



北京邮电大学

计算机网络

第七章 物理层 Physical Layer

计算机学院

2019年1月

主要内容

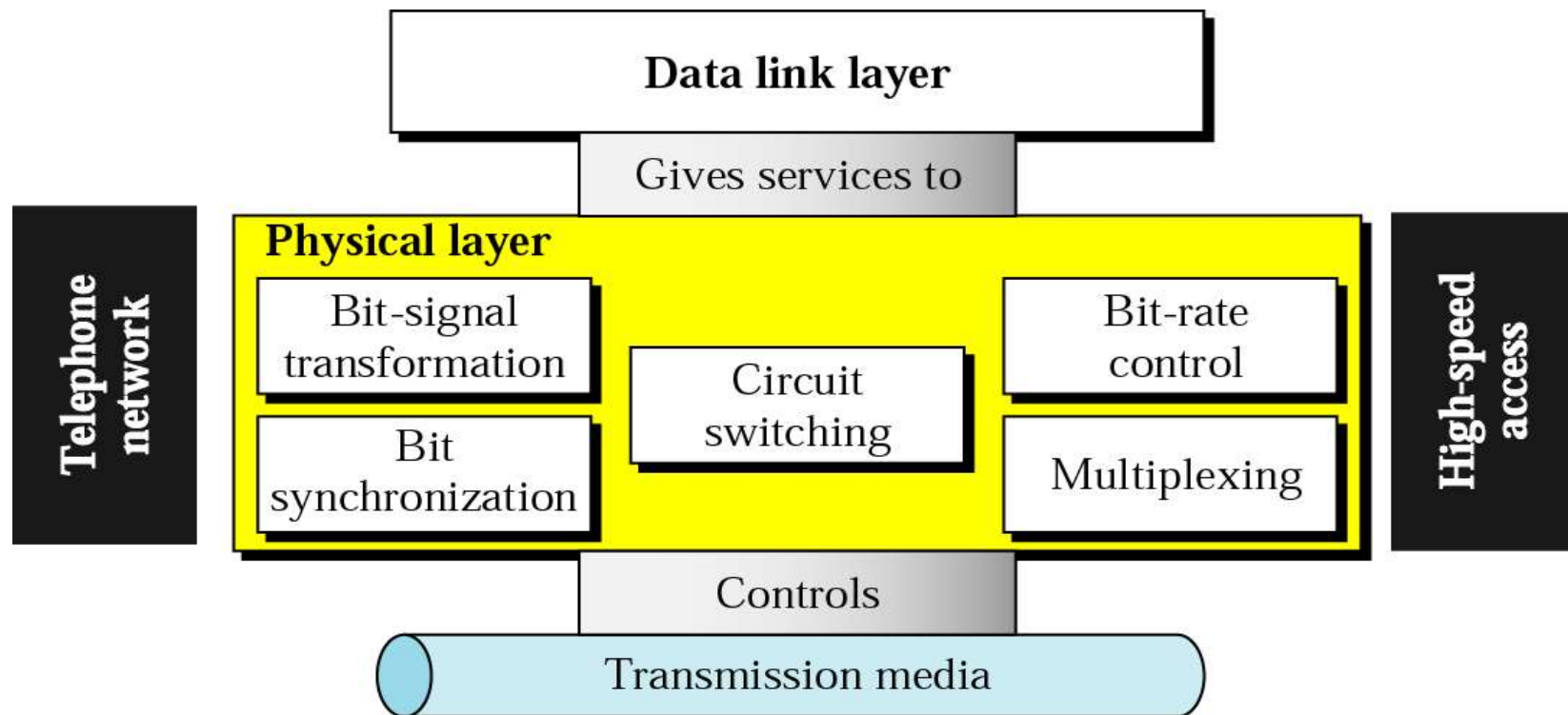
- ◆ 7.1 物理层概述
- ◆ 7.2 数据通信的基础知识
- ◆ 7.3 传输介质
- ◆ 7.4 调制技术和编码技术
- ◆ 7.5 复用技术
- ◆ 7.6 物理层互连设备
- ◆ 7.7 物理层的安全隐患

教学内容及要求

- ◆ 掌握物理层的功能和主要概念
- ◆ 掌握数据通信的基本概念和理论基础：
 - Nyquist公式和Shannon公式
- ◆ 掌握常用的调制、编码和复用的方法要点
- ◆ 了解HUB的功能
- ◆ 了解物理层的安全隐患

物理层的位置和基本功能

- ◆ 网络体系结构的最底层，实现真正的数据传输
- ◆ 将二进制数据编码或调制成信号，发送到传输介质(传输媒体)；
- ◆ 从传输介质接收信号，转换成二进制数据

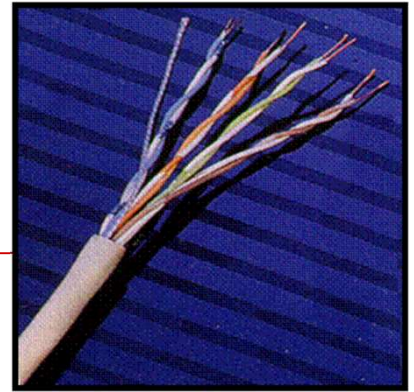


物理层的主要功能

◆ 规定了与传输介质的接口的特性

- 机械特性：规定接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列等
- 电气特性：规定在接口电缆的各条线上的电压范围
- 功能特性：规定接口电缆的某条线出现某一电平的含义
- 规程特性：规定各种可能事件的出现顺序

物理层协议示例



◆ IEEE802.3, 10BaseT

- 数据率10Mbps, 传输介质为双绞线, 拓扑结构为星形

◆ 物理接口的特性

- 机械特性: RJ45接口

- 电气特性:

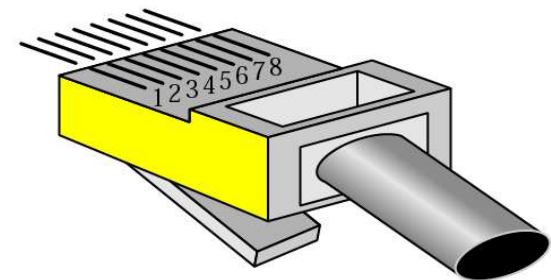
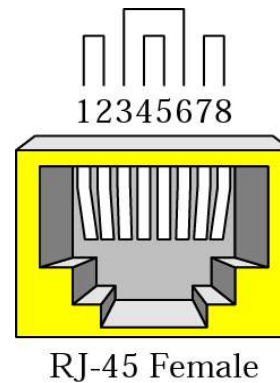
- ☐ Manchester编码

- ☐ 电平: 2.5v, -2.5v

- 功能特性:

- ☐ 一对线发送 (1,2针)、一对线接收 (3,6针)

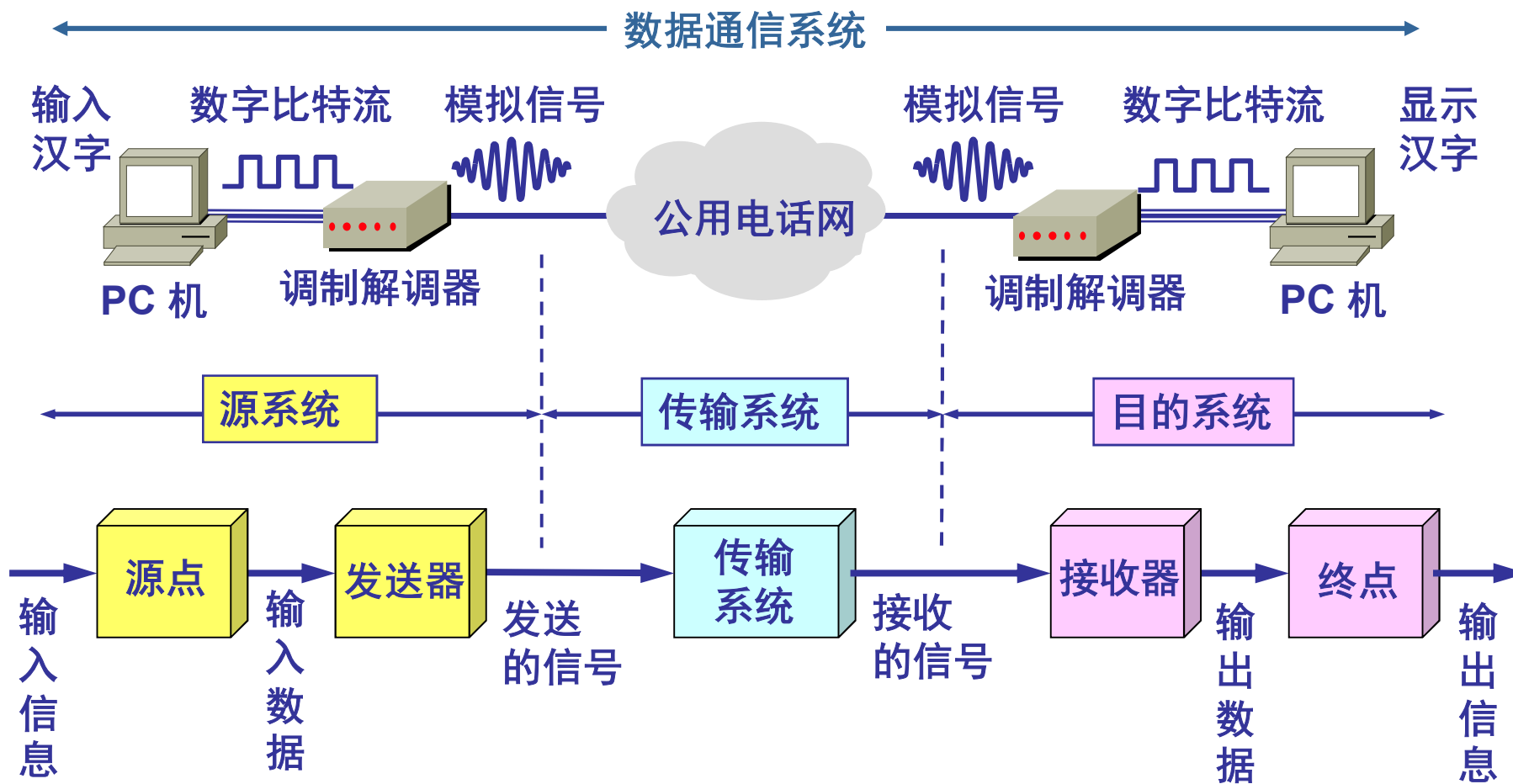
- ☐ 全双工通信



主要内容

- ◆ 7.1 物理层概述
- ◆ 7.2 数据通信的基础知识
- ◆ 7.3 传输介质
- ◆ 7.4 调制技术和编码技术
- ◆ 7.5 复用技术
- ◆ 7.6 物理层互连设备
- ◆ 7.7 物理层的安全隐患

数据通信系统的模型



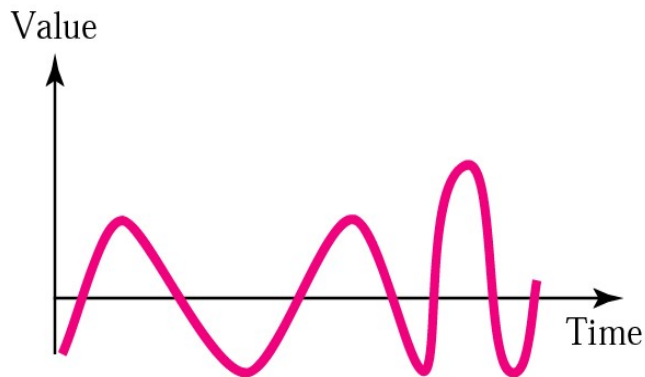
数据通信的基本概念

◆ 信息、数据与信号

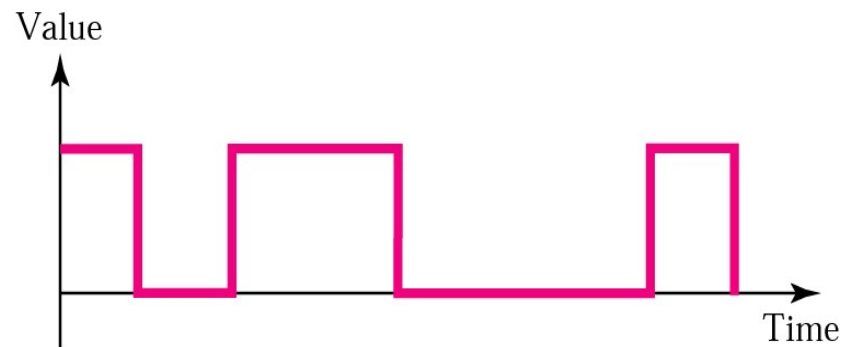
- 信息：人类知识的表征，通信的目的就是传输信息。信息的载体包括数字、文字、语音、图形或图像。
- 数据：承载信息的实体，以二进制的形式在计算机系统中处理。
- 信号：数据的电平或电磁波形式表示，在传输介质上传播。
- 码元：基本信号单位
 - 码元的速率称为波特率(Baud)

模拟信号与数字信号

- ◆ 模拟信号(Analog Signal): 信号的幅度随时间连续变化。
- ◆ 数字信号(Digital Signal): 离散的电平值



a. Analog signal



b. Digital signal

信道：信号的通道

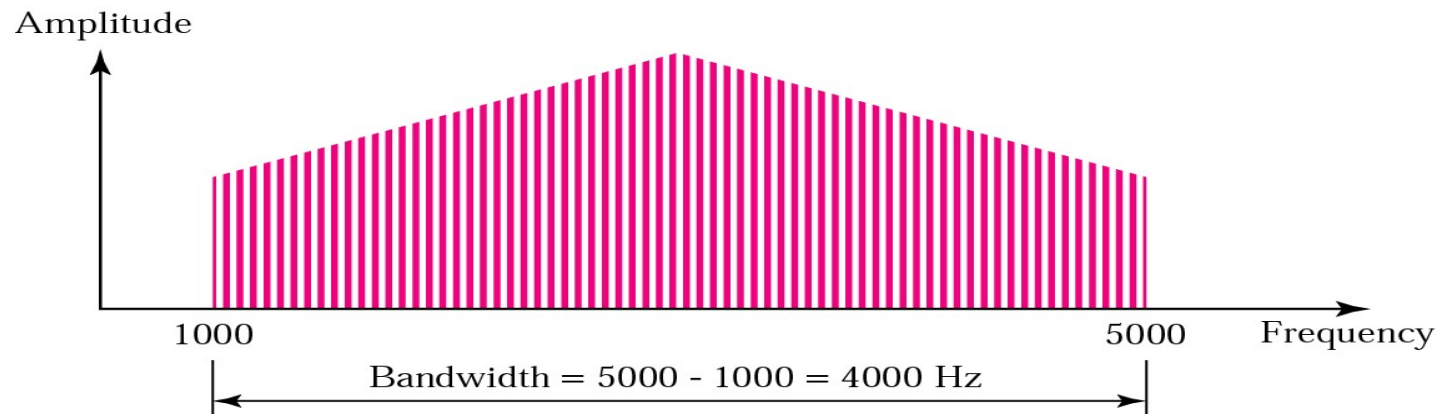
- ◆ 狭义的信道指的是连接两个设备之间的传输介质，即物理链路
- ◆ 广义的信道指的是信号传输的整个路径，中间可能经过多个设备，如因特网上位于不同城市的两台计算机之间的通路
- ◆ 模拟信道以连续的电磁波形式来传输数据；
数字信道以离散的数字脉冲形式传输数据

模拟通信与数字通信

- ◆ 模拟通信：信道中传输的是模拟信号，如有线电视系统中的通信
 - 信道利用率高，但传输质量差
- ◆ 数字通信：信道中传输的是数字信号，如因特网上的通信
 - 衰减低，抗干扰性强
 - 信道利用率较低
- ◆ 模拟信道上传输的不一定是模拟数据，反之亦然

数据率与带宽

- ◆ 带宽：信道传输电磁波信号的频率范围（可通过的最高频率 - 最低频率），单位：Hz
- ◆ 数据率：信道的最大传输速率，单位：bps



数据率与带宽有关！

最大数据率（信道容量）公式

- ◆ 奈奎斯特（Nyquist）公式：用于无噪声信道

$$C = 2 \times B \times \log_2 L$$

- C：最大数据率，B：带宽，L：信号级数

- ◆ 香农（Shannon）公式：用于噪声信道

$$C = B \times \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

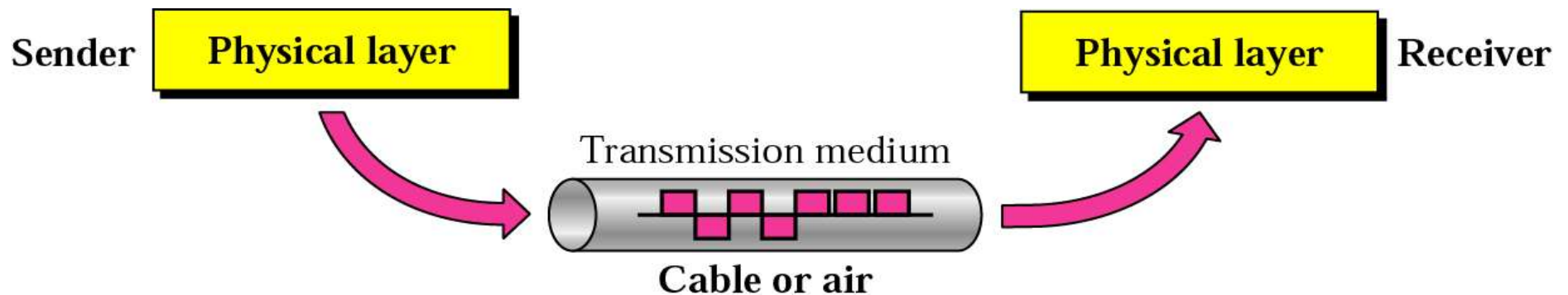
- S/N：信噪比
- 单位为分贝，dB值=10×lg(S/N)

主要内容

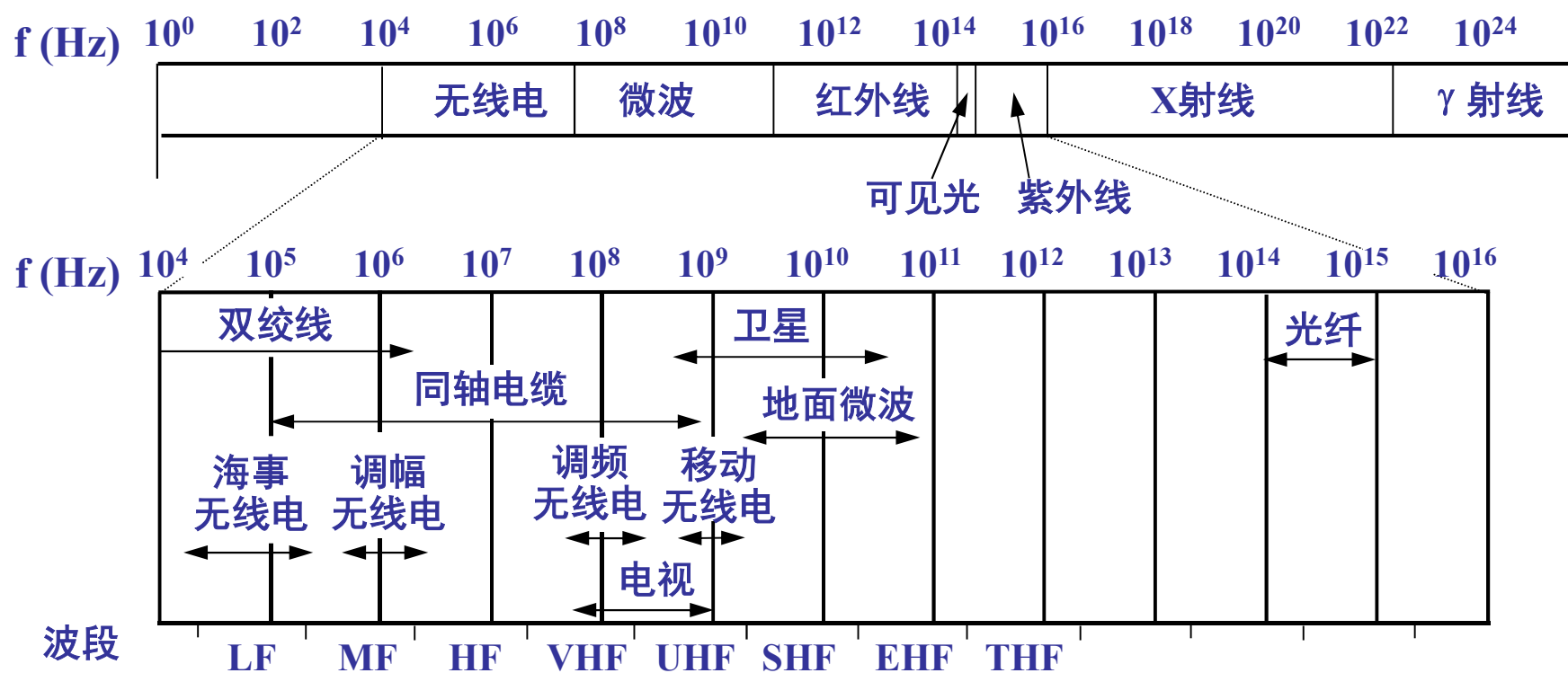
- ◆ 7.1 物理层概述
- ◆ 7.2 数据通信的基础知识
- ◆ 7.3 传输介质
- ◆ 7.4 调制技术和编码技术
- ◆ 7.5 复用技术
- ◆ 7.6 物理层互连设备
- ◆ 7.7 物理层的安全隐患

传输介质及分类

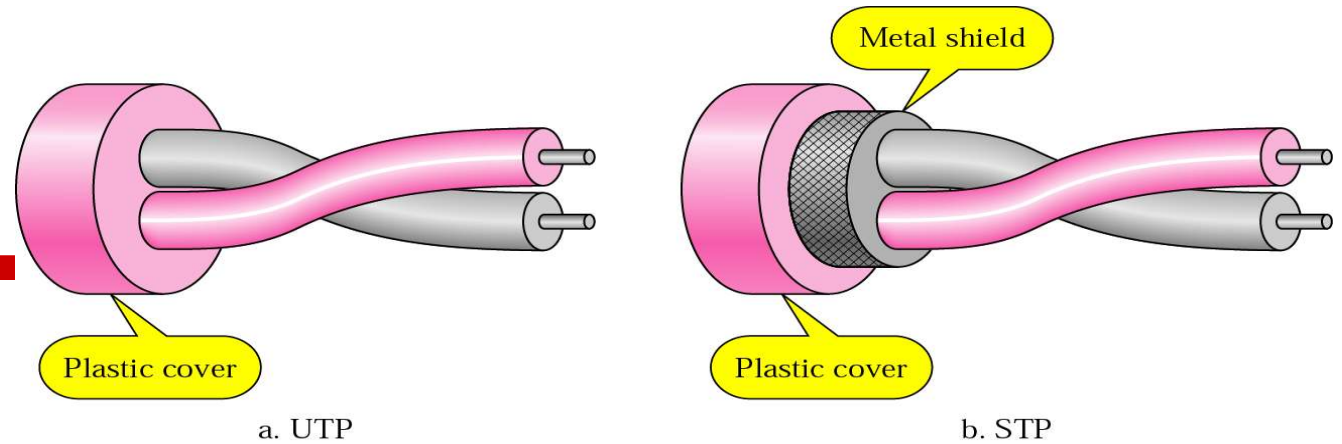
- ◆ 也称为传输媒体
- ◆ 有线介质
 - 双绞线、同轴电缆、光纤
- ◆ 无线介质
 - 无线电（RF）、微波、卫星



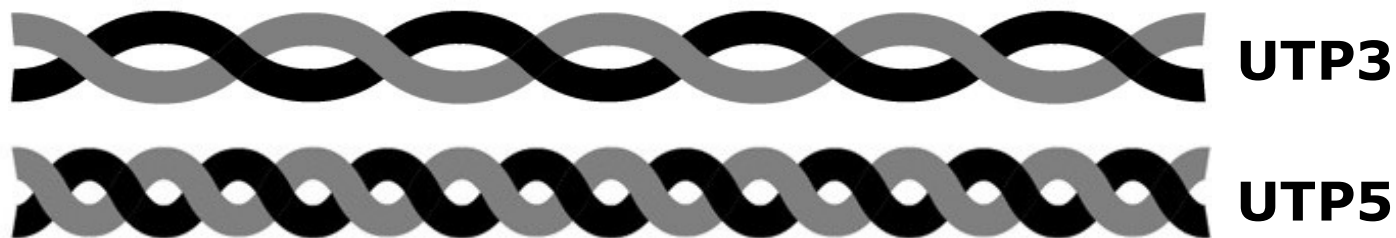
电磁波的频谱



双绞线



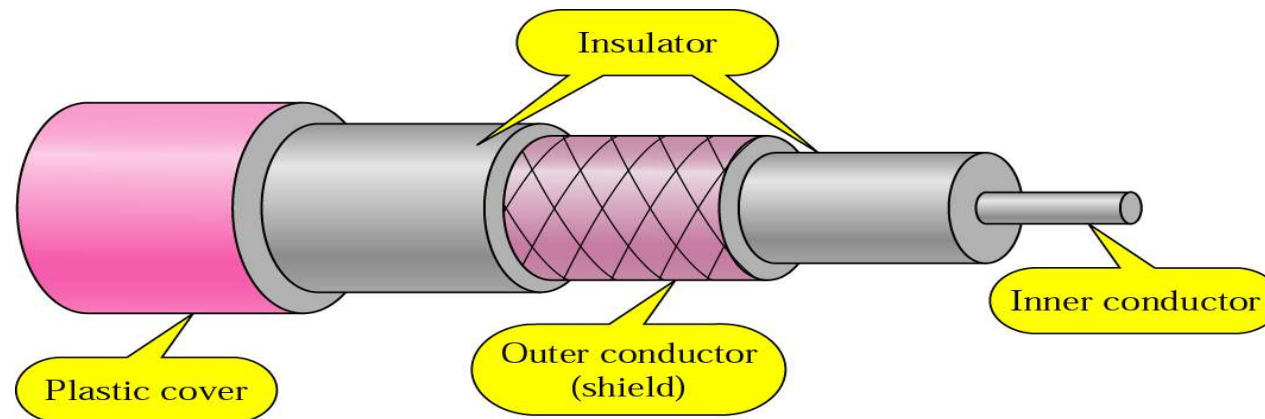
- ◆ 两根互相绝缘的铜线互相缠绕构成
- ◆ 可传输模拟信号和数字信号
- ◆ 主要应用
 - 固定电话的用户线
 - 计算机的网线



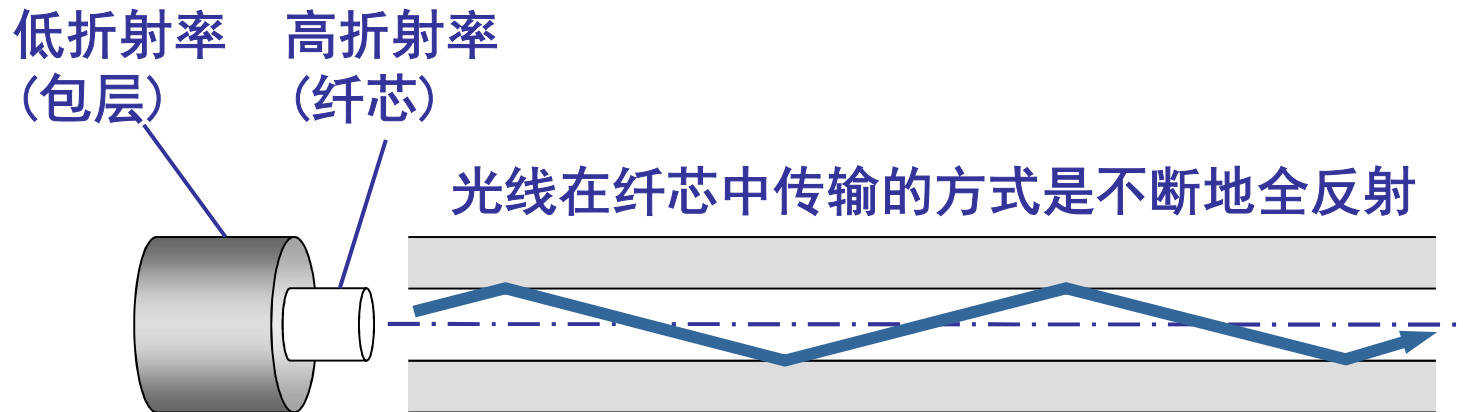
同轴电缆

◆ 两类同轴电缆

- 阻抗 50Ω ，传输数字信号，用于计算机联网
- 阻抗 75Ω ，传输模拟信号，有线电视电缆

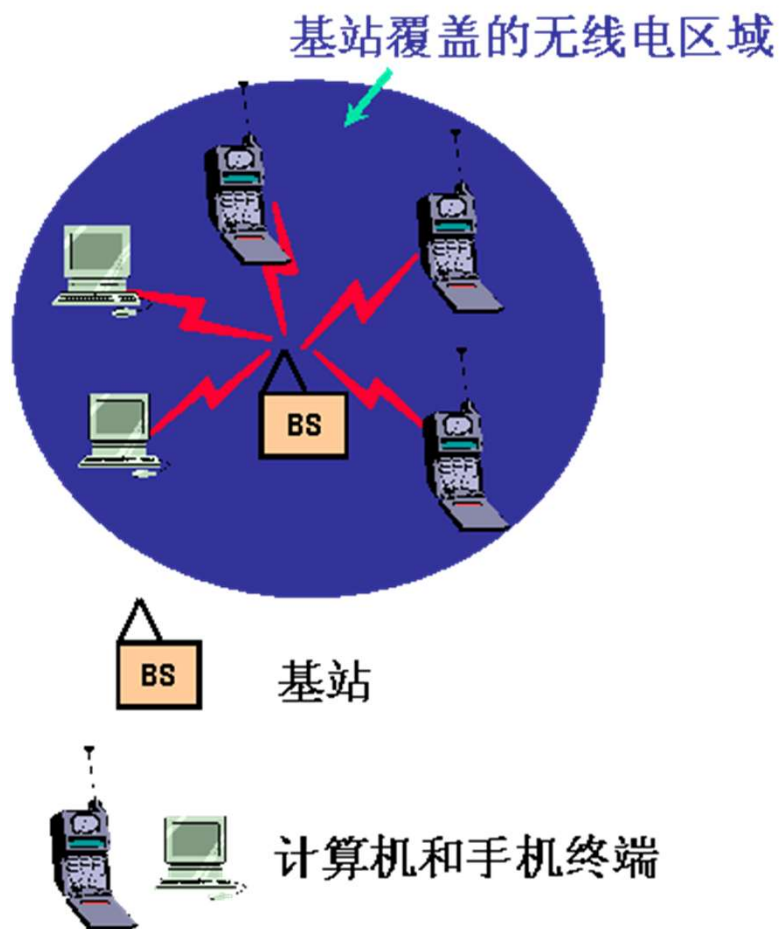


光纤

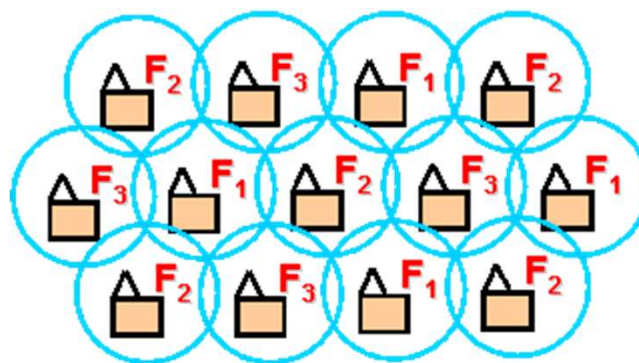


- ◆ 用于传输数字信号
- ◆ 高带宽
- ◆ 抗干扰
- ◆ 低衰减、传输距离长
- ◆ 重量轻

无线电 (RF)

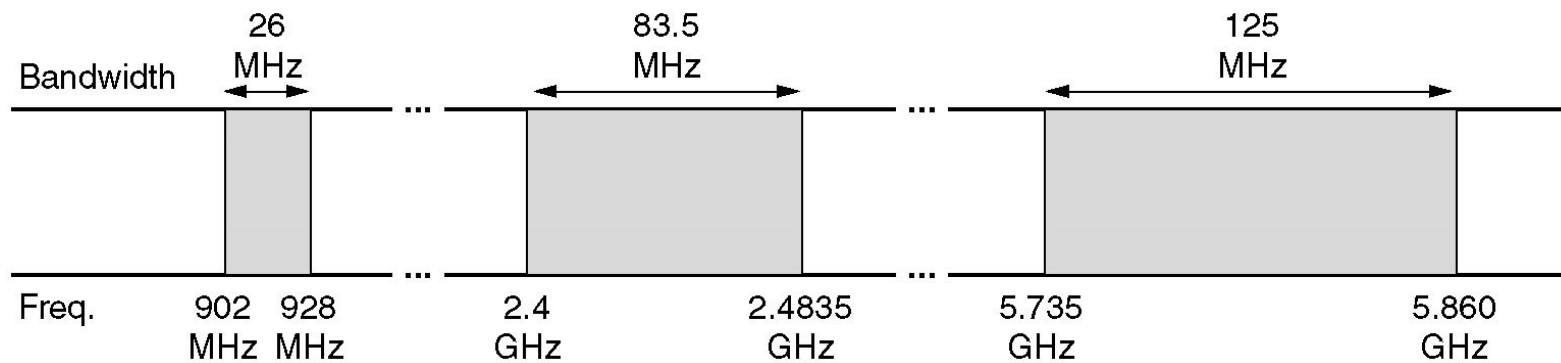


- 全方位传输
- 可以穿透建筑物
- 可以长距离传输
- 抗干扰能力差



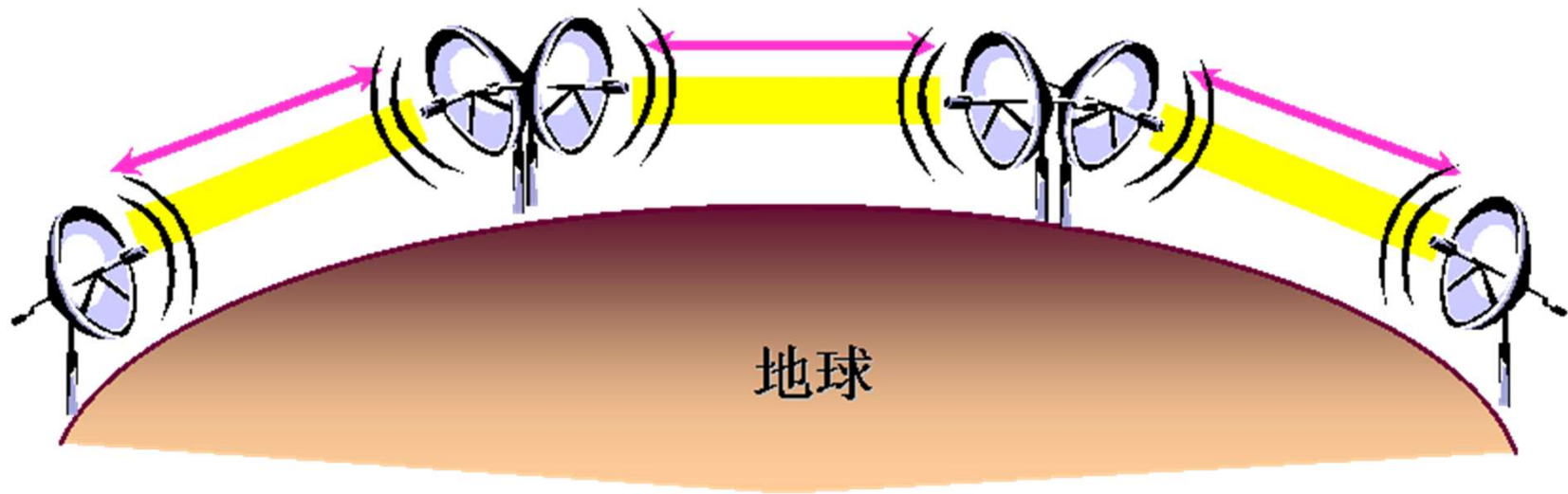
ISM频段

- ◆ Industrial, Scientific, Medical
- ◆ 不必申请
- ◆ 在WLAN、蓝牙中广泛使用

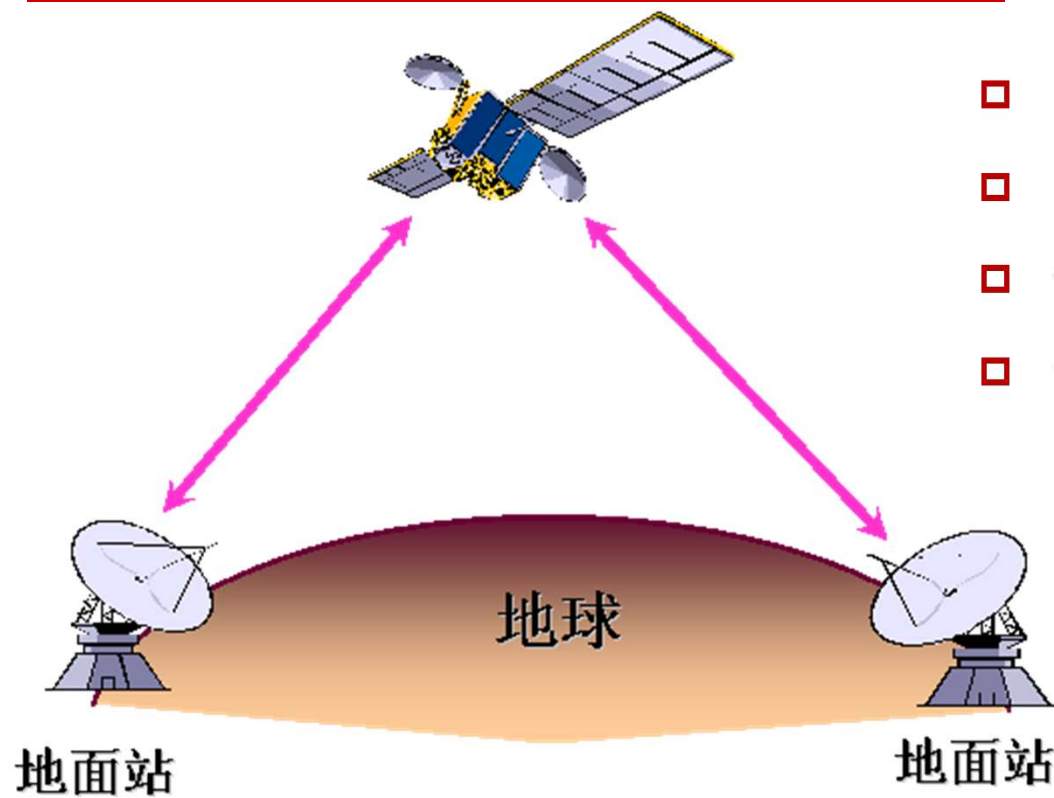


地面微波

- 直线传输
- 长距离传输时需要中继器 (Repeater)
- 不能穿透建筑物
- 易受天气影响



通信卫星

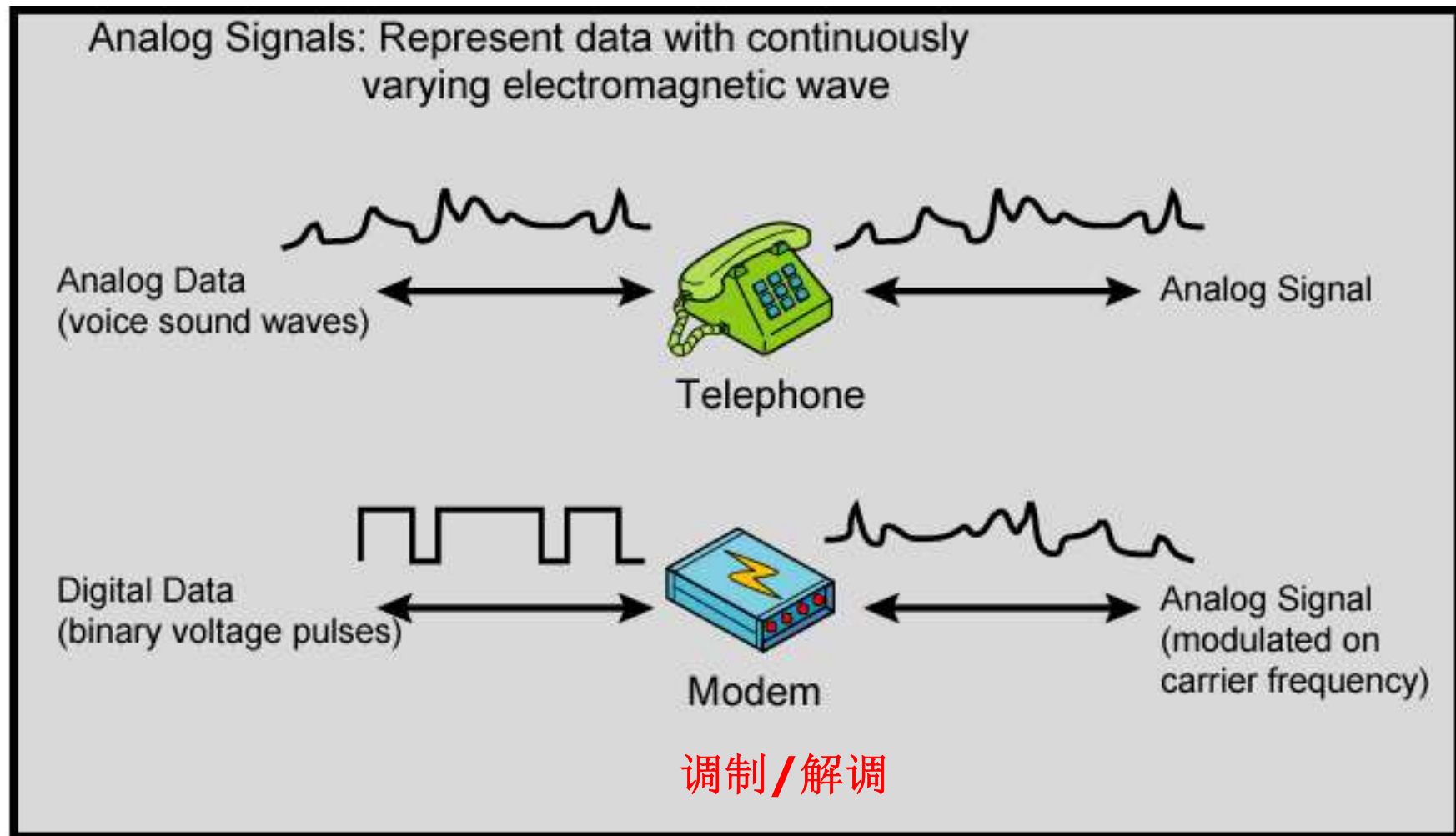


- 以卫星作中继器
- 支持广播方式
- 传输距离与成本无关
- 传播时延大

主要内容

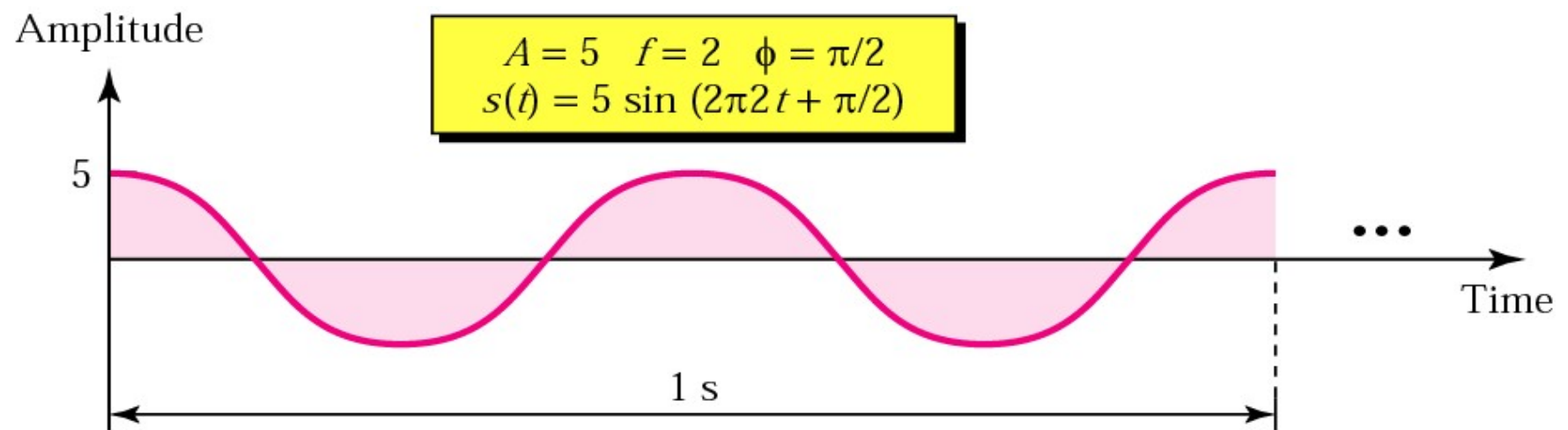
- ◆ 7.1 物理层概述
- ◆ 7.2 数据通信的基础知识
- ◆ 7.3 传输介质
- ◆ 7.4 调制技术和编码技术
- ◆ 7.5 复用技术
- ◆ 7.6 物理层互连设备
- ◆ 7.7 物理层的安全隐患

模拟信号承载模拟数据和数字数据

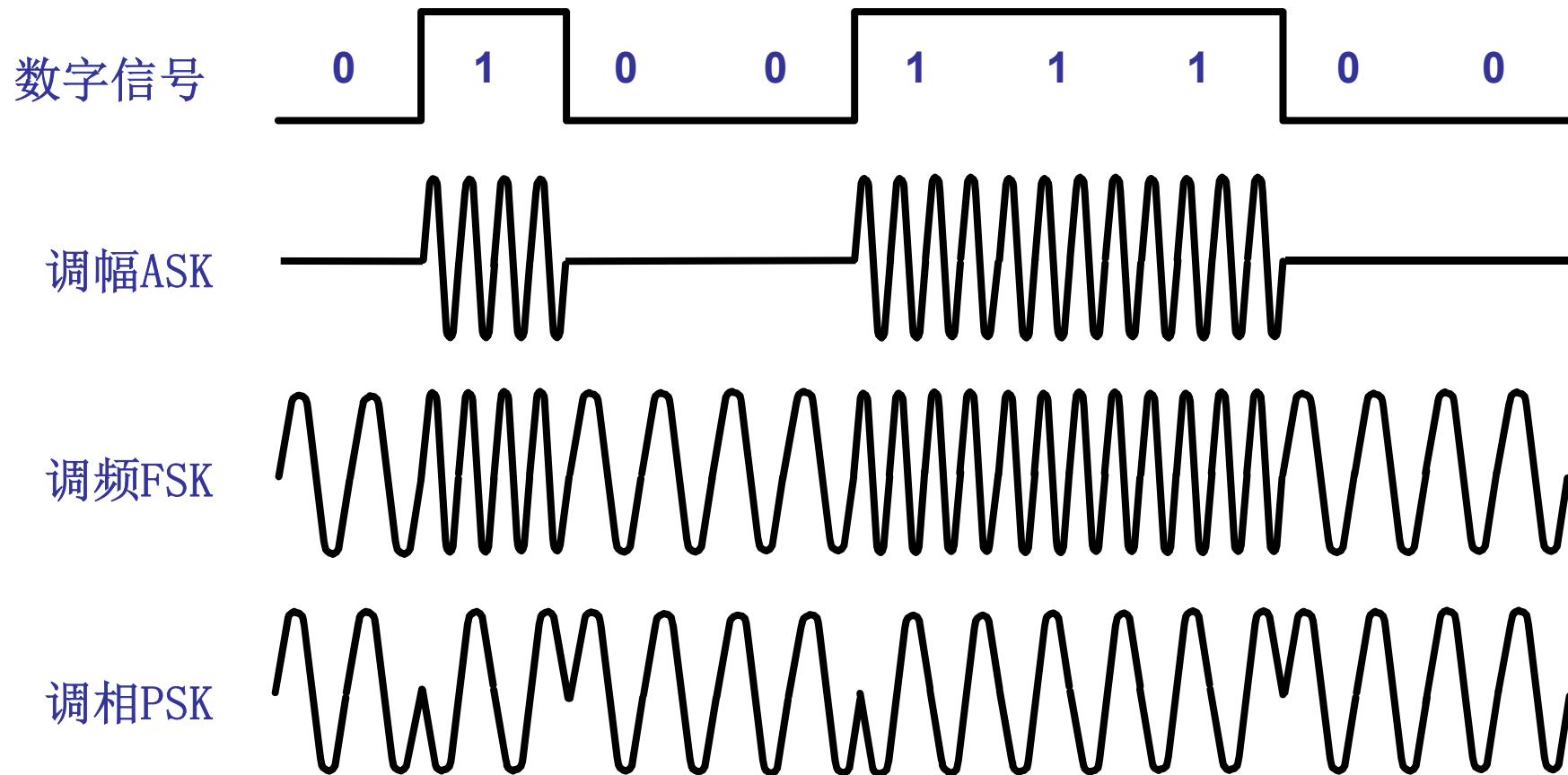


模拟信号的特征

◆ 振幅、频率、相位

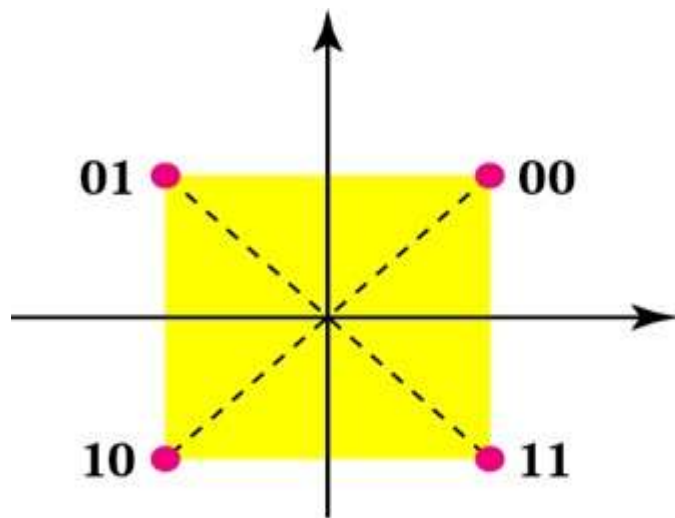


基本调制方法

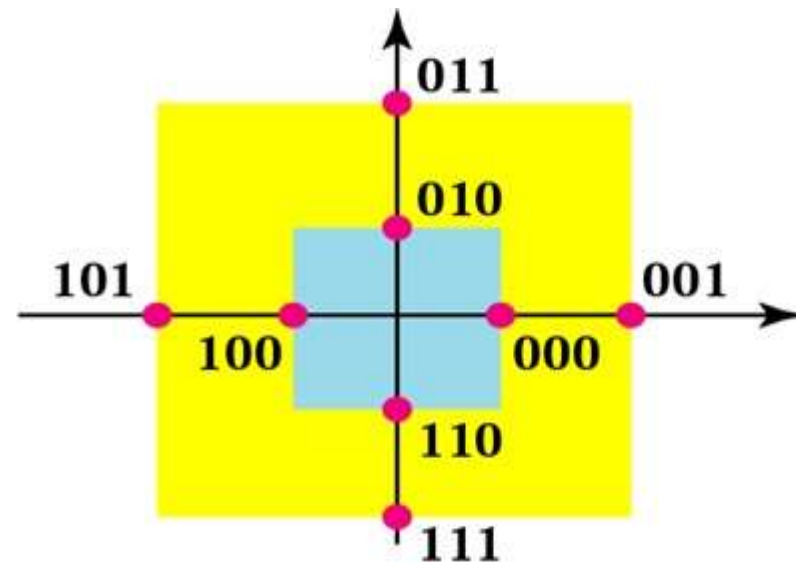


多级调制方法：正交振幅调制QAM

- ◆ 调幅和调相结合
- ◆ 一个码元表示多位数据



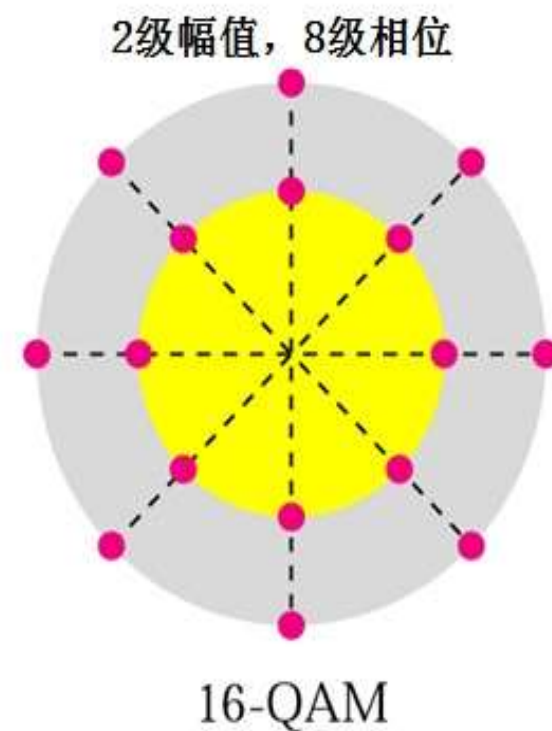
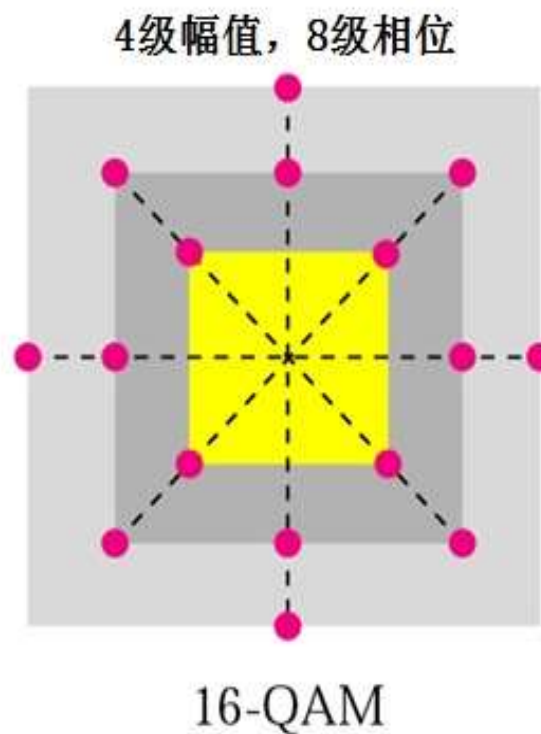
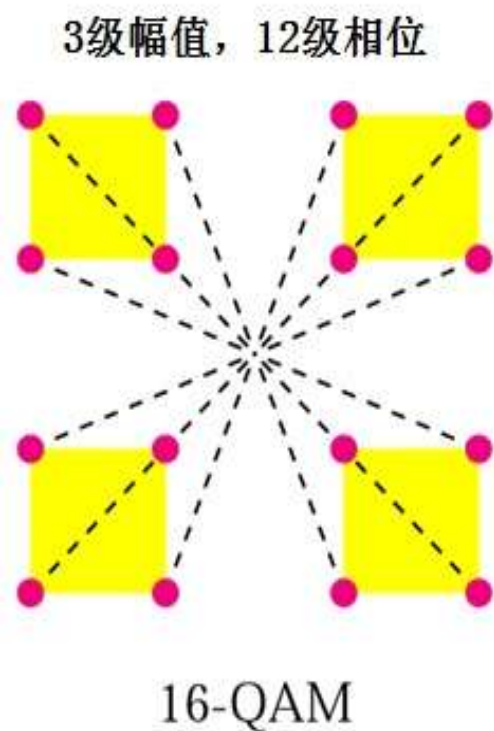
4-QAM
1级幅值, 4级相位



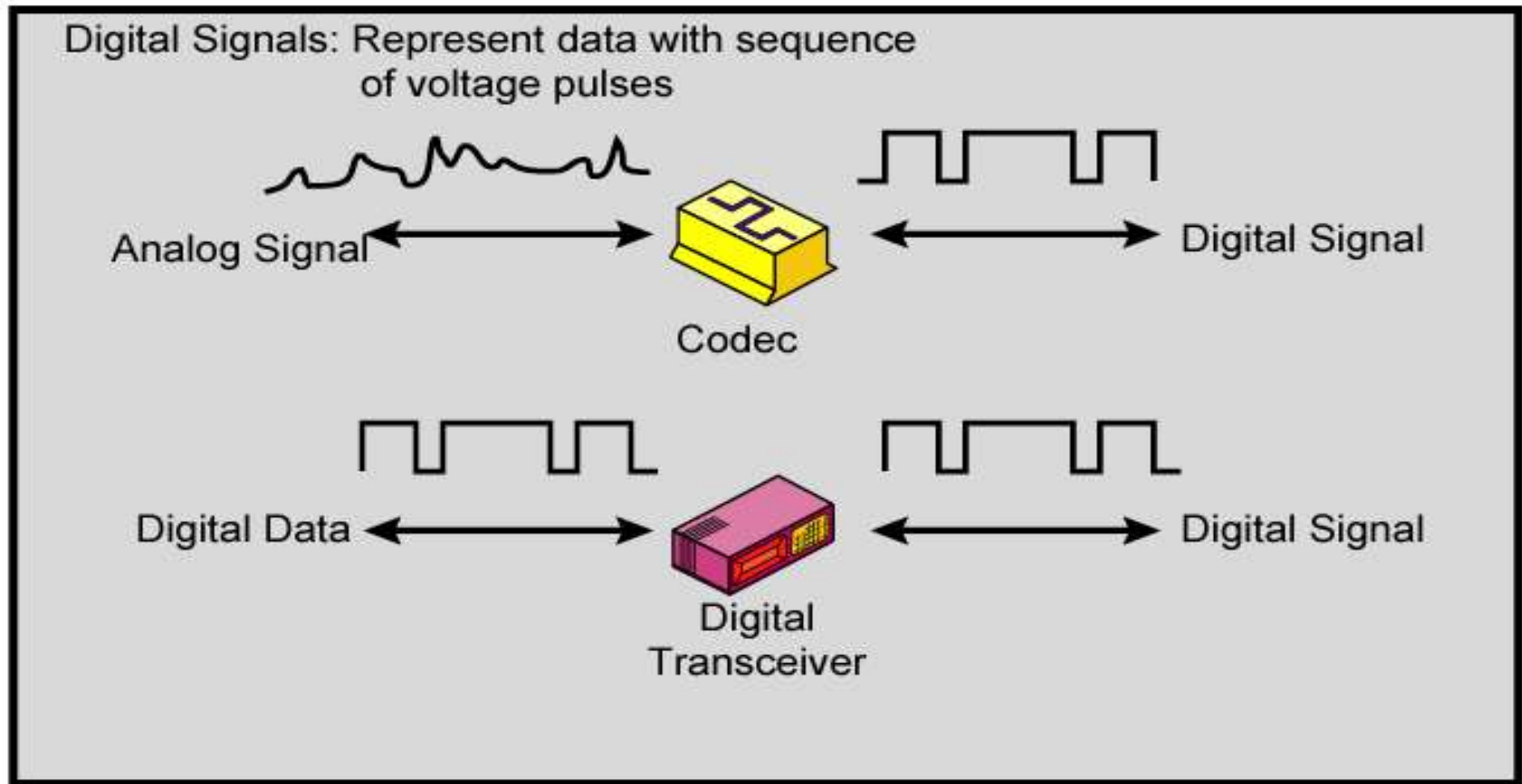
8-QAM
2级幅值, 4级相位

调制阶数

QAM的多种调制形式



数字信号承载模拟数据和数字数据



数字数据编码技术

NRZ-L

不归零编码

NRZI

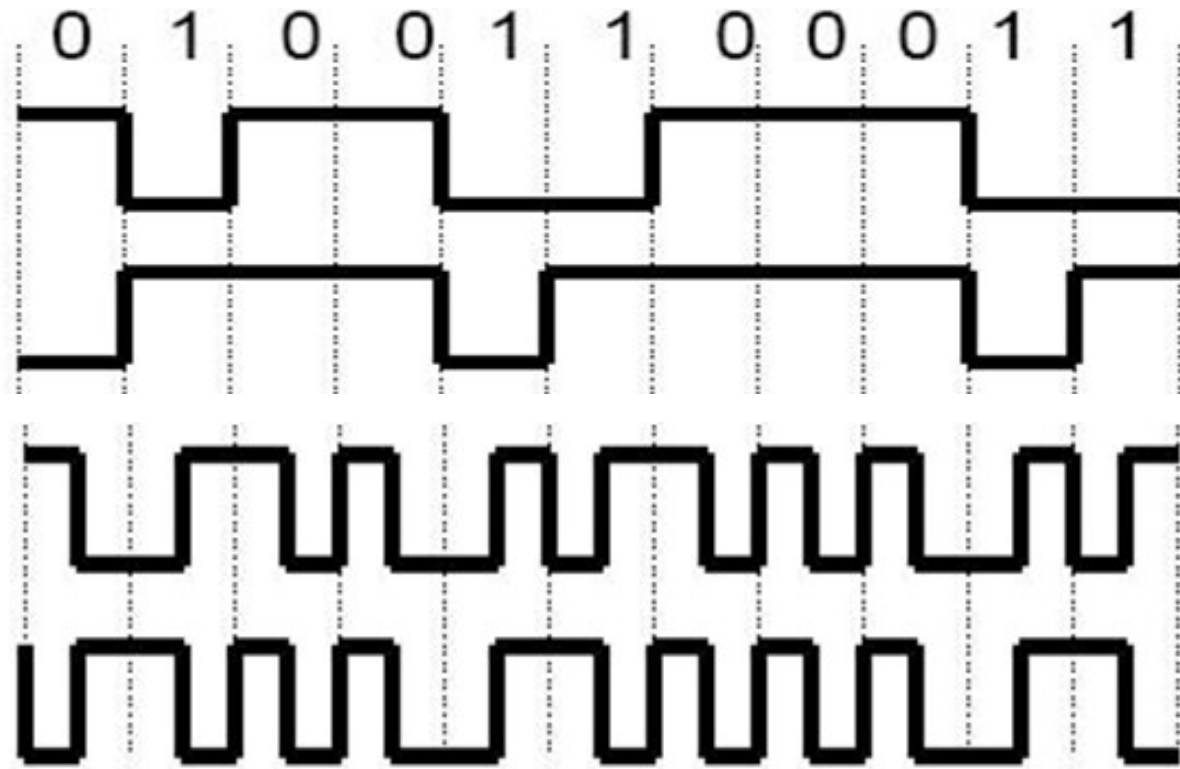
不归零反向编码

Manchester

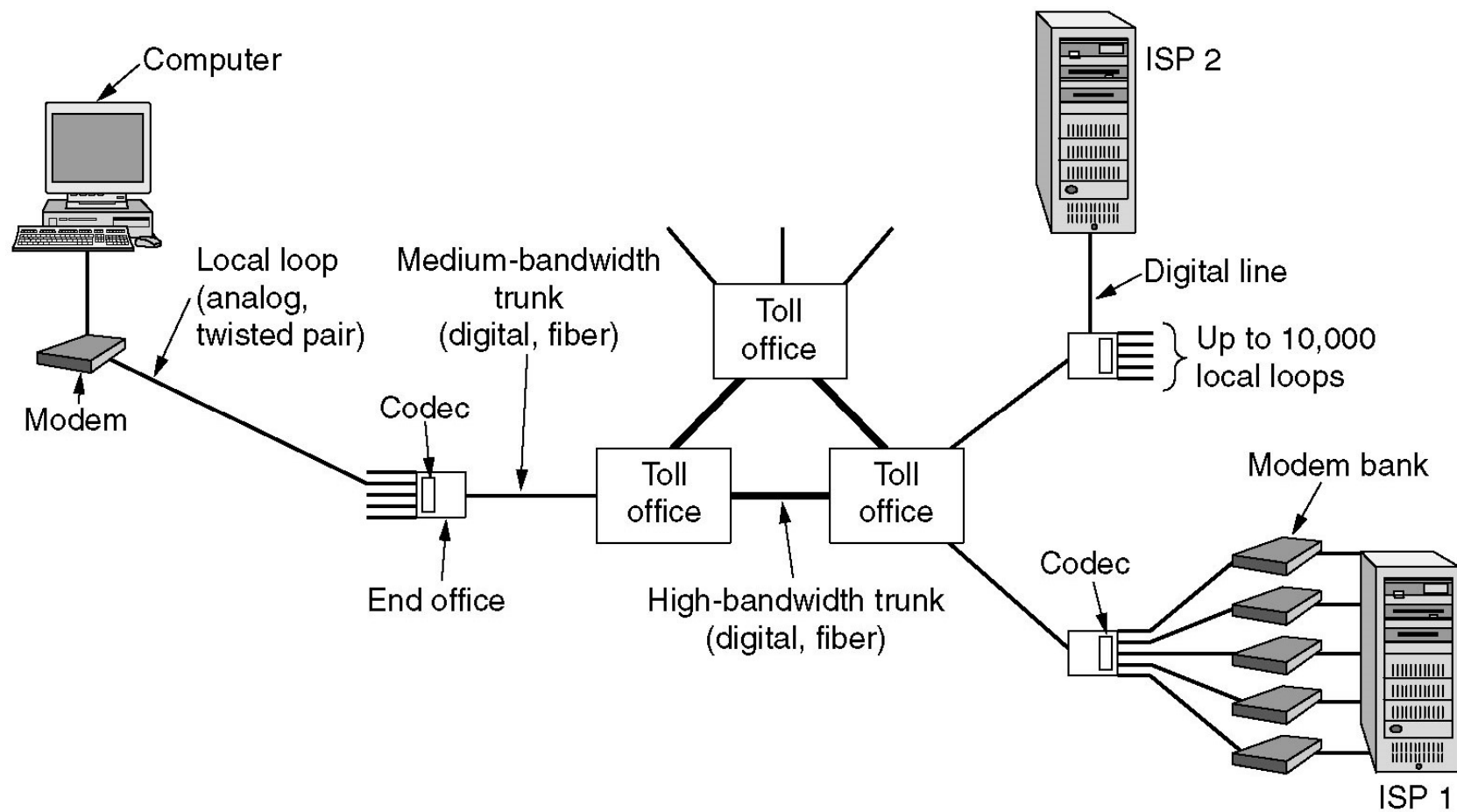
曼彻斯特编码

Differential
manchester

差分曼彻斯特

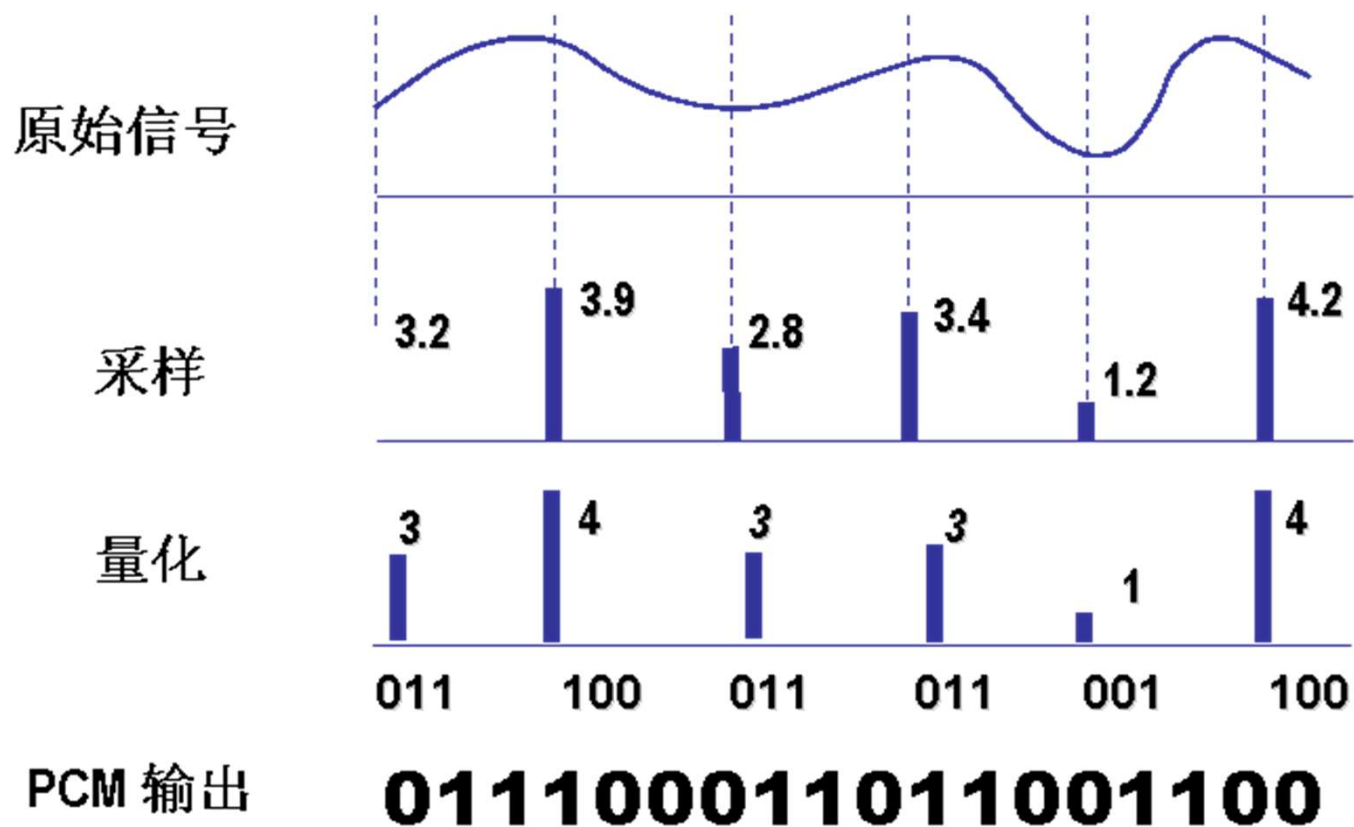


固定电话系统中的信号传输

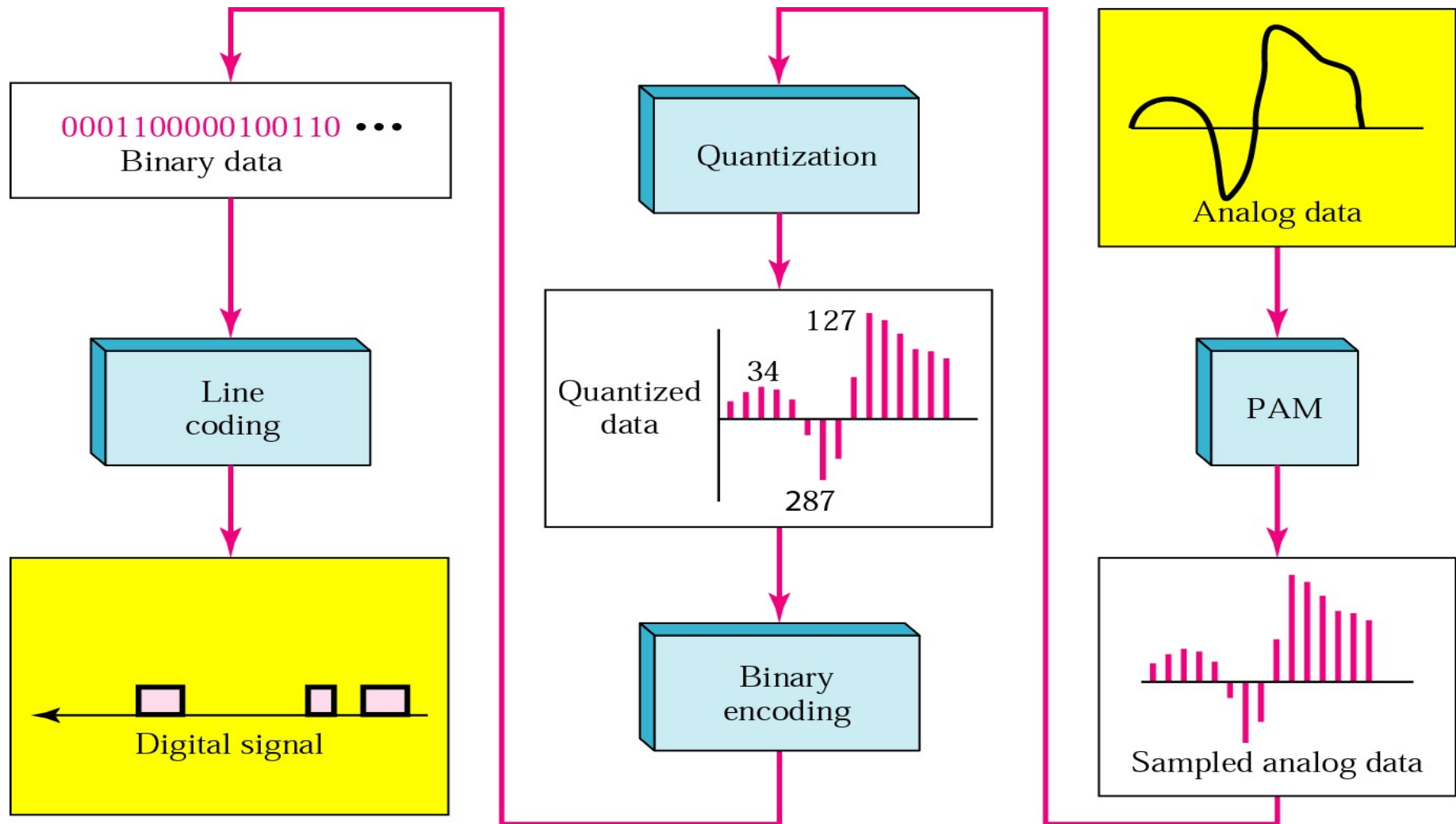


脉冲编码调制PCM

◆ 将模拟信号转换成数字信号

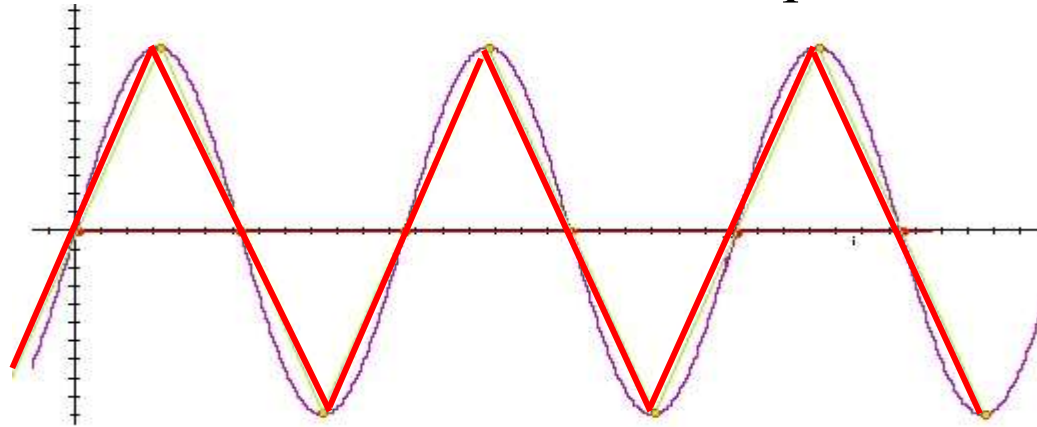


PCM的操作过程



奈奎斯特 (Nyquist) 采样定理

- ◆ 采样频率至少为信号频率的2倍，才能保证信号无损数字化
- ◆ PCM一路数字语音的速率
 - 模拟语音频率300-3400Hz，则采样频率为每秒8000次
 - 采用8位编码，速率=8000*8=64kbps



主要内容

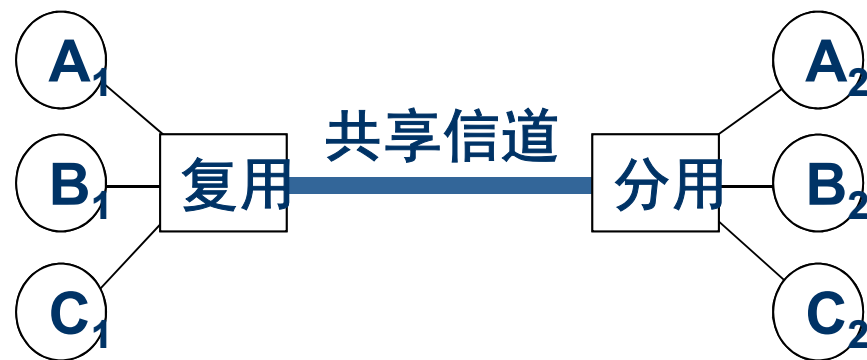
- ◆ 7.1 物理层概述
- ◆ 7.2 数据通信的基础知识
- ◆ 7.3 传输介质
- ◆ 7.4 调制技术和编码技术
- ◆ 7.5 复用技术
- ◆ 7.6 物理层互连设备
- ◆ 7.7 物理层的安全隐患

复用的概念

◆ 多路信号共享一条信道



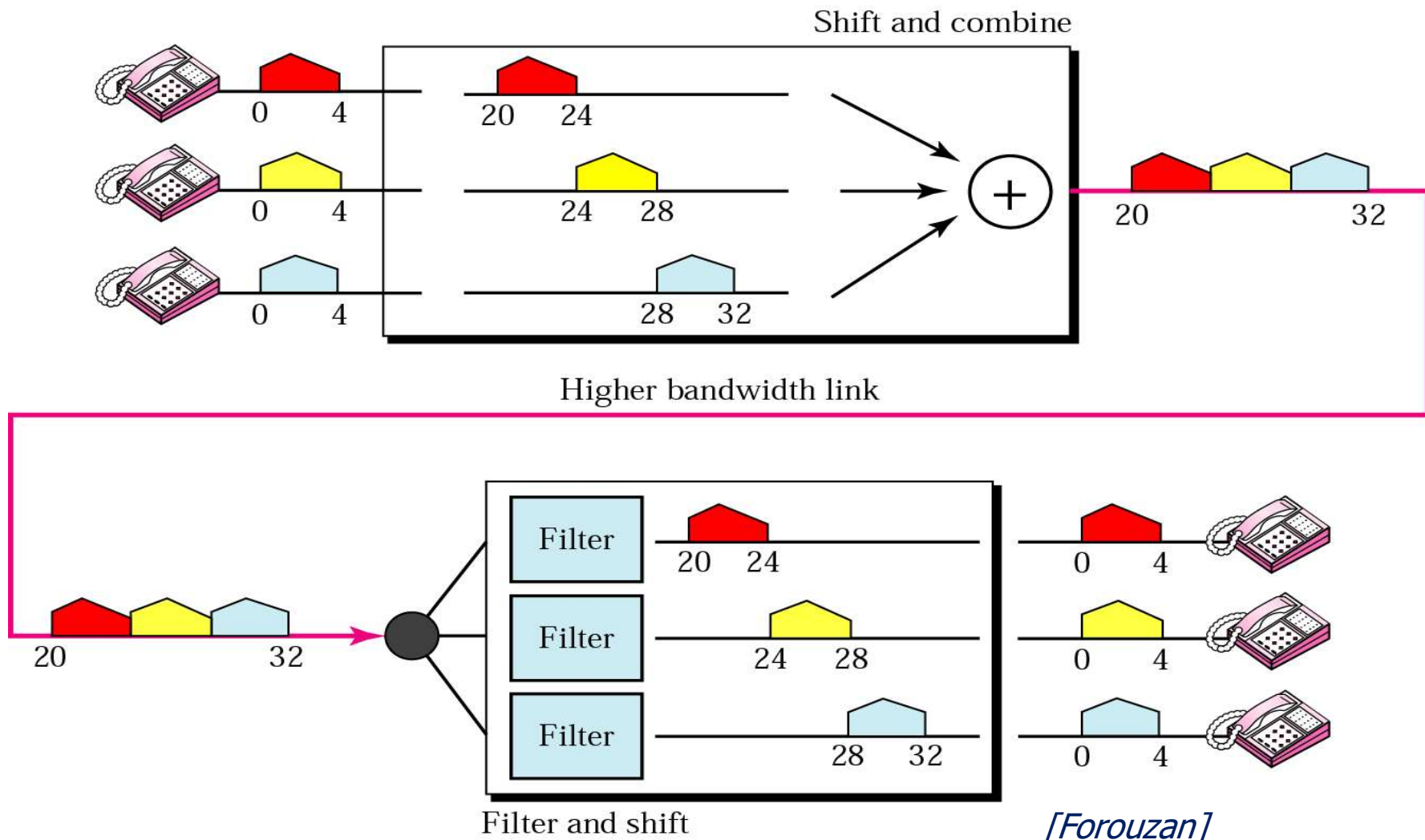
(a) 不使用复用技术



(b) 使用复用技术

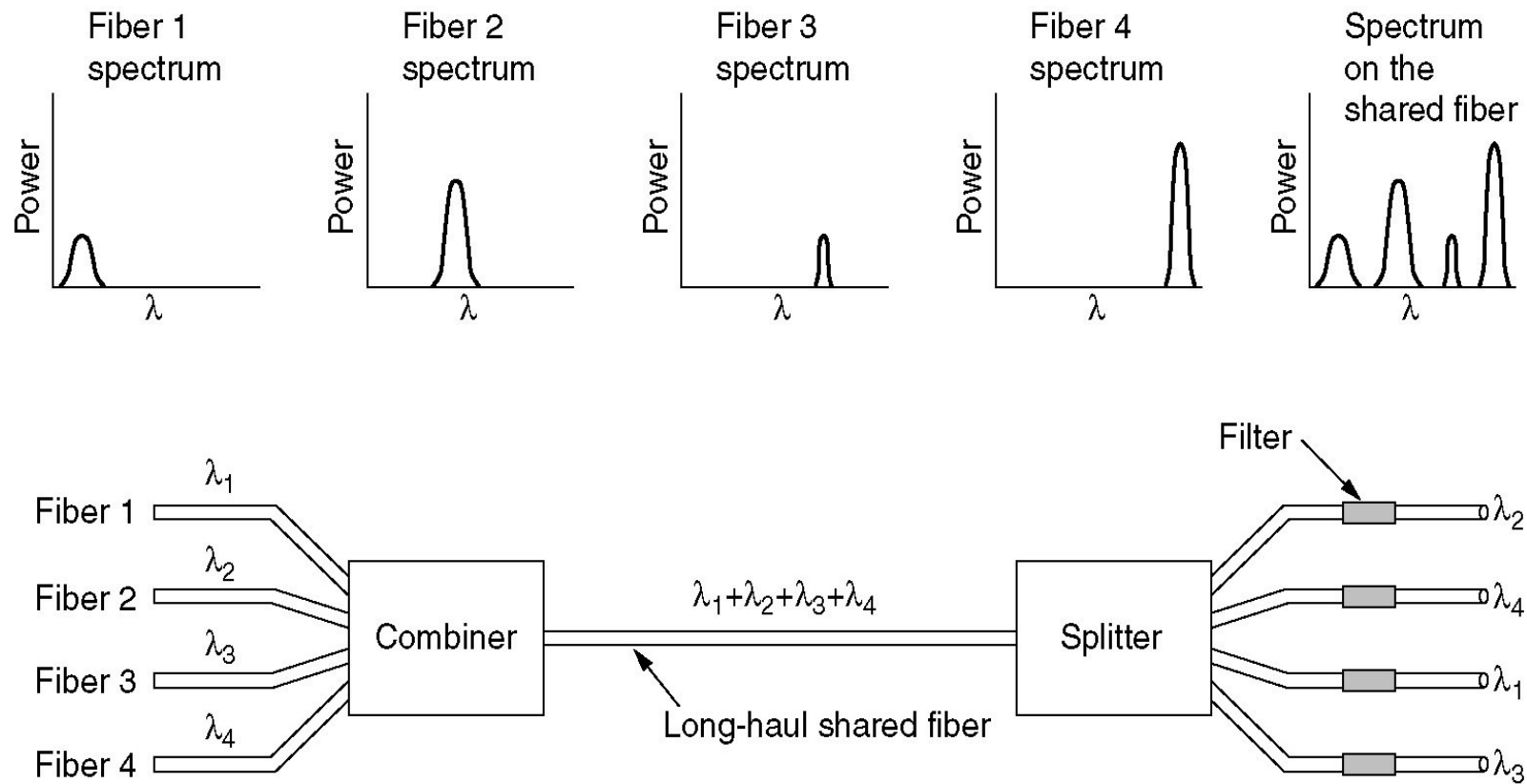
频分复用FDM

◆ 按照不同的频率划分子信道，用于模拟信号复用



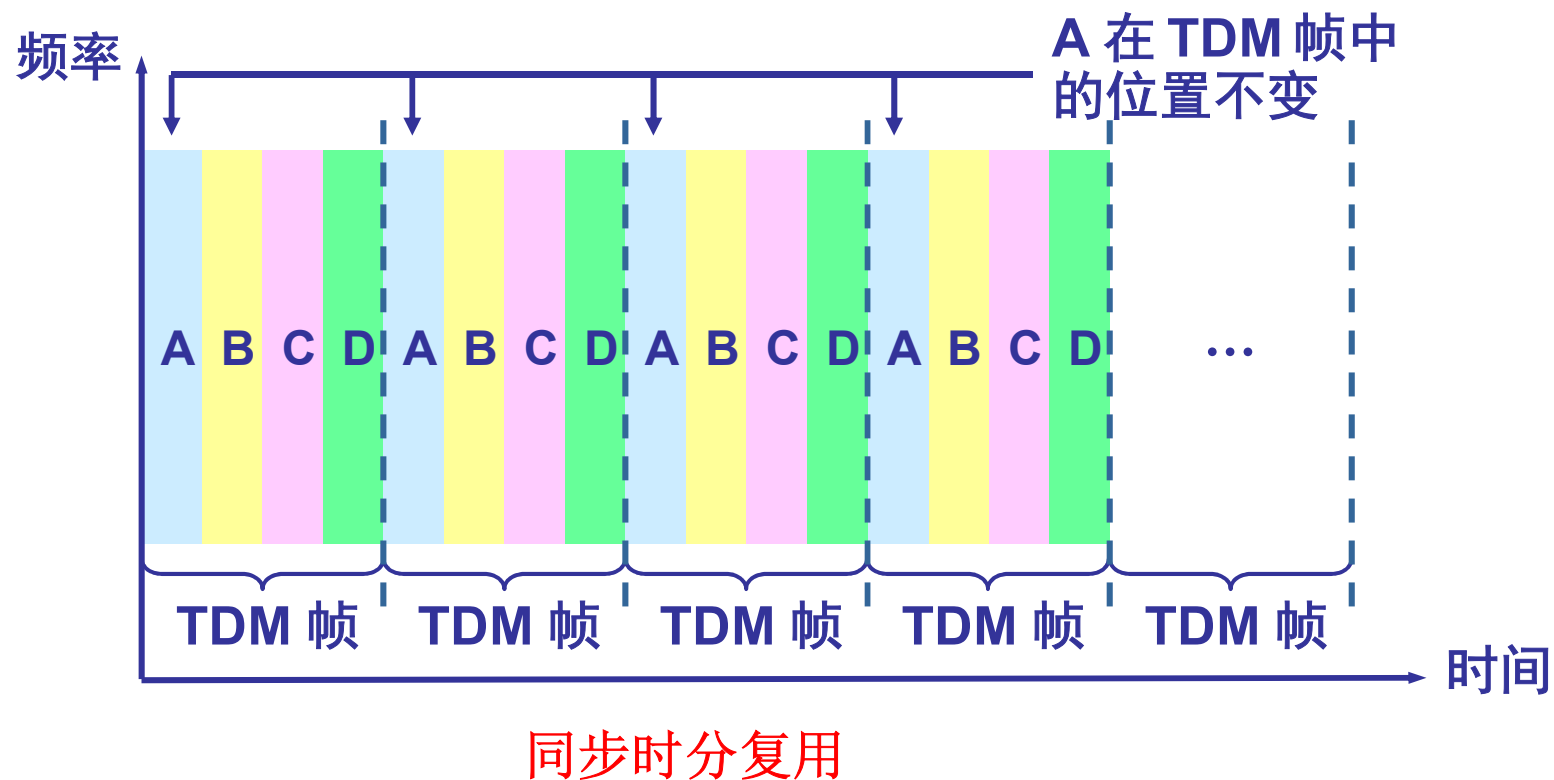
波分复用WDM

◆ 按照波长划分子信道



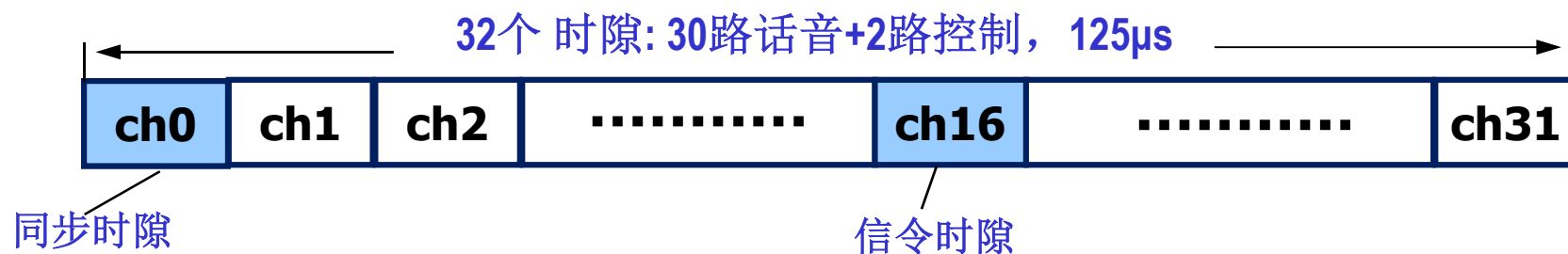
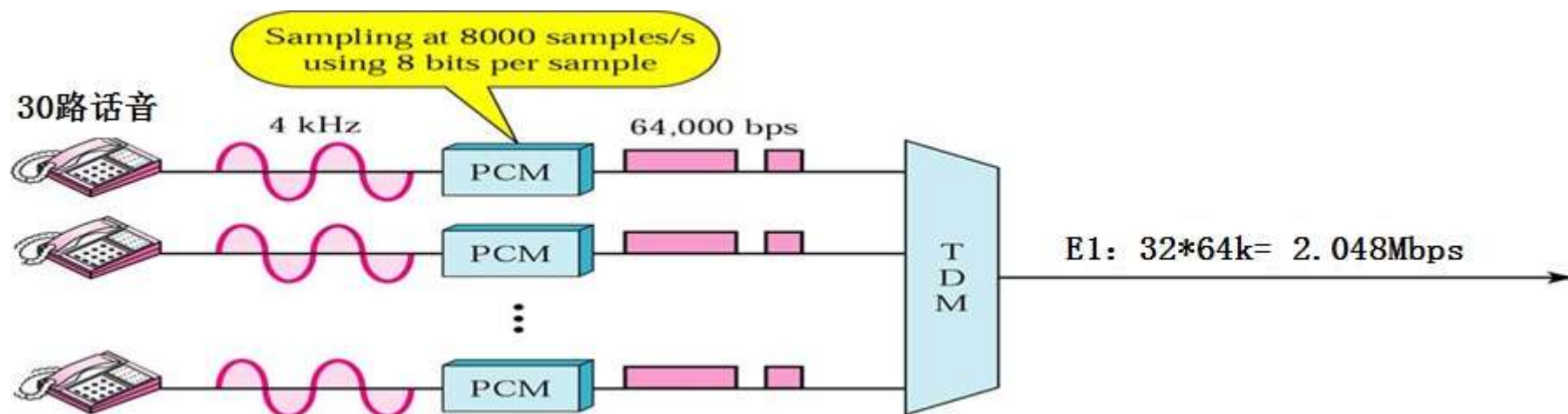
时分复用TDM

- ◆ 按照时间片来划分子信道，用于数字信号复用
- ◆ 所有用户在不同的时间占用**同样的**频带宽度



同步时分复用示例：E1帧

◆ 应用于电话骨干网，数字话音传输

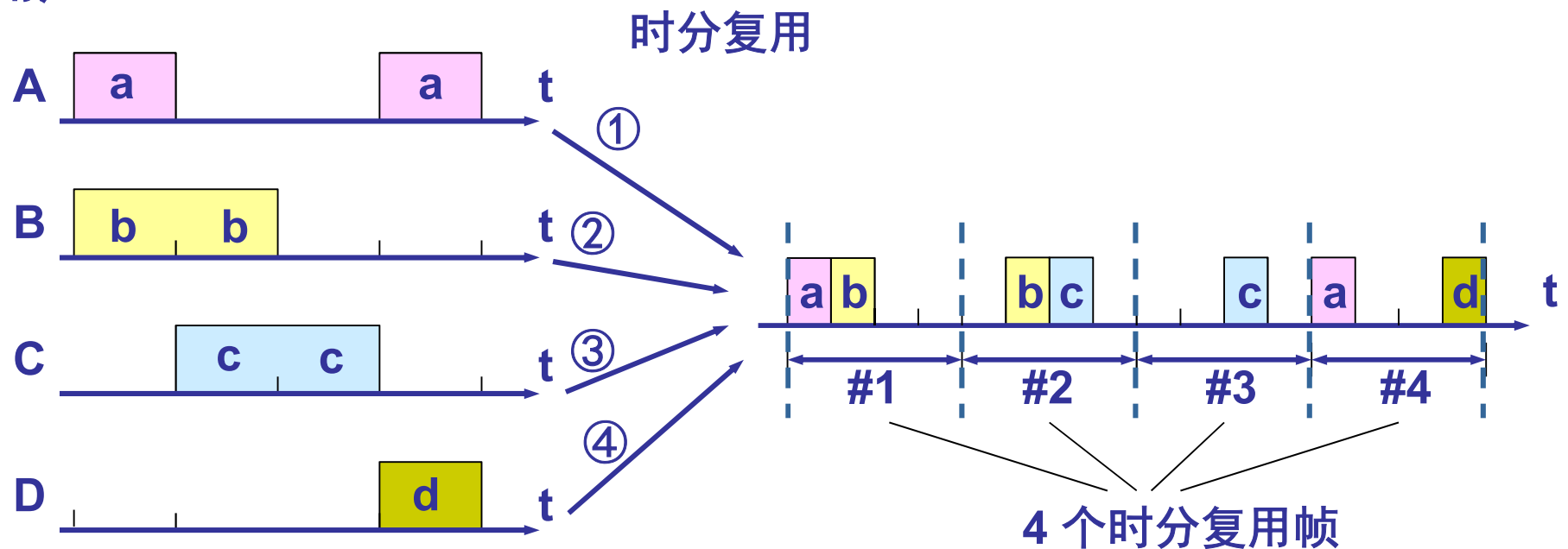


E1时分复用帧

同步时分复用的不足

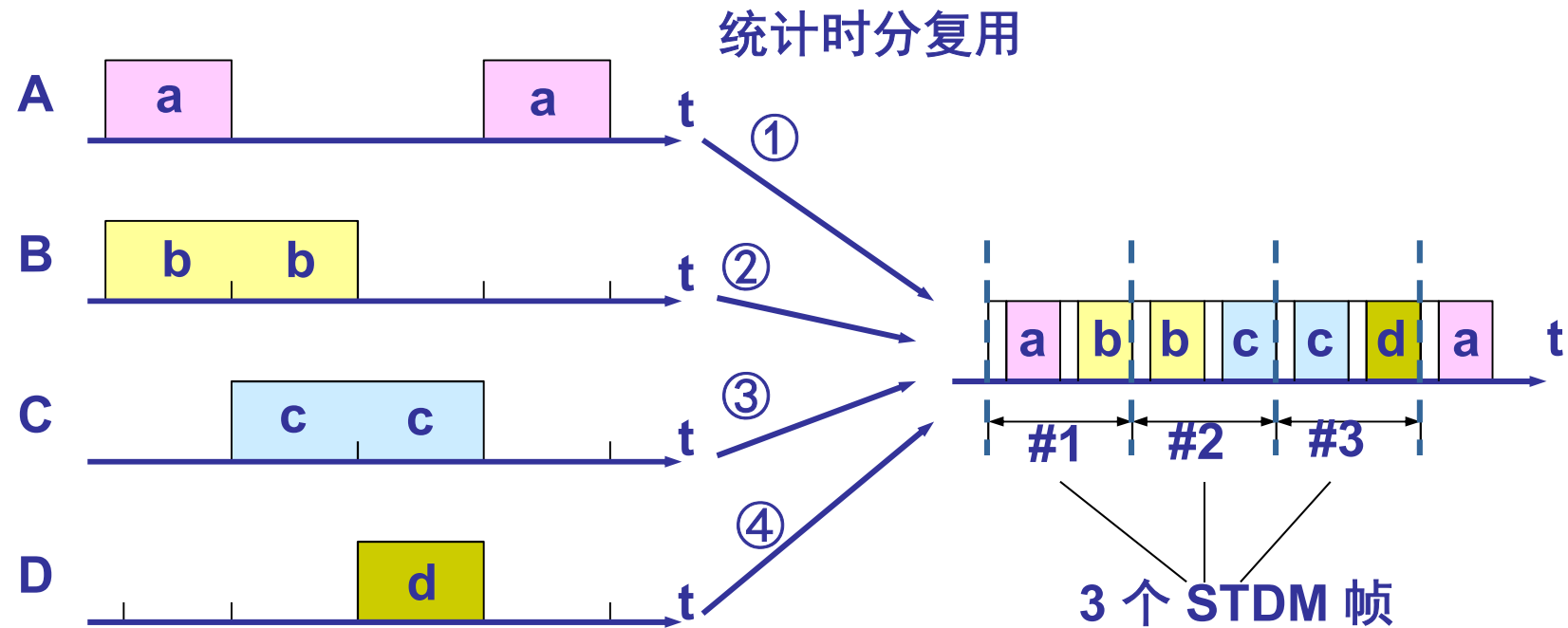
◆ 计算机数据的突发性易导致信道资源浪费

用户



统计时分复用STDM

用户



主要内容

- ◆ 7.1 物理层概述
- ◆ 7.2 数据通信的基础知识
- ◆ 7.3 传输介质
- ◆ 7.4 调制技术和编码技术
- ◆ 7.5 复用技术
- ◆ 7.6 物理层互连设备
- ◆ 7.7 物理层的安全隐患

网络互连设备



互联设备

地址

网
关

端口号等

路由器

IPv4/IPv6地址

网桥/交换机

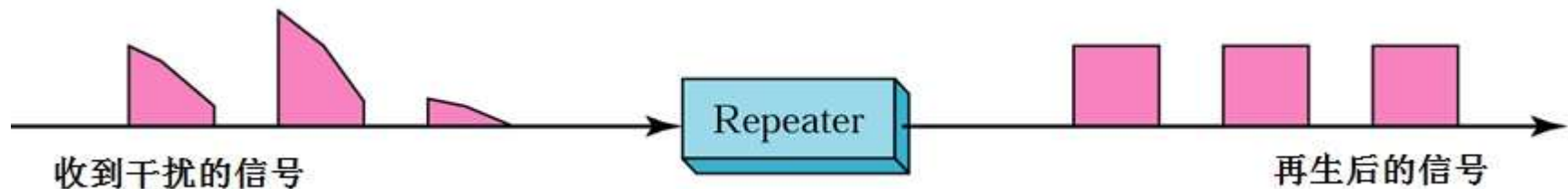
MAC 地址

Hub/中继器

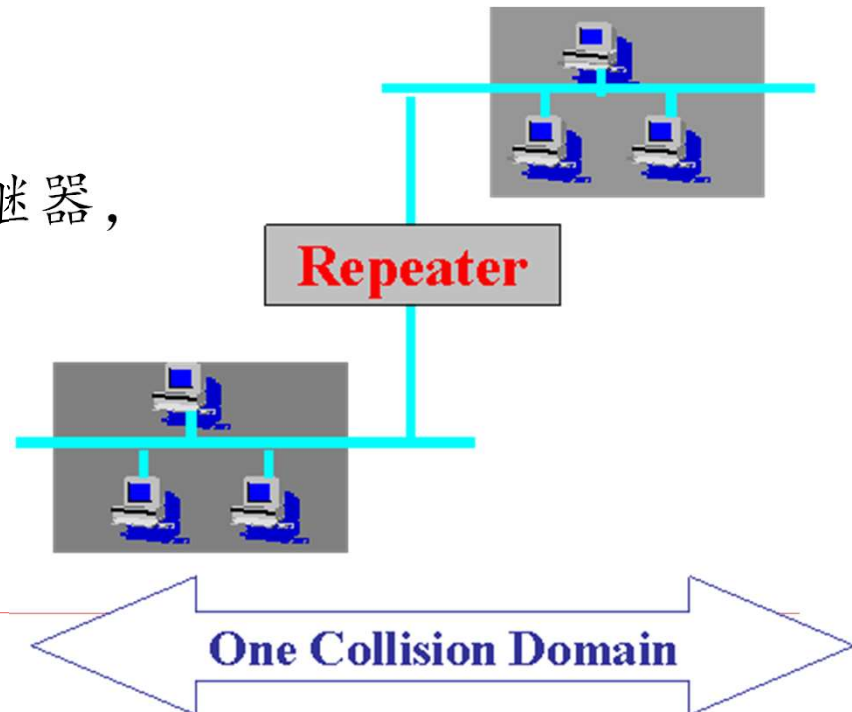
连接器、接插板

物理层互连设备：中继器（Repeater）

- ◆ 连接两个LAN网段(Segment)
- ◆ 将信号再生，以便传输得更远

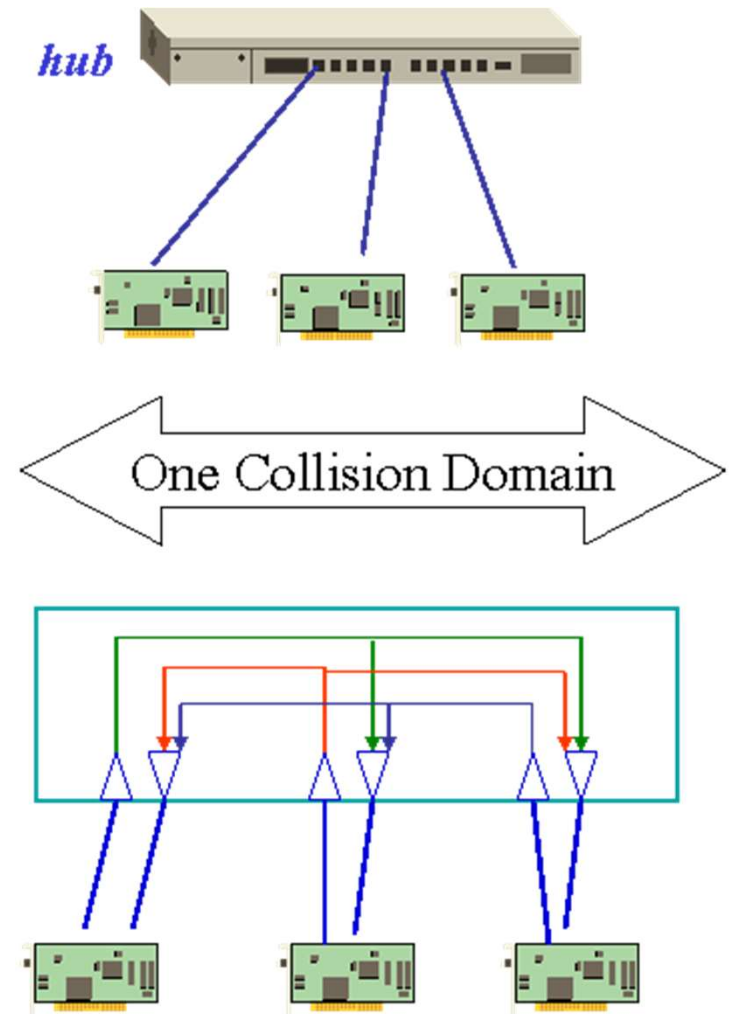


- ◆ 以太网的5-4-3原则
 - 最多有5个网段、4个中继器，其中最多3个网段有主机
- ◆ 一个冲突域



物理层互连设备：HUB（集线器）

- ◆ 多端口中继器
- ◆ 将主机连接起来组成LAN
 - 物理拓扑结构为星形
 - 逻辑拓扑结构为总线形
- ◆ 将信号放大再生
- ◆ 广播信道：从一个端口收到的数据将转发到所有其他端口
- ◆ 共享式LAN



主要内容

- ◆ 7.1 物理层概述
- ◆ 7.2 数据通信的基础知识
- ◆ 7.3 传输介质
- ◆ 7.4 调制技术和编码技术
- ◆ 7.5 复用技术
- ◆ 7.6 物理层互连设备
- ◆ 7.7 物理层的安全隐患

数据截获

- ◆ 从中继器上截获
- ◆ 从网卡截获
- ◆ 从交换机截获
- ◆ 从电力系统捕获按键产生的电磁脉冲
- ◆ 利用光线反射捕获键盘输入

物理层小结

- ◆ 物理层的功能
- ◆ 数据通信的基本概念和理论
 - 香农公式和奈奎斯特公式
- ◆ 常用的传输介质的特点和应用场合
- ◆ 调制、编码、复用的概念
- ◆ 中继器和HUB的功能

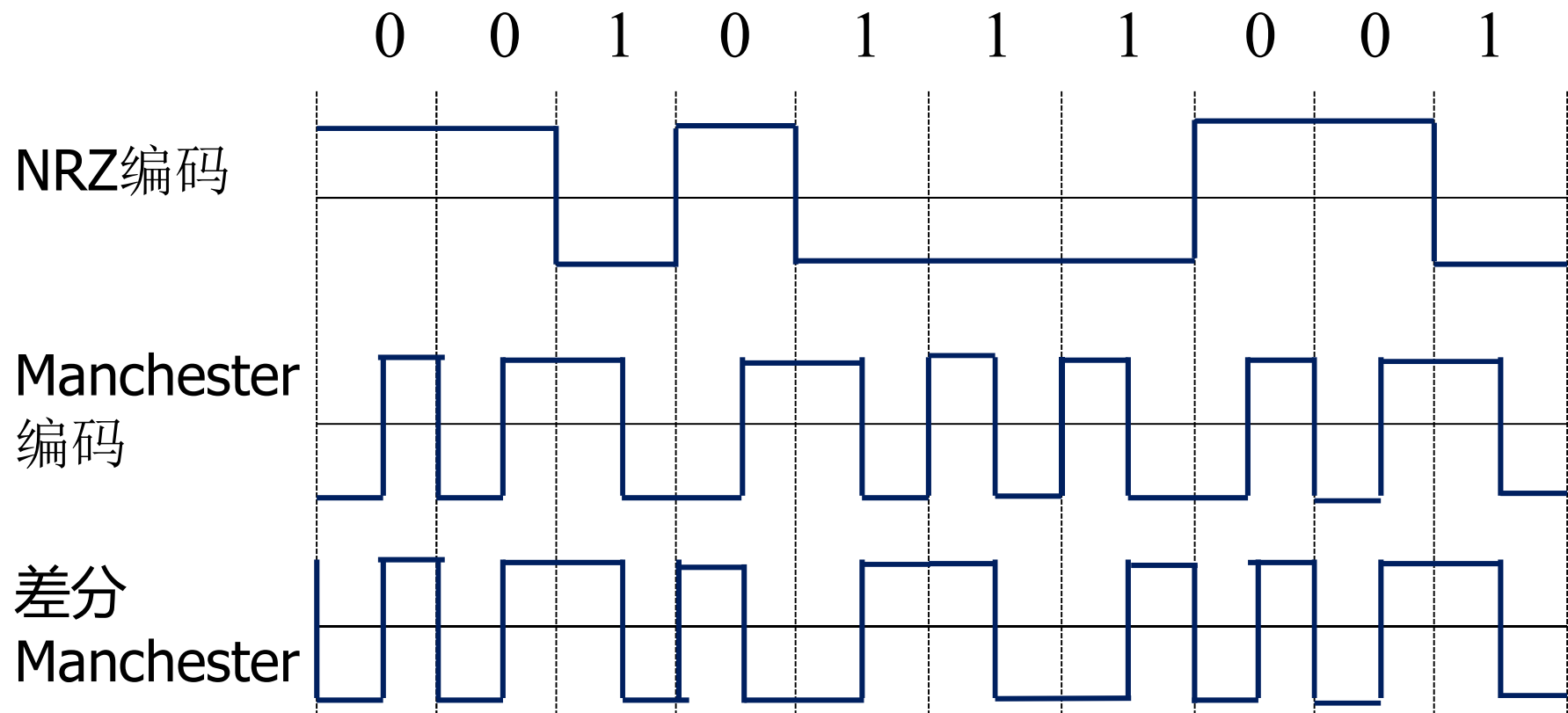
本章作业

- ◆ Q1-3: 教材p234 7-9, 7-12; p26 1-19
- ◆ Q4: 已知电视频道的带宽是6MHz, 假定信道无噪声, 若采用16QAM调制技术, 最大数据率是多少?
- ◆ Q5. 要在50kHz的信道上传输数据率为1.544Mbps的T1信号, 信噪比应该是多少?
- ◆ 自己完成, 不用交!

版权说明

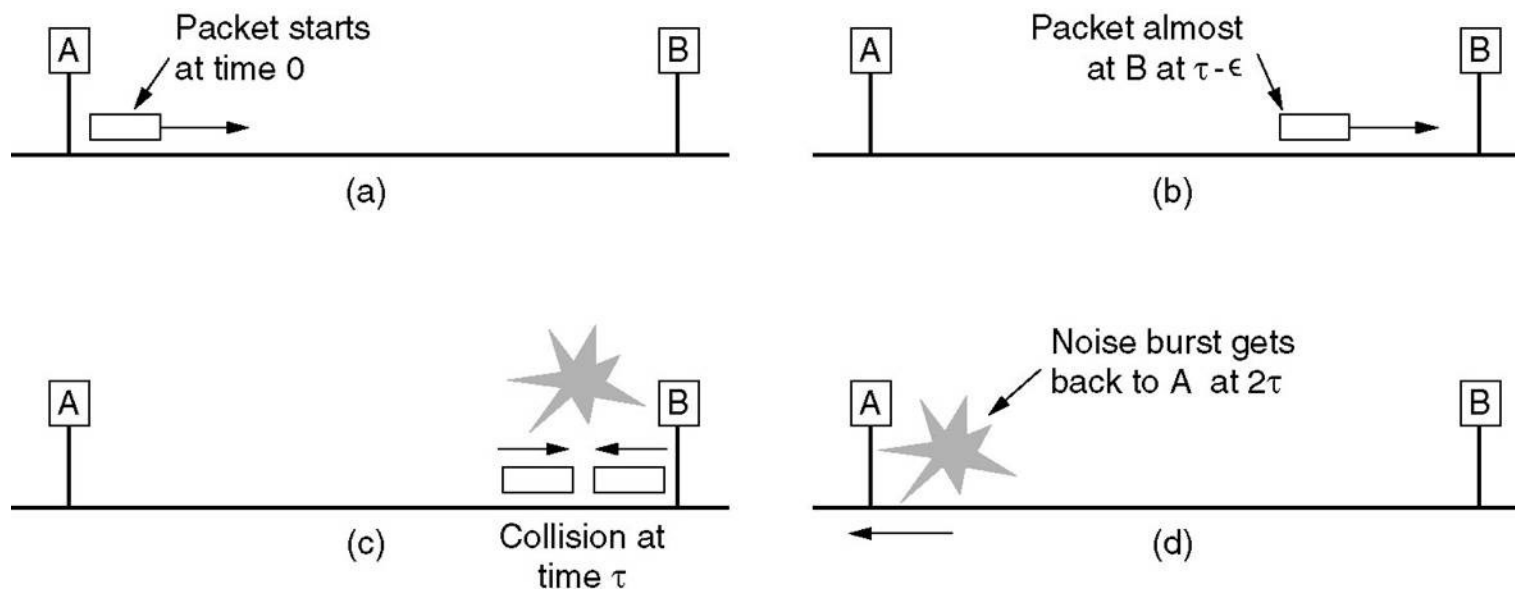
- ◆ 本讲义中有部分图片来源于下列教材所附讲义：
 - Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks, Fourth Edition, 清华大学出版社（影印版），2004，引用时标记为[Tanenbaum];
 - 谢希仁，计算机网络，第五版，电子工业出版社，2008年1月,引用时标记为[谢];
 - Behrouz A. Forouzan, Data Communications and Networking, Fourth Edition, McGraw-Hill Higher Education, 2007年1月，引用时标记为[Forouzan]

7-9



为什么以太网的最短帧长是64字节？

- ◆ 如果帧长小于64字节（发送时间短于 2τ ），发送站点可能无法检测到冲突！



- ◆ 对于10Base5以太网，最长跨度为2500米， 2τ 约为51.2微秒，这段时间内可发送512位，即64字节