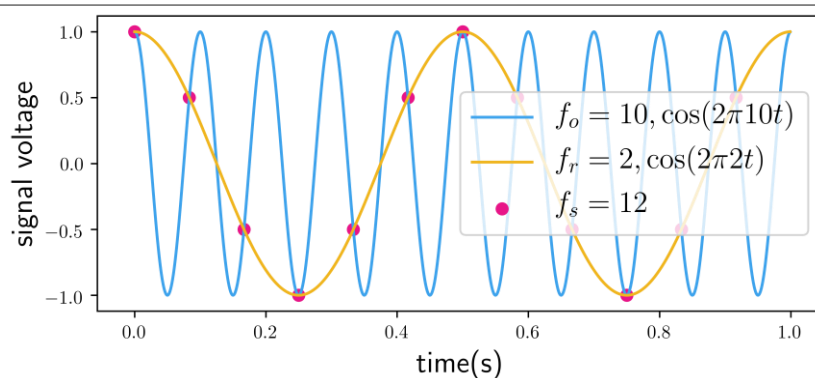
- 对信号采样之后，能否原样恢复出原信号？
- 由采样率决定
- 只要采样率 $>$ 信号最高频率的**两倍**
- **注意是严格大于**



Harry Nyquist
1889~1976

Nyquist 采样率

- $f_s < 2f_o$
 - 采样率 f_s
 - 信号最大频率 f_o
 - 无法恢复原信号的频率
- $f_s = 2f_o$
 - 无法恢复原信号的相位
- $f_s > 2f_o$
 - 完美恢复





信道的最大数据速率—Nyquist

$$\text{Max. data rate} = 2B \log_2 V \text{ bits/sec}$$

带宽

信号中电平的
个数



信道的最大数据速率—Nyquist

$$\text{Max. data rate} = 2B \log_2 V \text{ bits/sec}$$

- 任何信号通过带宽为B的信道，信号的最高频率 $< B$
- 对于这样的信号，采样率 $= 2B$ 就足够恢复原信号了

$$\text{symbols/sec} * \text{bits/symbol} = \text{bits/sec}$$

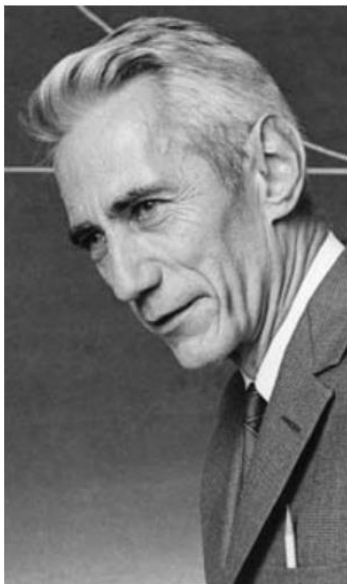


Nyquist 容量： 举例

- 电话线 3 kHz 信道
- 2 电平信号，最大速率 = 6 kbps
- 4 电平信号，最大速率 = 12 kbps
- 16 电平信号，最大速率 = 48 kbps

信道的最大数据速率—Shannon

$$\text{Max. data rate} = B \log_2(1 + S/N) \text{ bits/sec}$$



MIT Museum

Claude Shannon
(1916–2001)

带宽

信噪比，信号
功率与噪声功
率的比值



Shannon容量：举例

- 链路带宽 = 1 MHz
- 信噪比 = 40 dB ($10 \log_{10} S/N$ dB)
- 最大数据速率
- $= B \log_2(1+S/N) = 10^6 * \log_2(1+10^4) = 13.3$ Mbps
- 这是最早ADSL技术（通过电话线上网）的极限速率，实际技术能达到12Mbps

$$40 = 10 \log_{10} \frac{S}{N}$$
$$\Rightarrow \frac{S}{N} = 10^4$$



Nyquist vs Shannon

- Nyquist

- 无噪信道
- 取决于表示一个符号所需的信号电平数

- Shannon

- 有噪信道
- 取决于信噪比



第六章知识点汇总

- 理解带宽作为最大数据速率的含义
- 理解无噪信道的Nyquist极限
- 理解有噪信道的Shannon容量



第六章讲解内容

1. 物理层概述/服务
2. 带宽
3. Nyquist定理和Shannon定理
4. 双绞线与光纤

有线传输介质

传输介质	传输速率	距离	安全
光纤 	10 Gbps, 40 Gbps, 100 Gbps	~10s km	很难窃听
双绞线 	100Mbps, 1 Gbps	~100 m	容易窃听



双绞线

- Cat 3: Home telephone lines
- Cat 5: Fast Ethernet (100 Mbps)
- Cat 5e: Gigabit Ethernet (1 Gbps)
- Cat 6: 10-Gigabit Ethernet (10 Gbps) up to 100 m



第六章知识点汇总

- 了解双绞线与光纤的特征

If you shut your door to all errors truth will be shut out.

如果你把所有的错误都关在门外，
真理也要被关在门外了。

——*Tagore*