



北京邮电大学

# 计算机网络

---

## 第七章 物理层 Physical Layer

网络空间安全学院

2025年6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

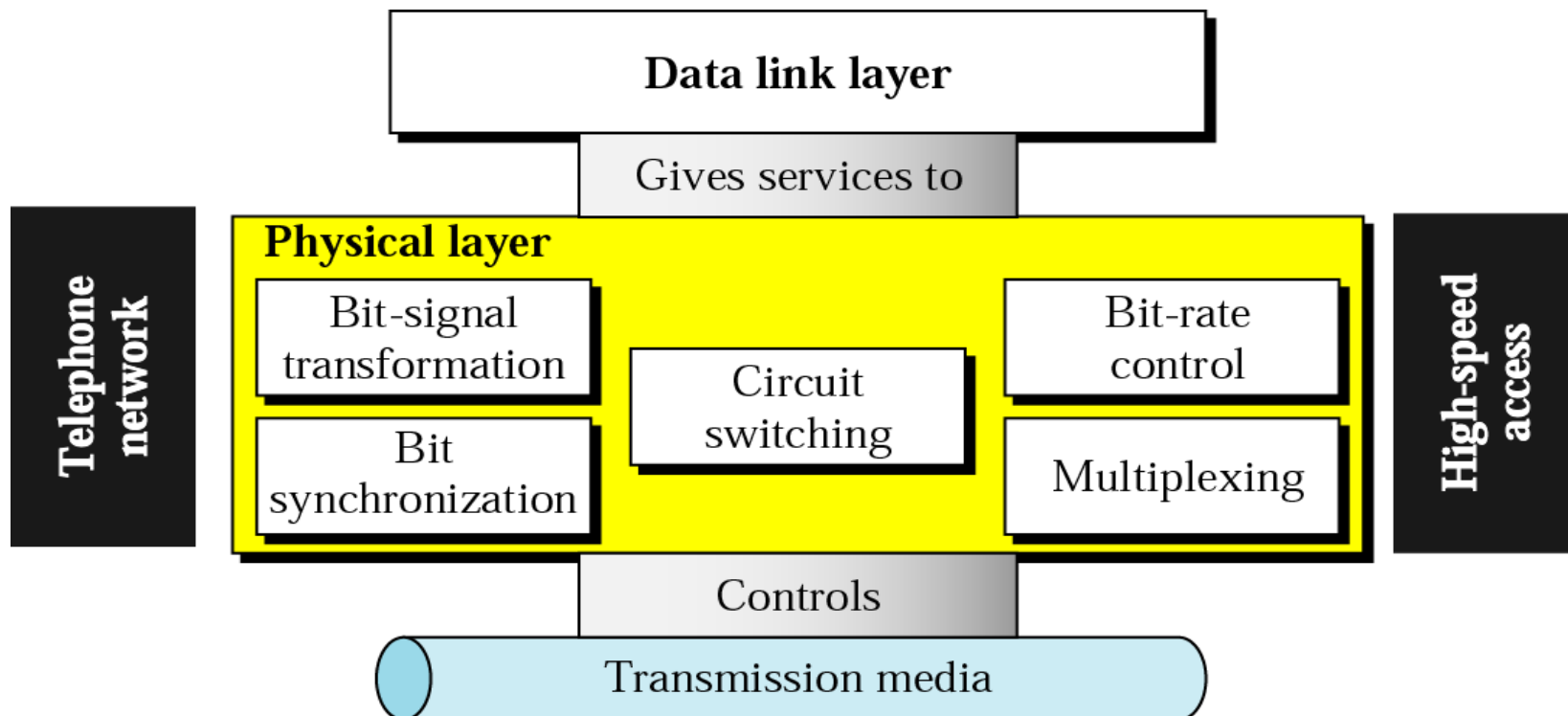
# 教学内容及要求

---

- ◆ 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：
  - Nyquest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



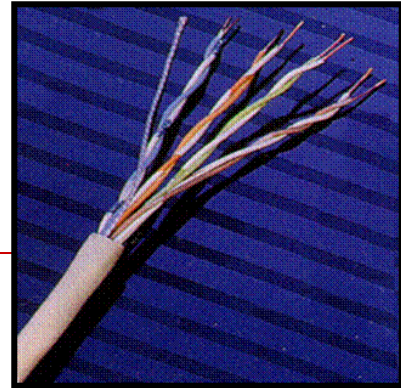
# 物理层的主要功能

---

## ◆ 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:

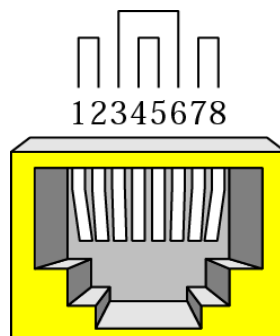
- ☐ Manchester编码

- ☐ 电平: 2.5v, -2.5v

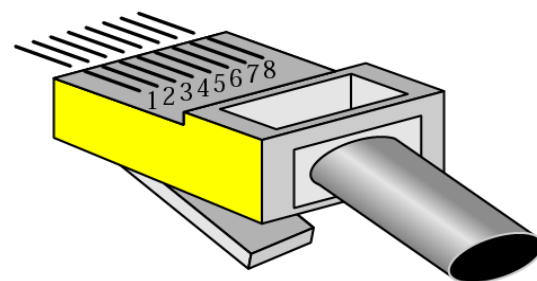
- 功能特性:

- ☐ 一对线发送 (1,2针)、一对线接收 (3,6针)

- ☐ 全双工通信



RJ-45 Female



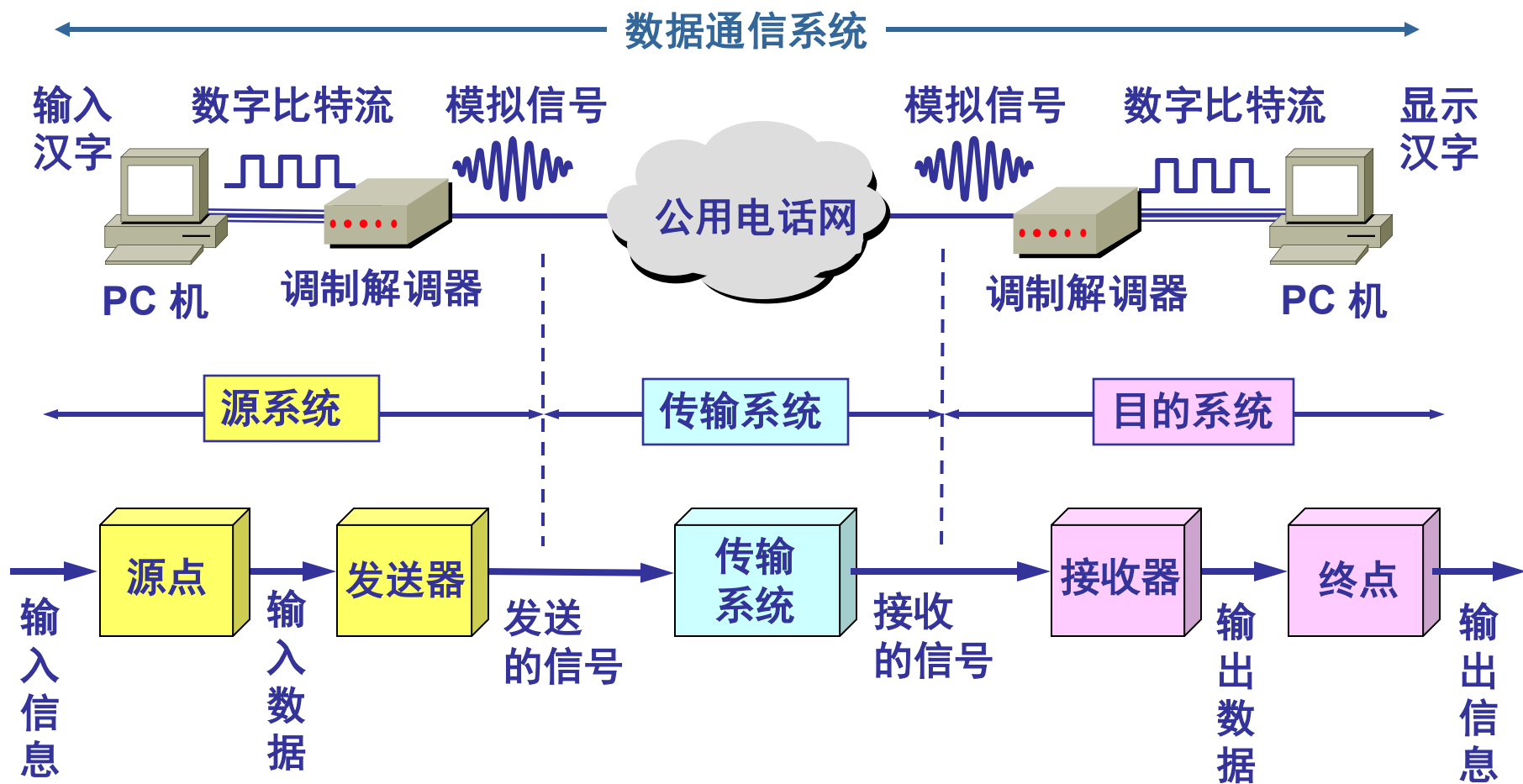
RJ-45 Male

# 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

---

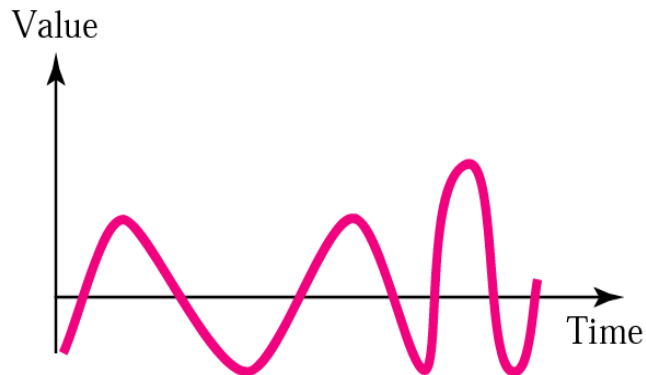
## ◆ 信息、数据与信号

- 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)

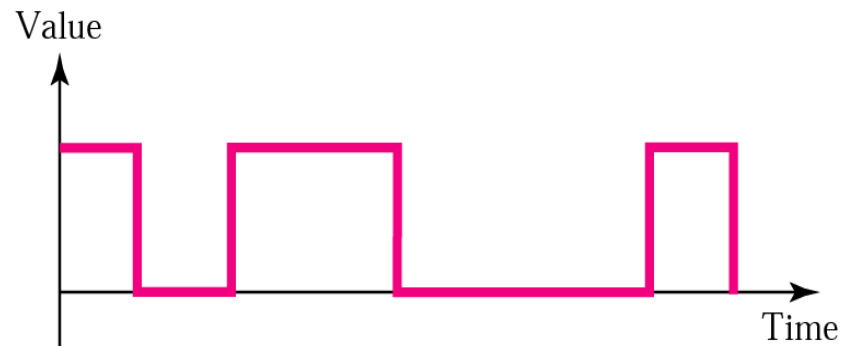
# 模拟信号与数字信号

---

- ◆ 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



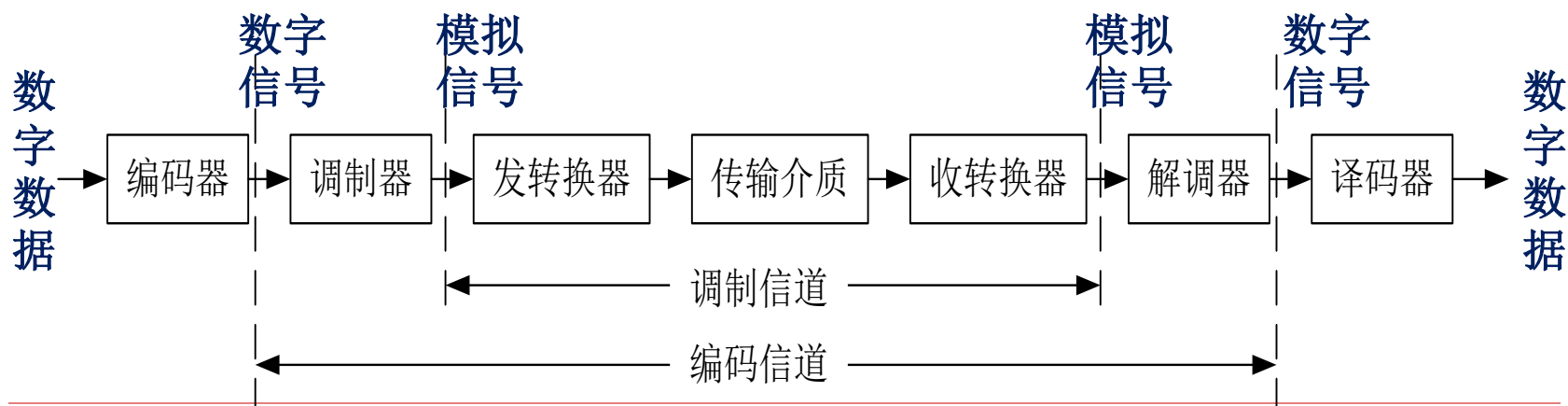
a. Analog signal



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（计算机网络课程范畴使用）
- ◆ 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



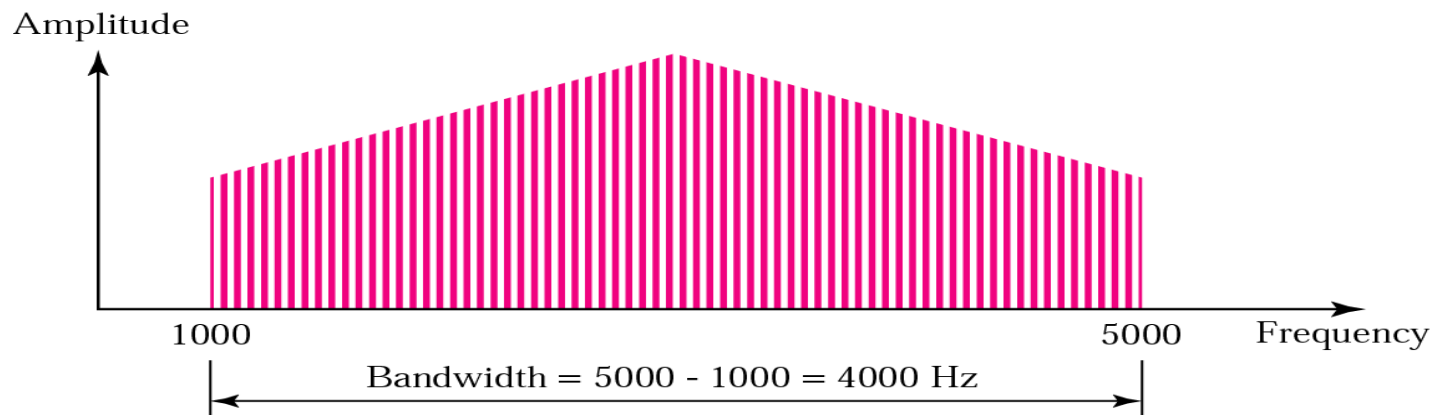
# 模拟通信与数字通信

---

- ◆ 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)

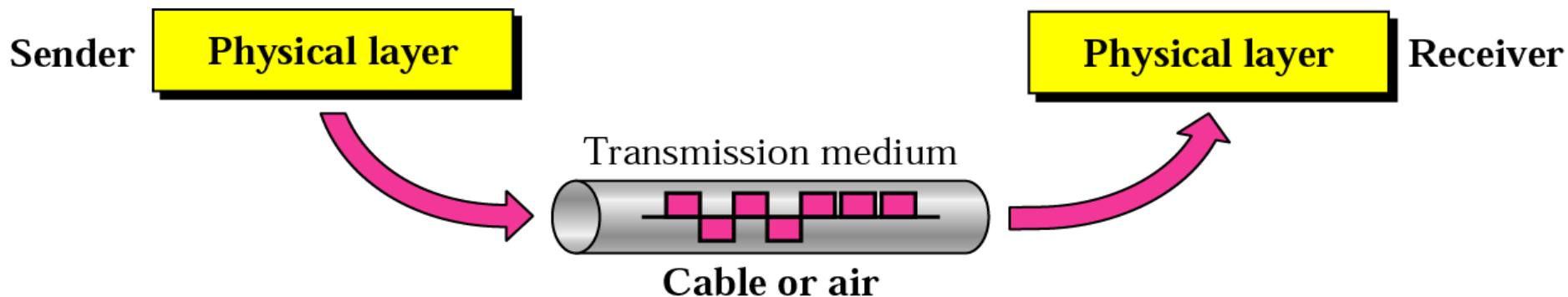
# 主要内容

---

- ◆ 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

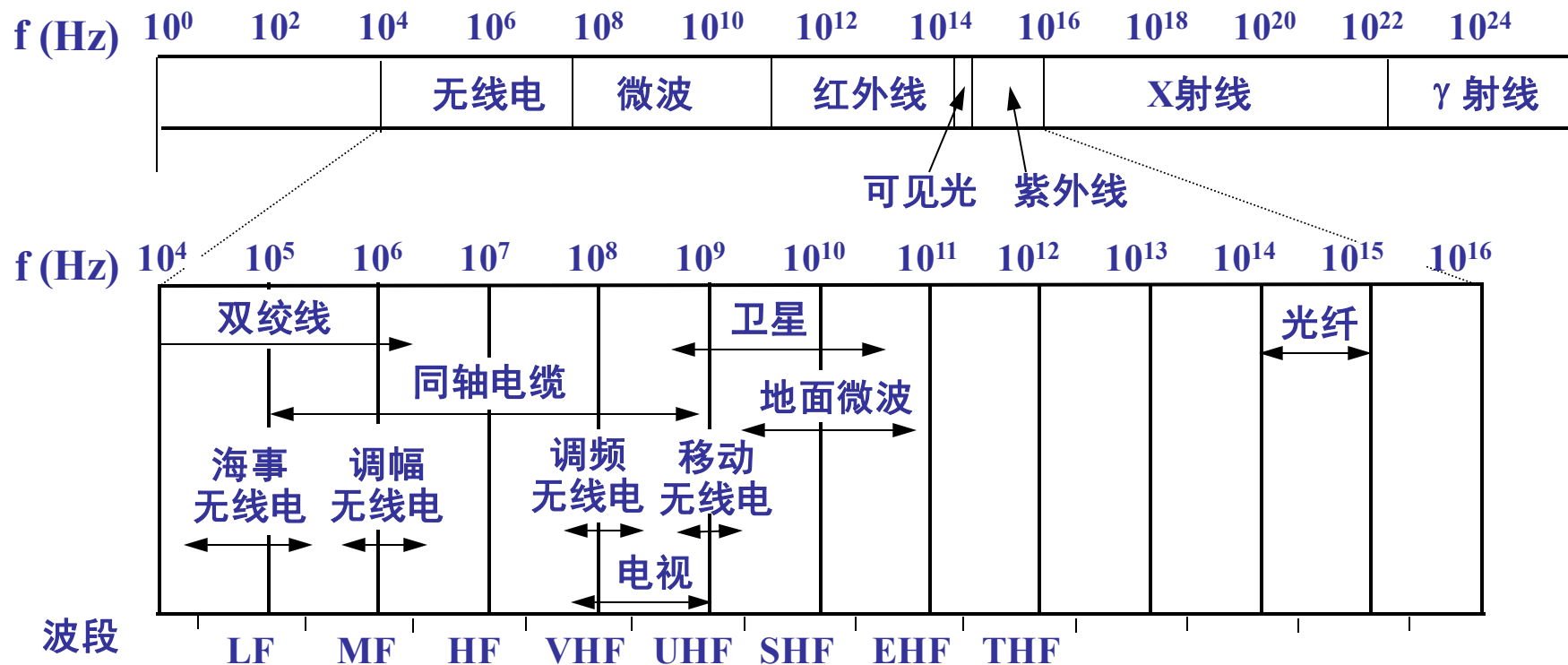
# 传输介质及分类

- ◆ 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

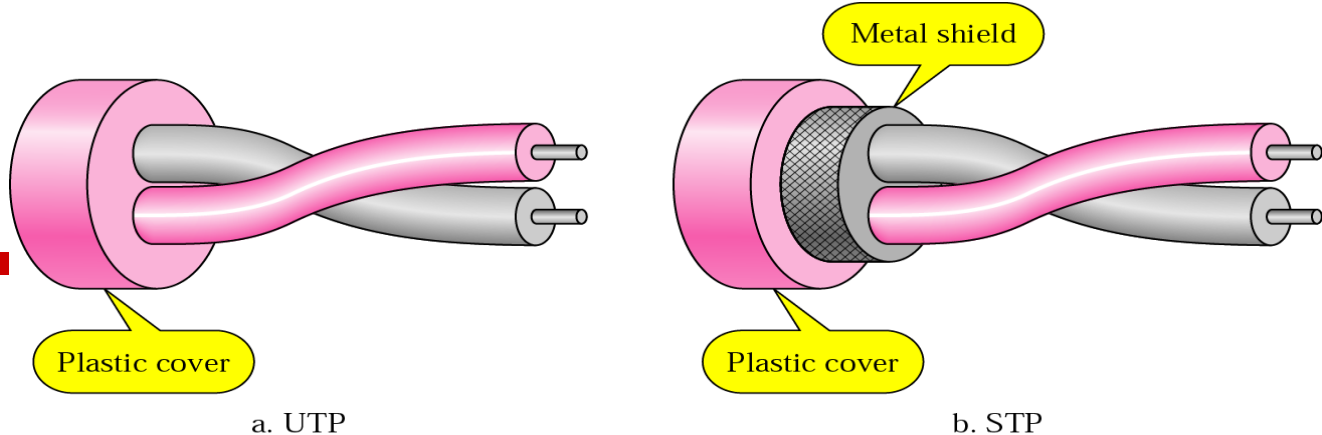




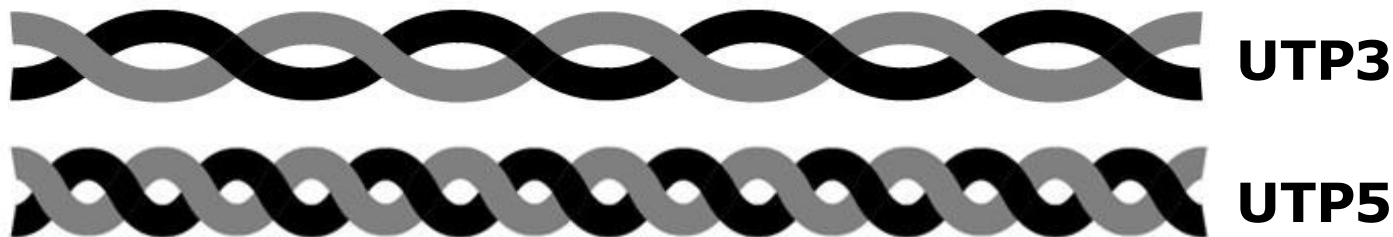
# 电磁波的频谱



# 双绞线



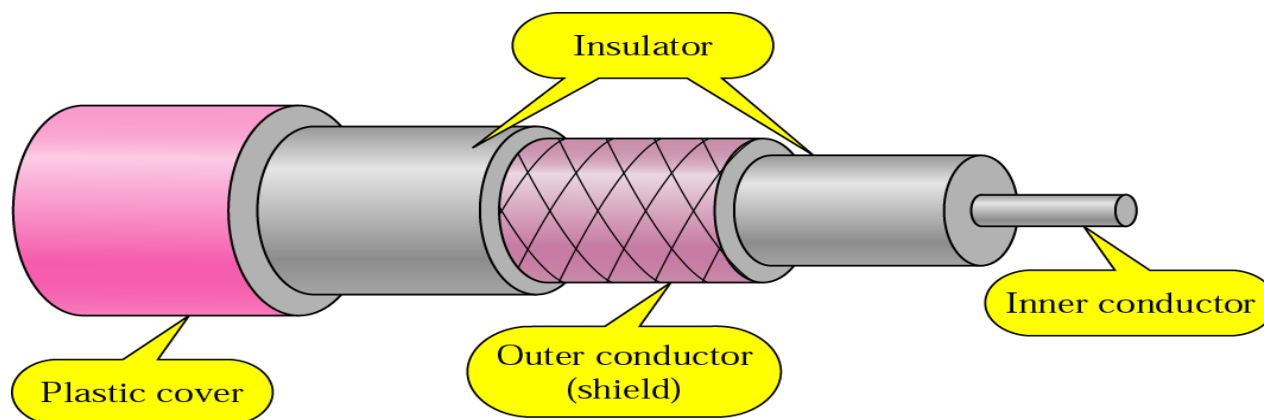
- ◆ 两根互相绝缘的铜线互相缠绕构成
- ◆ 可传输模拟信号和数字信号
- ◆ 主要应用
  - 固定电话的用户线
  - 计算机的网线



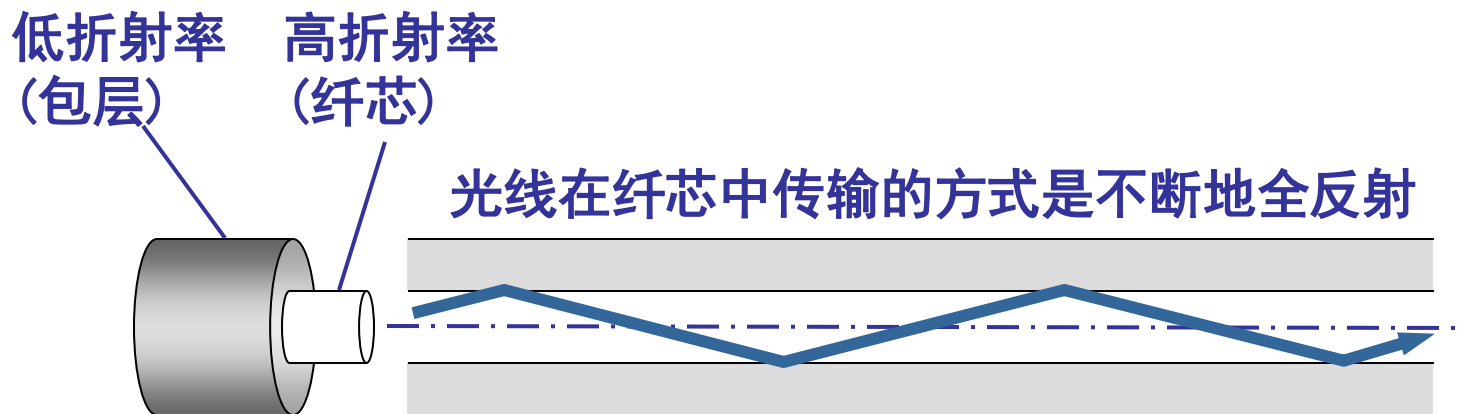
# 同轴电缆

## ◆ 两类同轴电缆

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



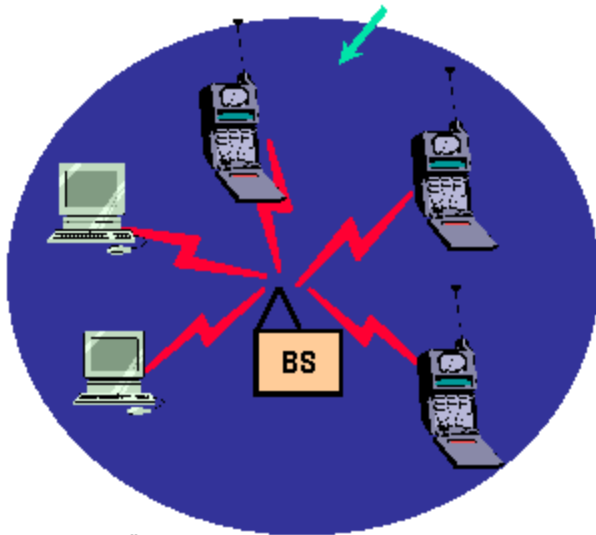
# 光纤



- ◆ 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)

基站覆盖的无线电区域

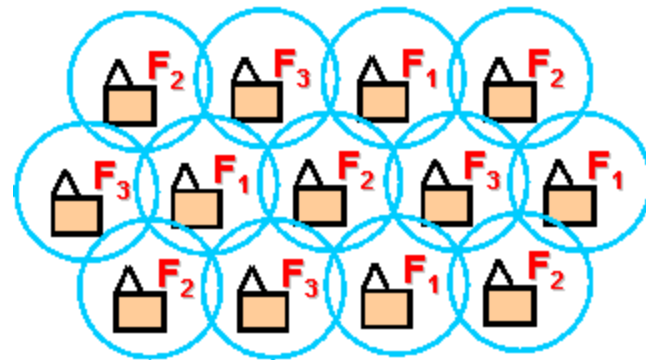


基站



计算机和手机终端

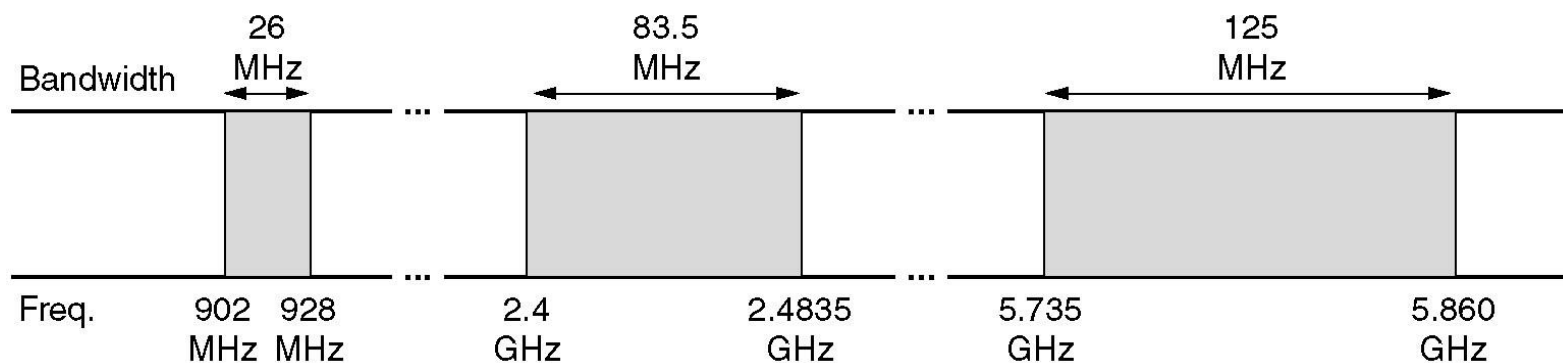
- ❑ 全方位传输
- ❑ 可以穿透建筑物
- ❑ 时延长
- ❑ 抗干扰能力差



# ISM频段

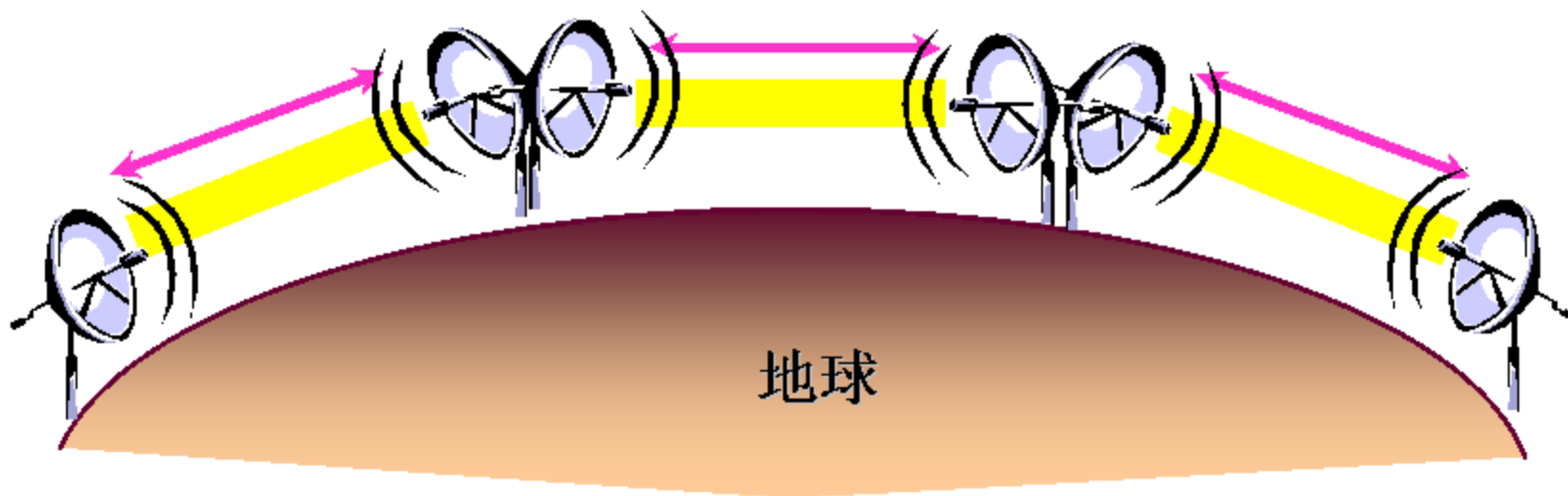
---

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



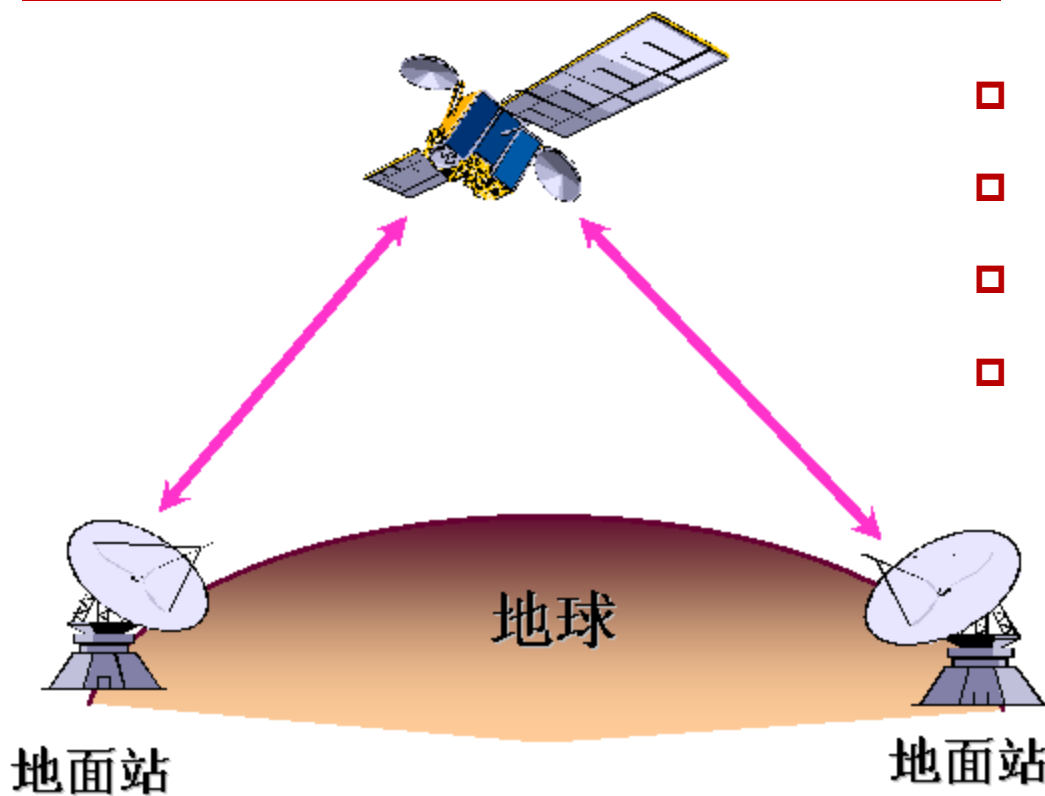
# 地面微波

- 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



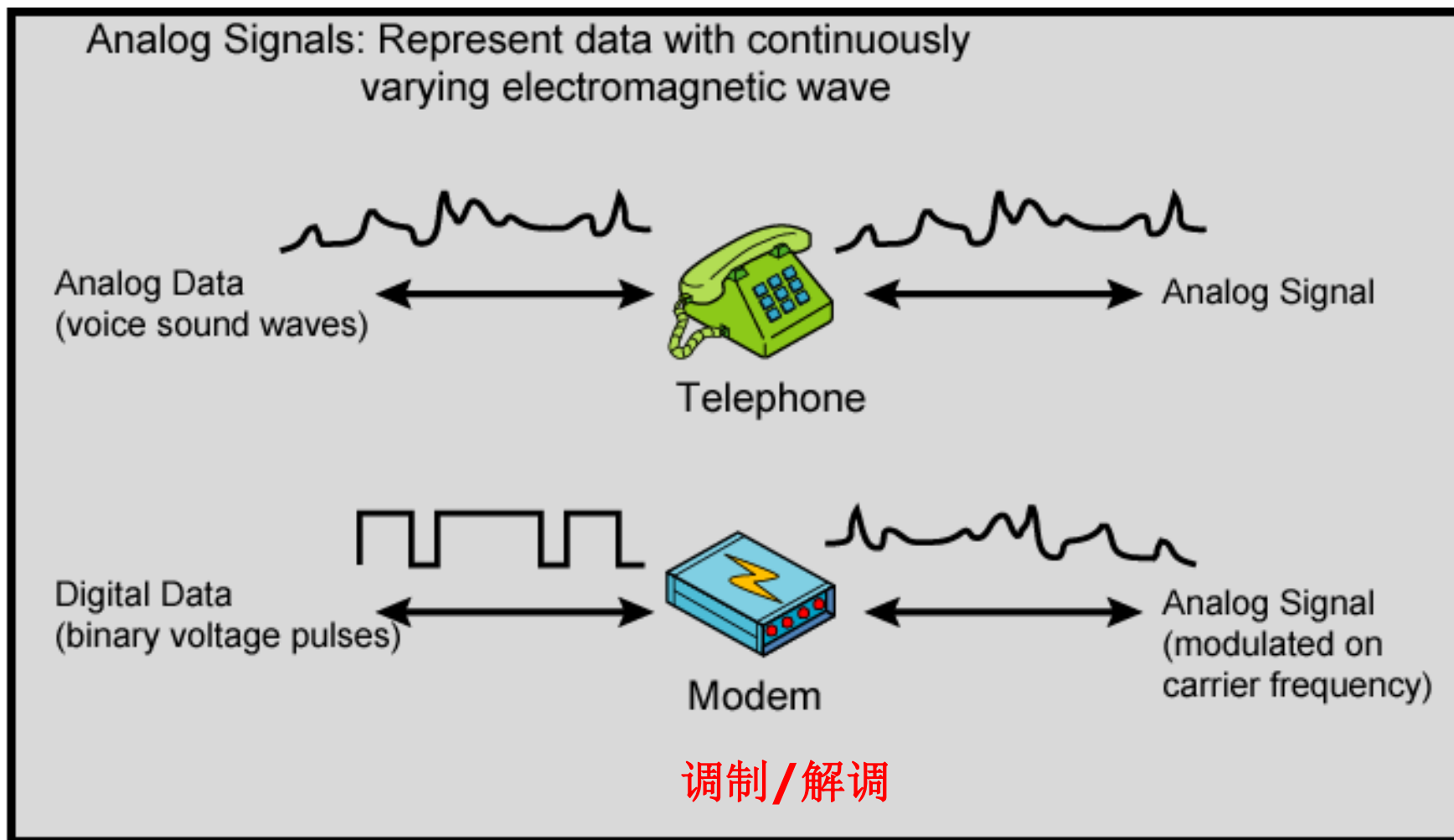


# 主要内容

---

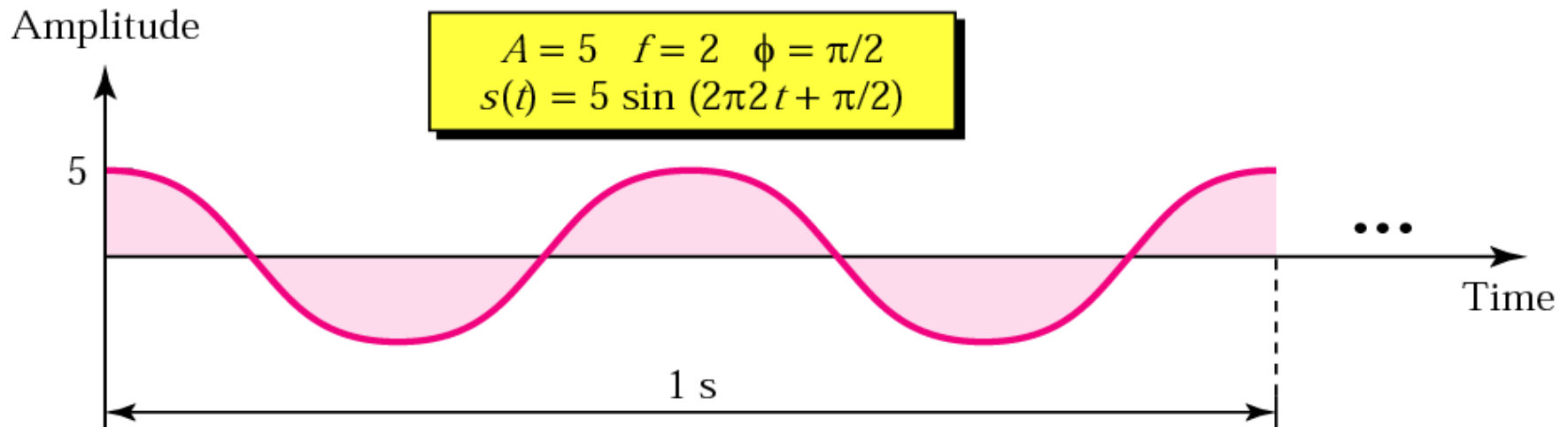
- ◆ 7.1 物理层概述
- ◆ 7.2 数据通信的基础知识
- ◆ 7.3 传输介质
- ◆ 7.4 调制技术和编码技术
- ◆ 7.5 复用技术
- ◆ 7.6 物理层互连设备
- ◆ 7.7 物理层的安全隐患

# 模拟信号承载模拟数据和数字数据



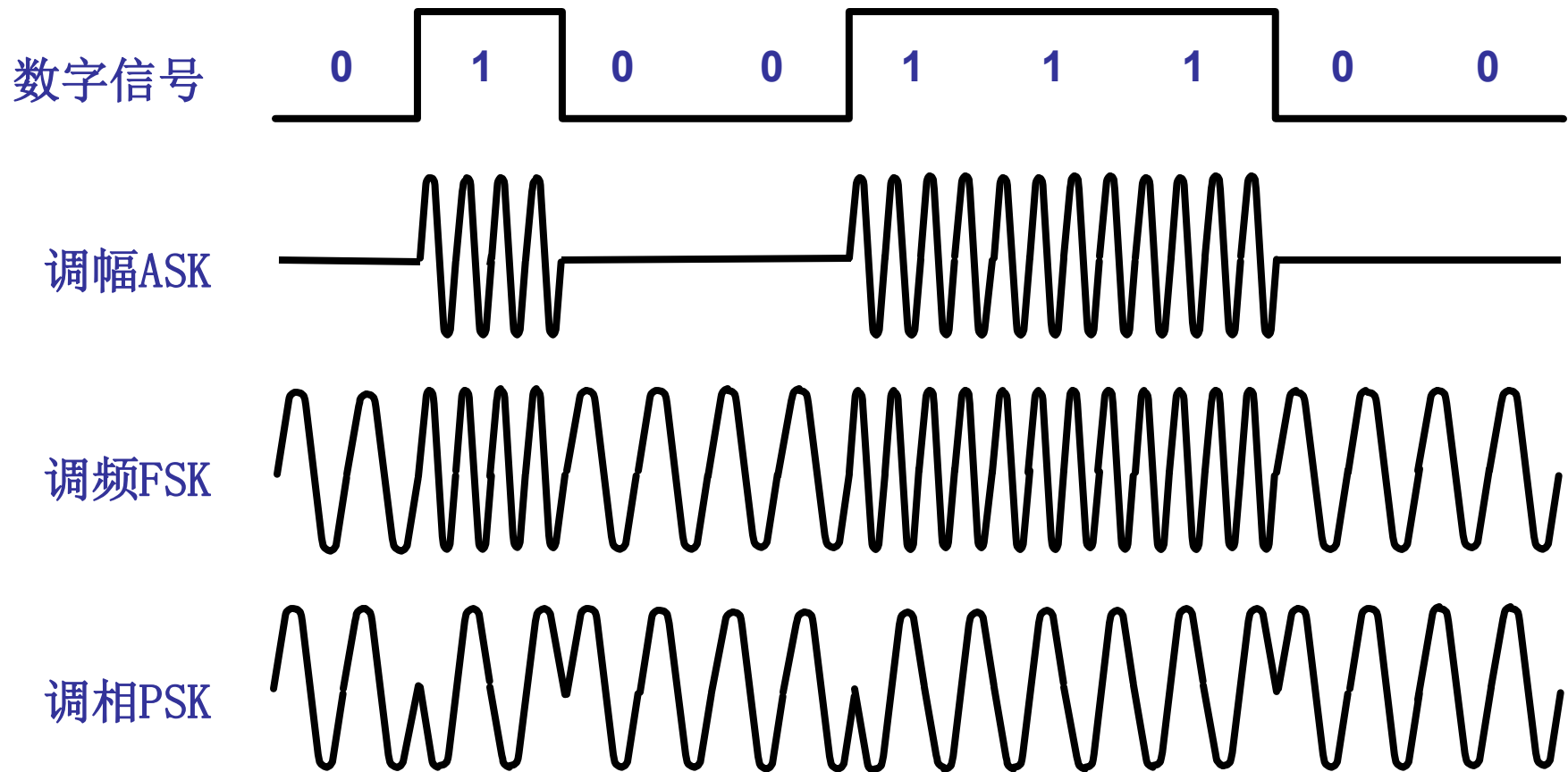
# 模拟信号的特征

## ◆ 振幅、频率、相位



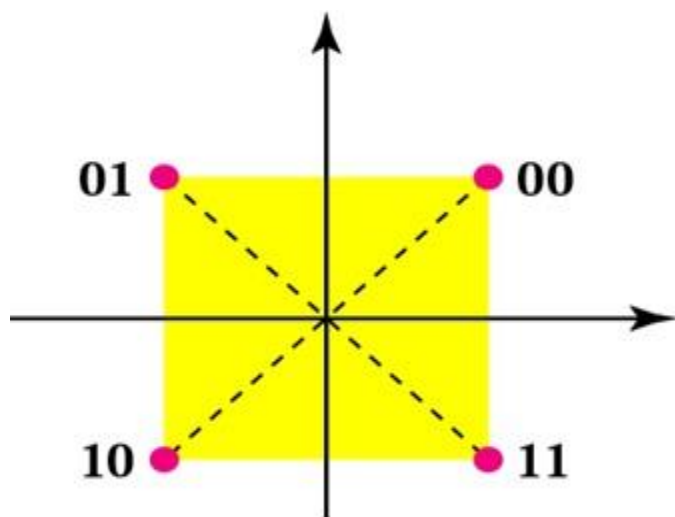
# 基本调制方法

---

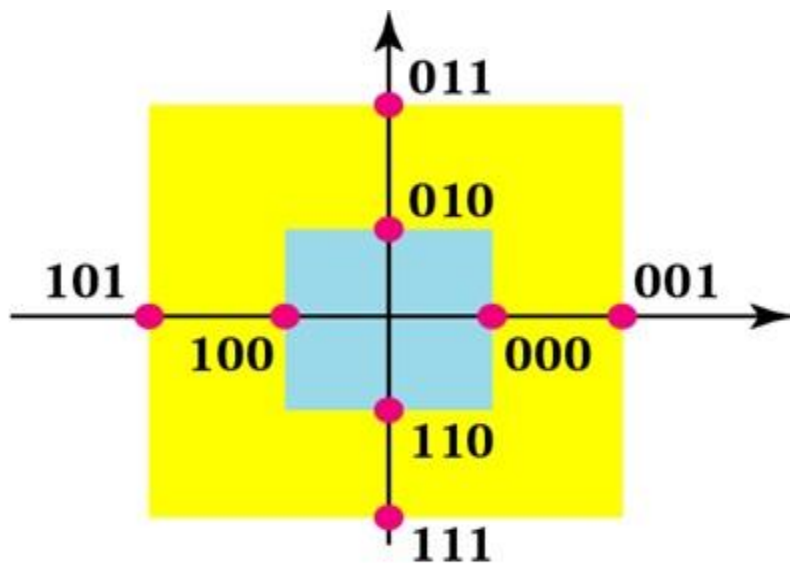


# 多级调制方法：正交振幅调制QAM

- ◆ 调幅和调相相结合
- ◆ 一个码元表示多位数据



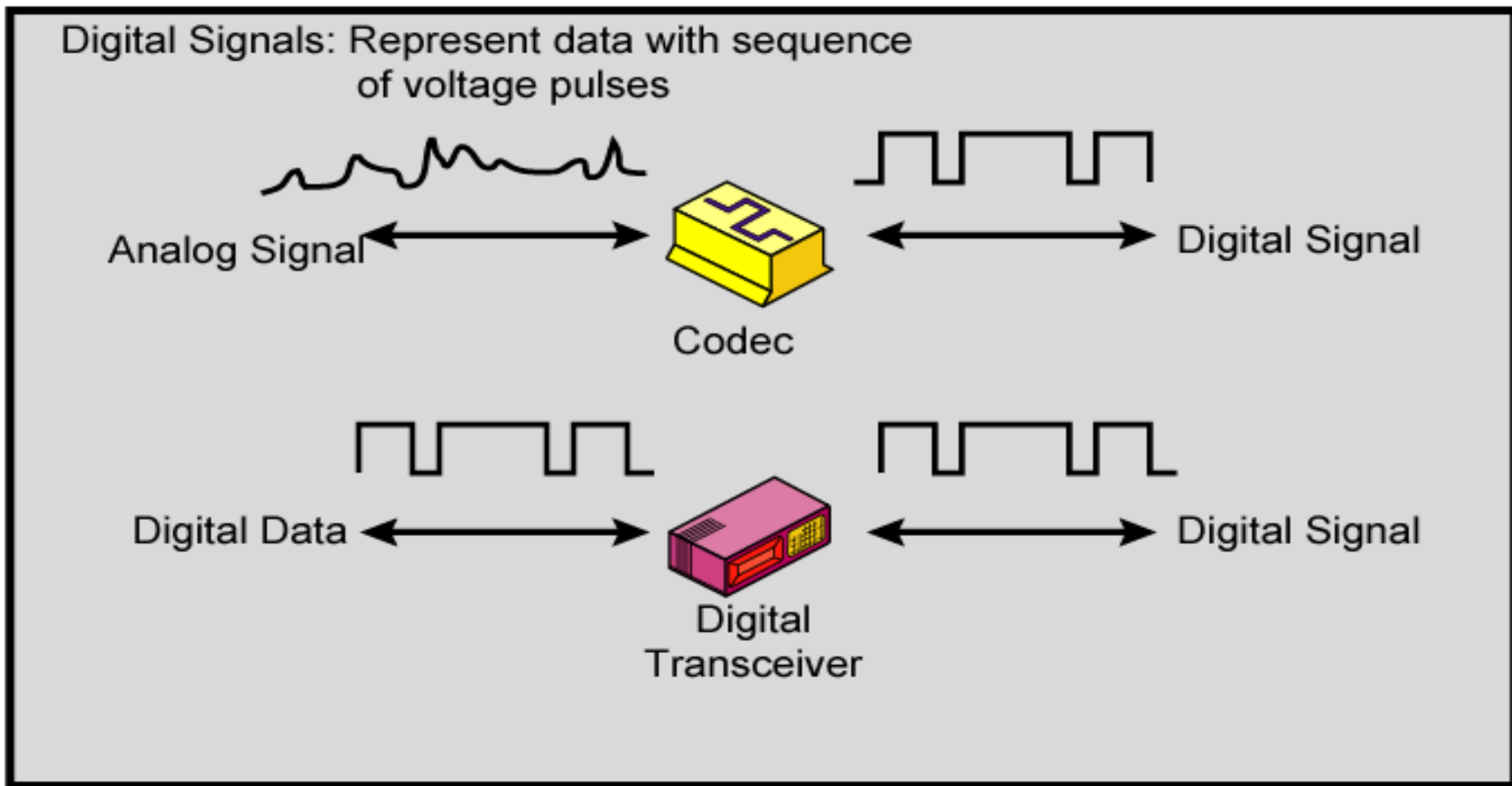
4-QAM  
1级幅值, 4级相位



8-QAM  
2级幅值, 4级相位

调制阶数

# 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

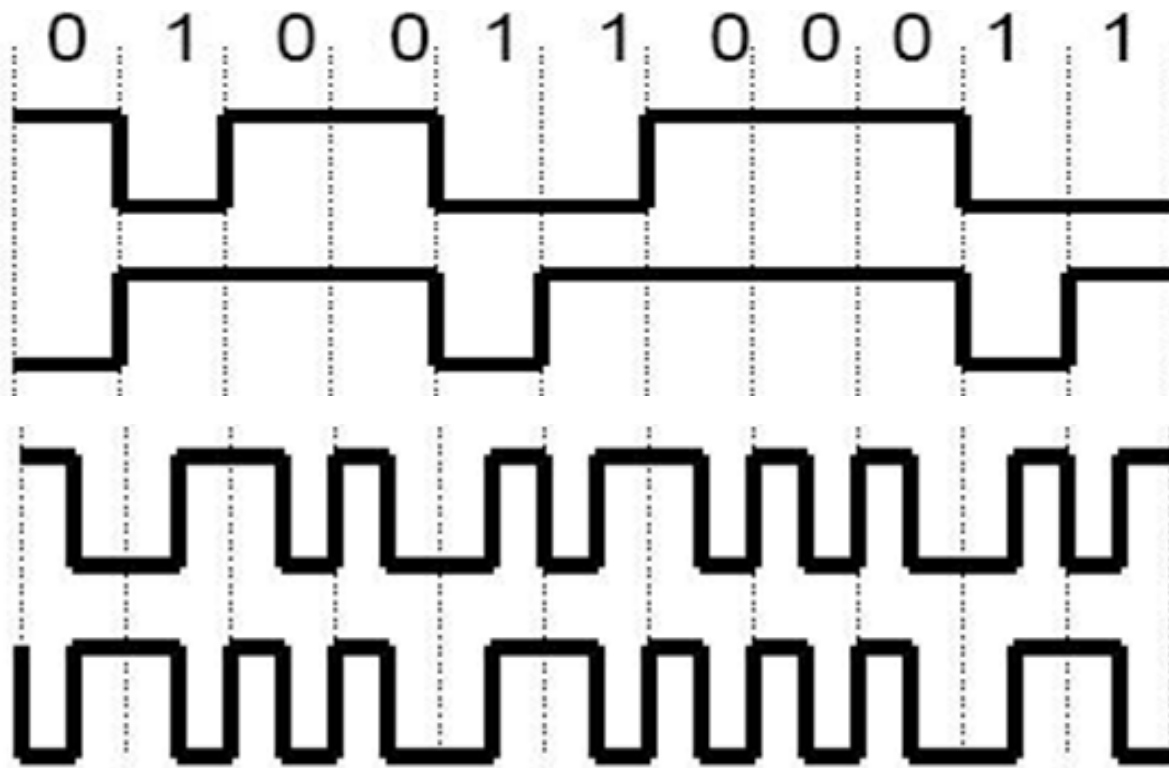
不归零反向编码

Manchester

曼彻斯特编码

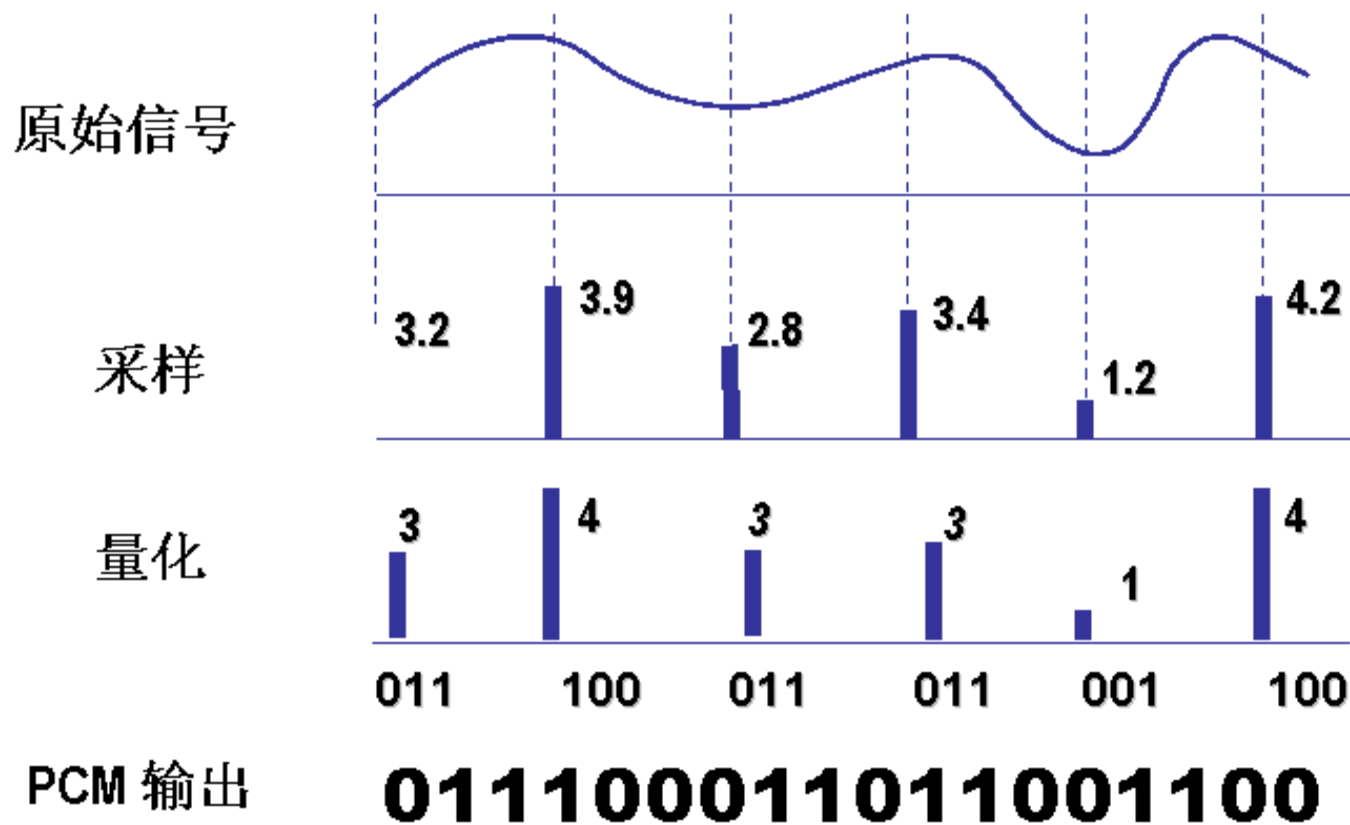
Differential manchester

差分曼彻斯特



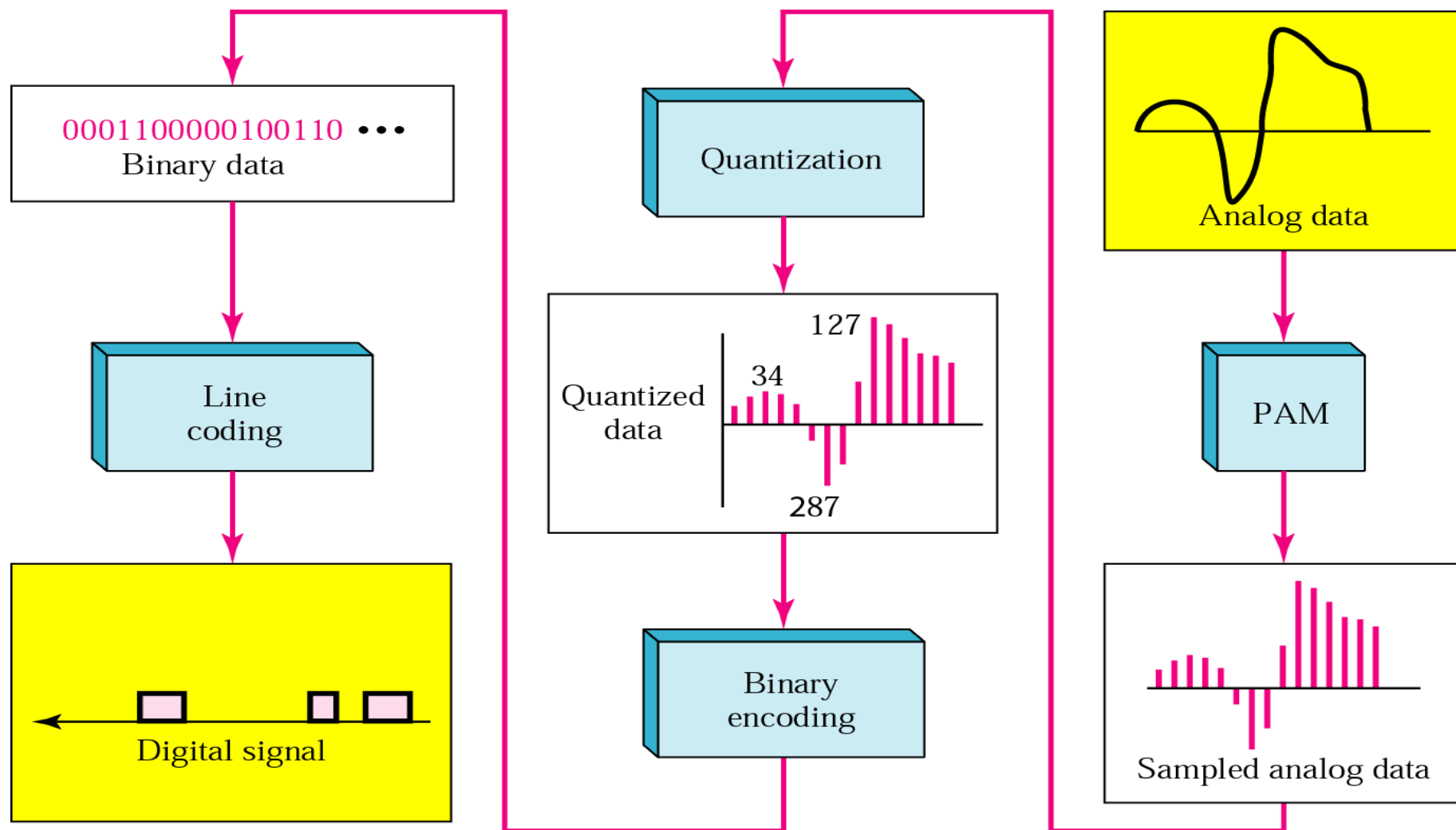
# 脉冲编码调制PCM

◆ 将模拟信号转换成数字信号





# PCM的操作过程



# 主要内容

---

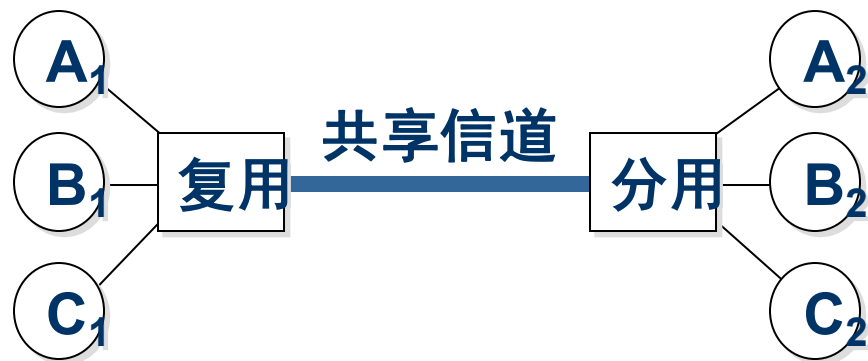
- ◆ 7.1 物理层概述
- ◆ 7.2 数据通信的基础知识
- ◆ 7.3 传输介质
- ◆ 7.4 调制技术和编码技术
- ◆ 7.5 复用技术
- ◆ 7.6 物理层互连设备
- ◆ 7.7 物理层的安全隐患

# 复用的概念

◆ 多路信号共享一条信道



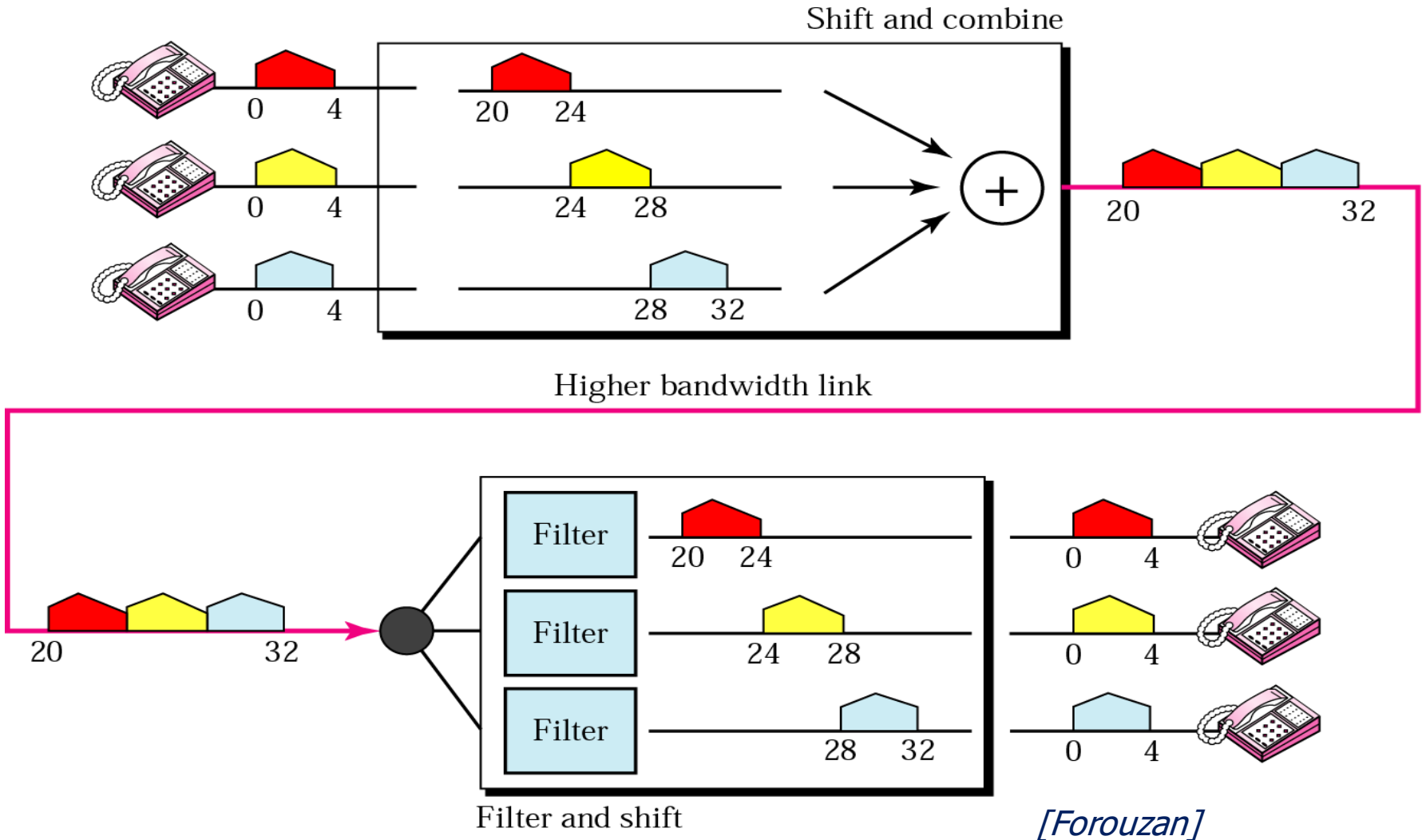
(a) 不使用复用技术



(b) 使用复用技术

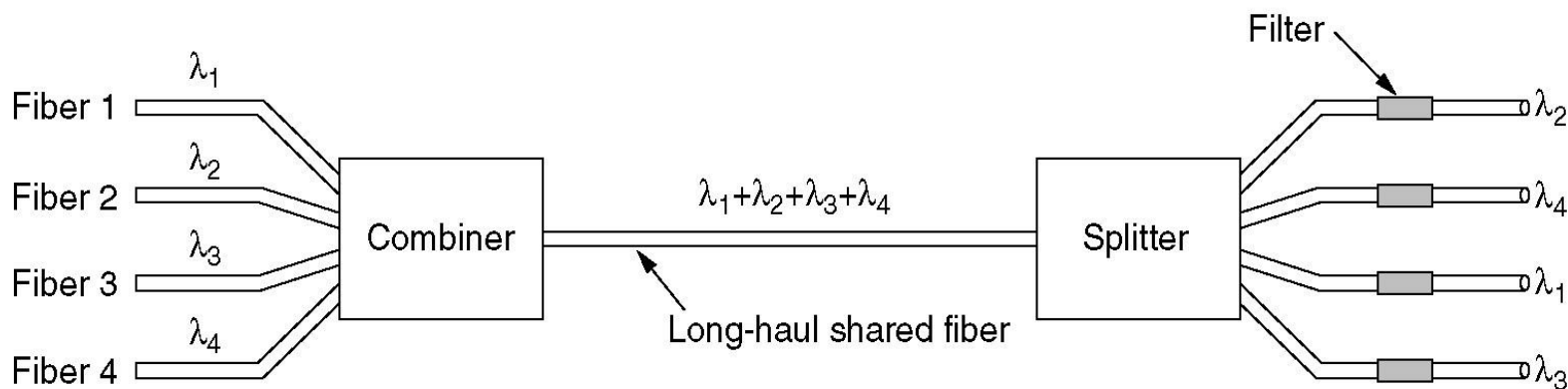
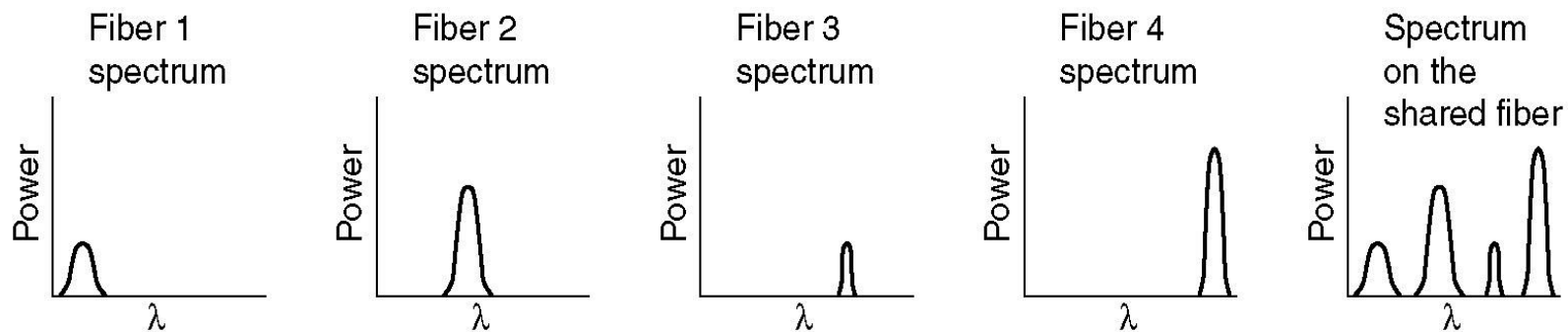
# 频分复用FDM

◆ 按照不同的频率划分子信道，用于模拟信号复用



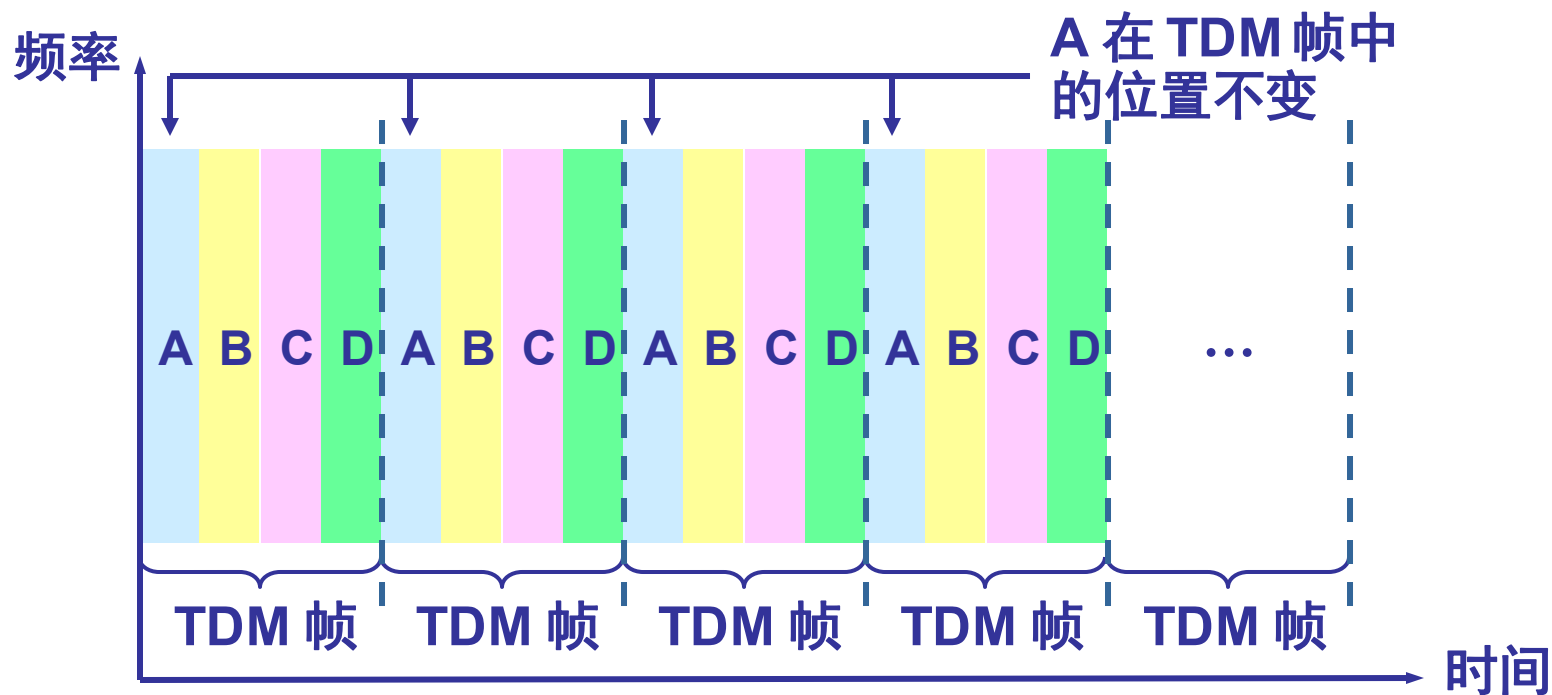
# 波分复用WDM

## ◆ 按照波长划分子信道



# 时分复用TDM

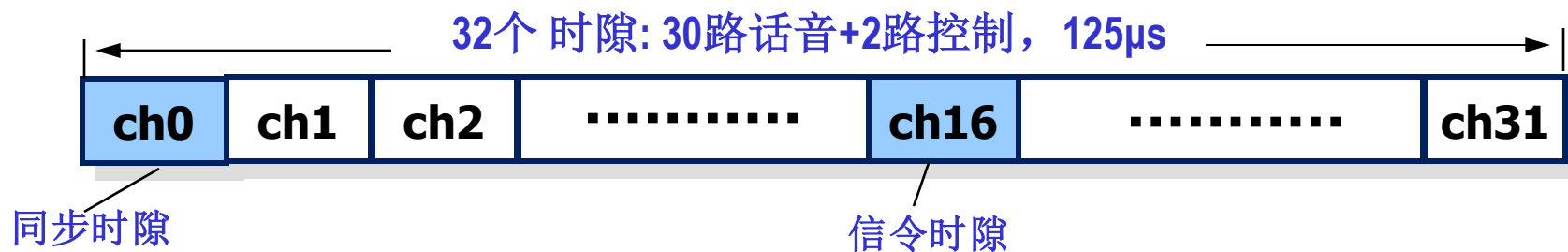
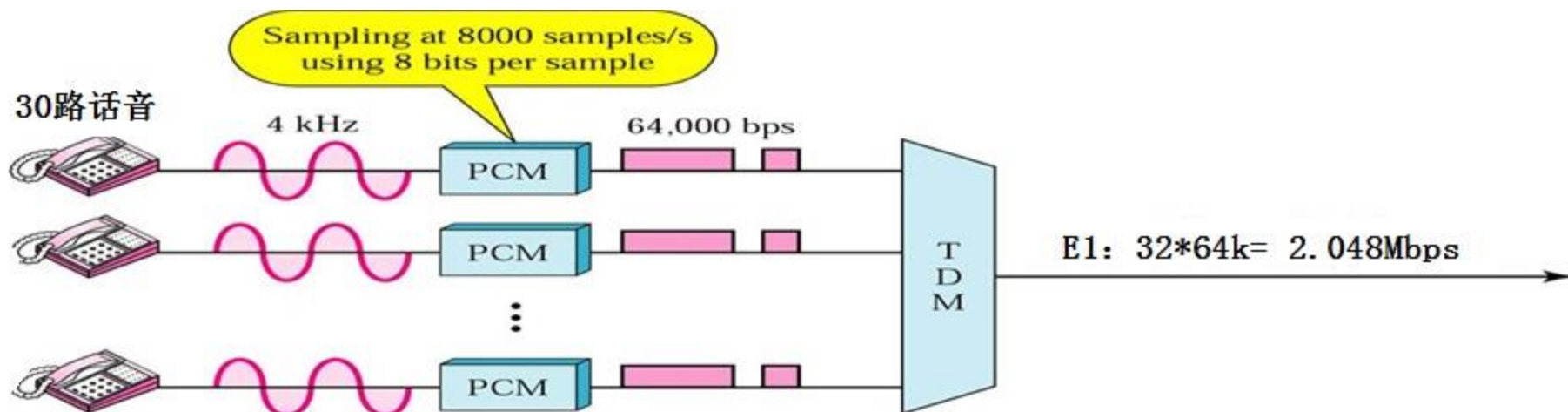
- ◆ 按照时间片来划分子信道，用于数字信号复用
- ◆ 所有用户在不同的时间占用**同样的**频带宽度



同步时分复用

# 同步时分复用示例：E1帧

◆ 应用于电话骨干网，数字话音传输



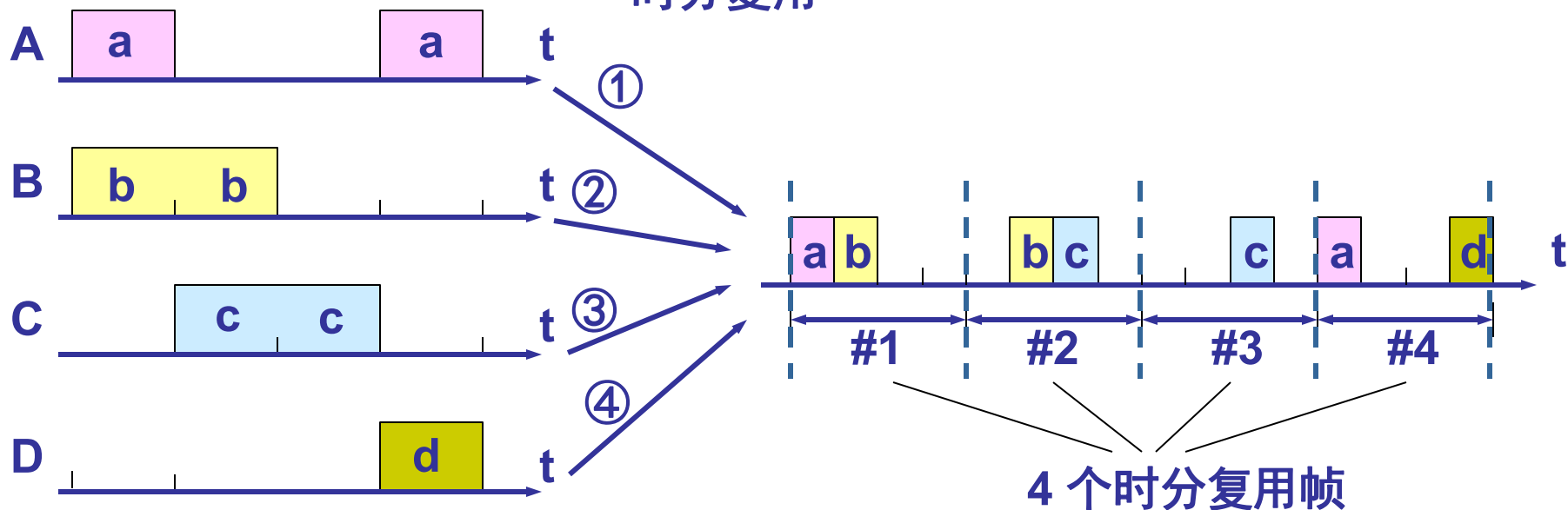
**E1时分复用帧**

# 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

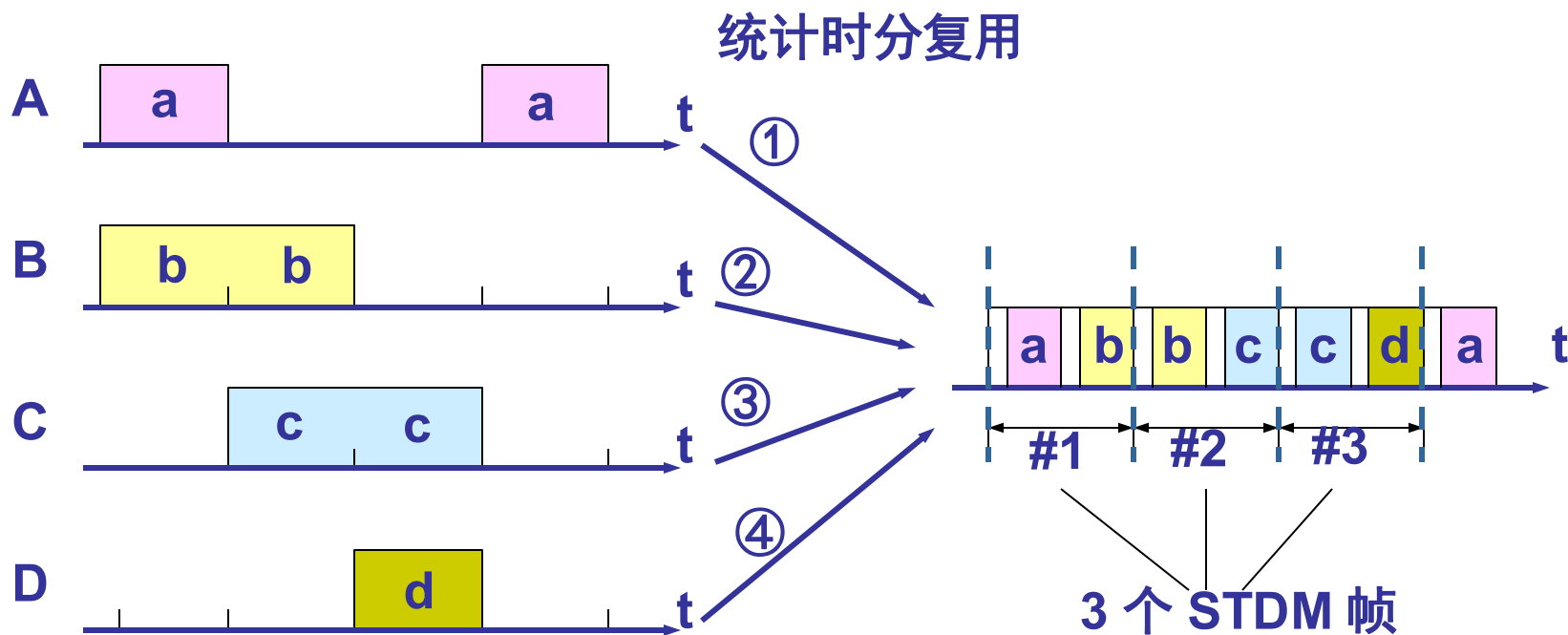
时分复用





# 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

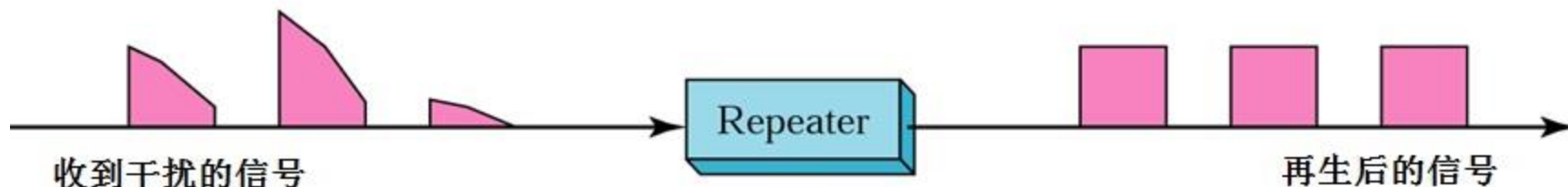
MAC 地址

Hub/中继器

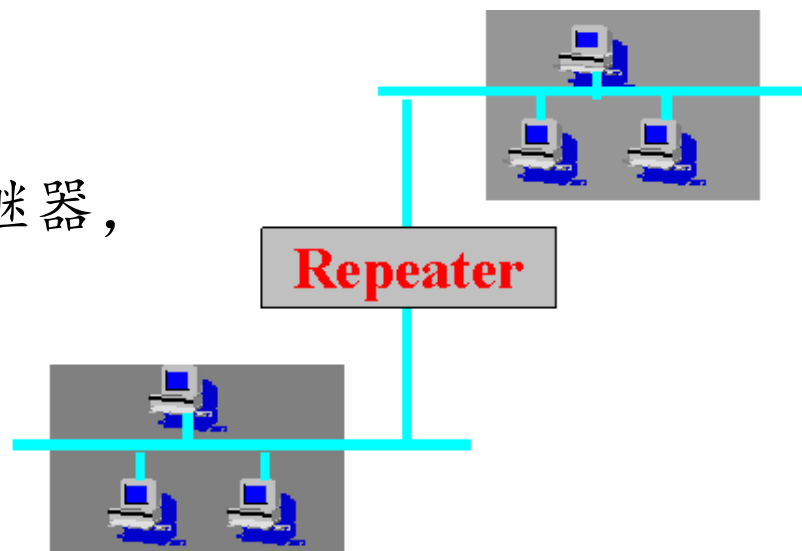
连接器、接插板

# 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

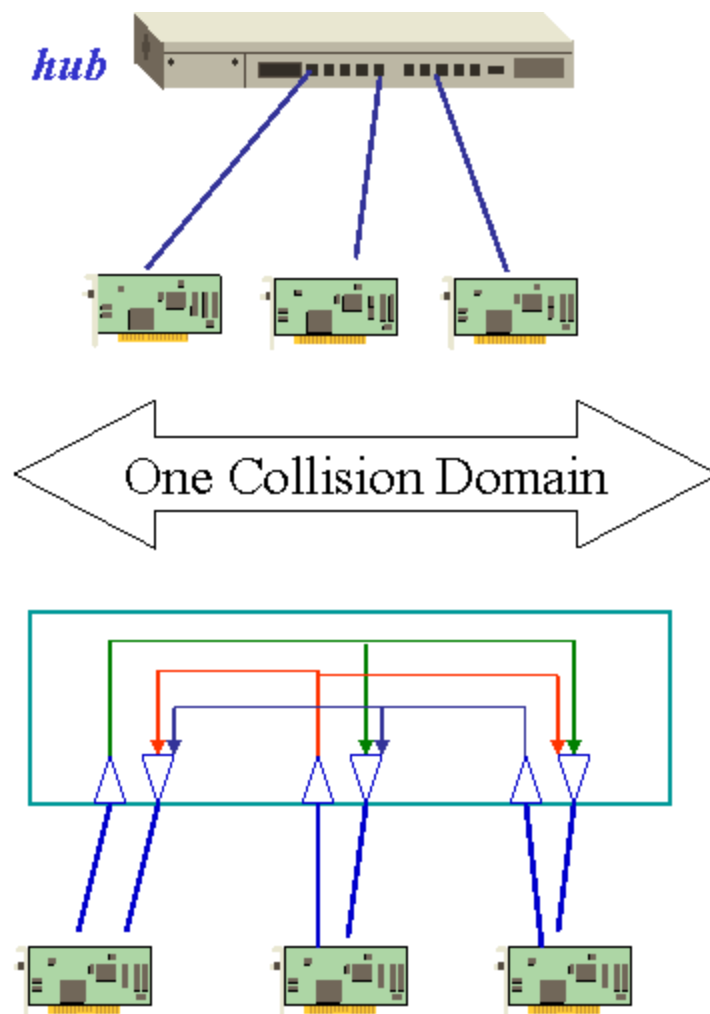


- ◆ 以太网的5-4-3原则
  - 最多有5个网段、4个中继器，其中最多3个网段有主机
- ◆ 一个冲突域



# 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



# 系统化综合理解：

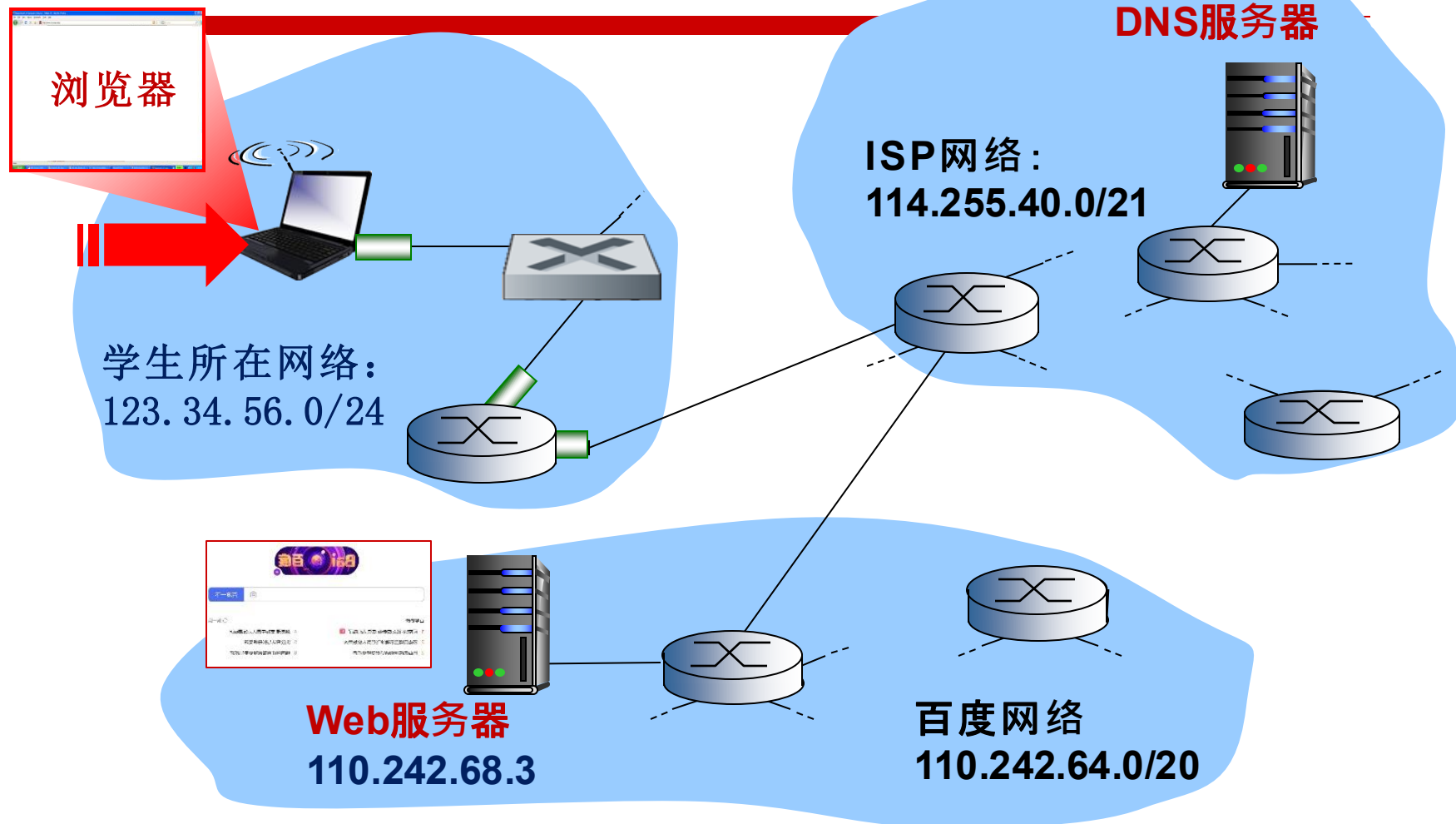
## 一次Web请求的过程

---

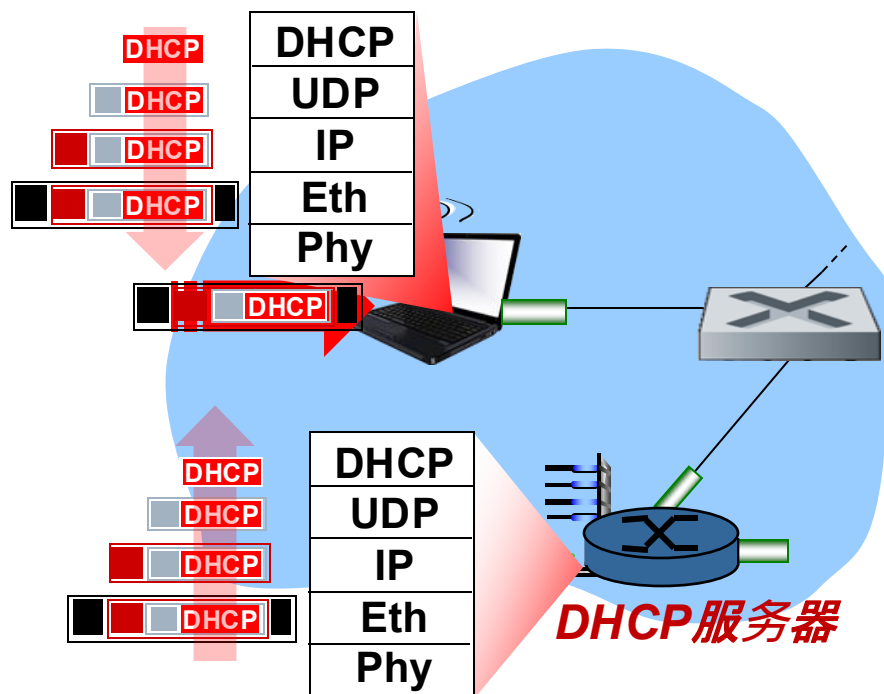
- ◆ 贯穿完整的五层体系结构
  - 应用层、传输层、网络层、数据链路层和物理层
- ◆ 目标：综合理解网络的整体工作过程、相关协议的功能及要点
- ◆ 示例场景：访问[www.baidu.com](http://www.baidu.com)

注：不考虑私有地址（NAT）情况

## 示例场景



# 第一步：连接到因特网（1）



◆ 笔记本电脑首先要获得上网参数：IP地址、路由器地址、DNS服务器的IP地址

→ 使用**DHCP**

➤ DHCP请求：

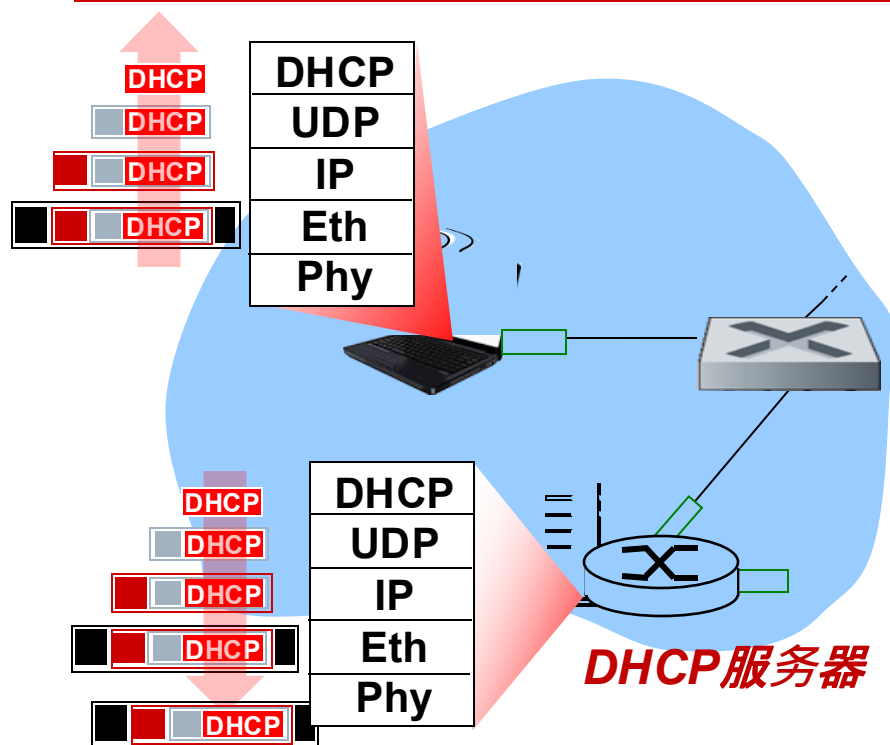
封装在**UDP**数据报

→ **IP包** → **以太网帧**

➤ 以太网帧在**LAN**上广播  
(目的**MAC**地址为**FF-FF-FF-FF-FF-FF**)

➤ DHCP服务器收到以太网帧，解封：**IP包**  
→ **UDP**数据报 → **DHCP**请求

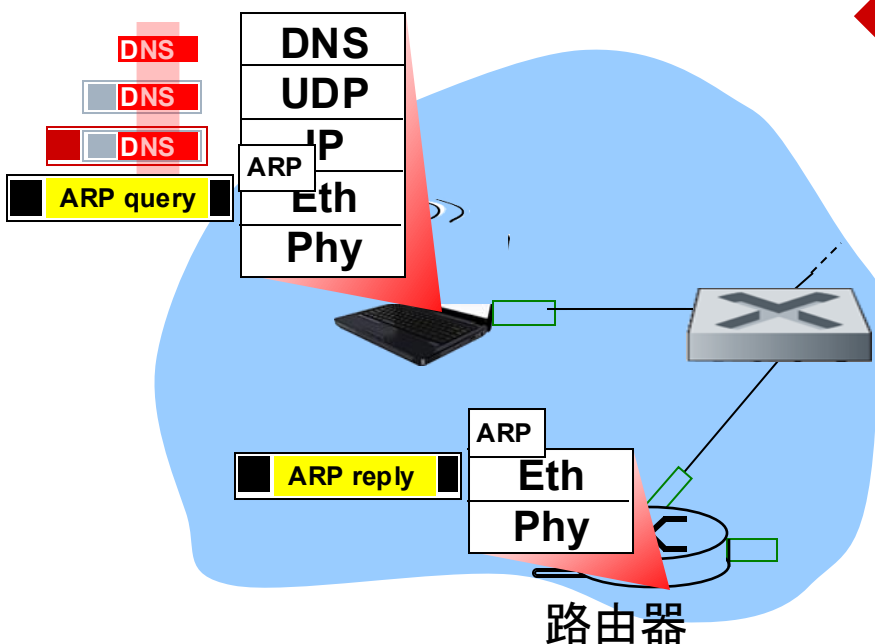
# 第一步：连接到因特网（2）



- ◆ DHCP服务器返回 DHCP ACK，包含所请求的上网相关参数
- DHCP服务器将DHCP ACK封装成帧，通过LAN交换机转发给笔记本电脑
- 解封，DHCP客户收到 DHCP ACK

客户端获得IP地址，获知子网掩码、路由器的IP地址、DNS服务器的IP地址

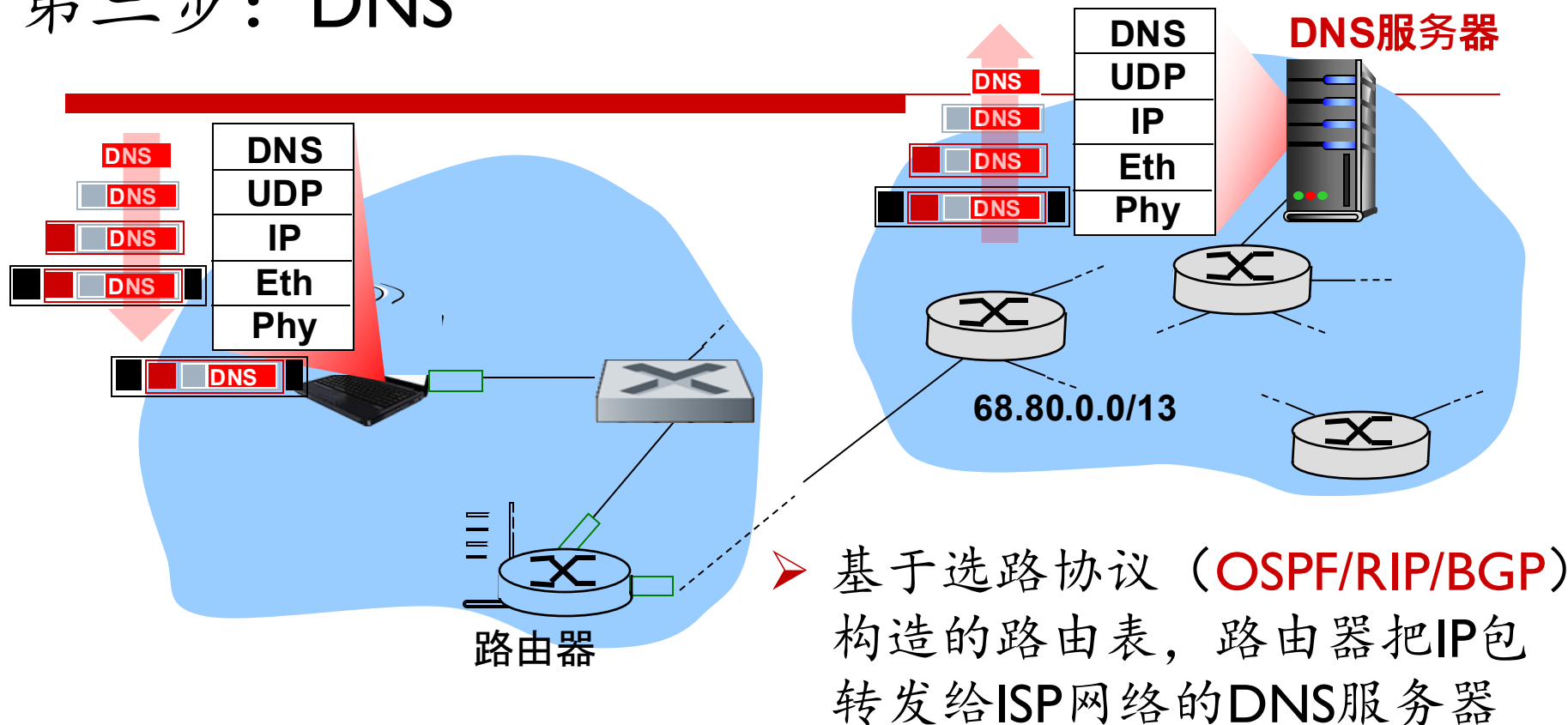
## 第二步：ARP



- ◆ 发送**HTTP**请求之前，客户端需要获知**www.baidu.com**对应的IP地址 → 使用**DNS**
  - 解析器产生DNS请求，封装：  
→ UDP数据报 → IP包 → 以太网帧
  - 要把帧发送给路由器，需要**MAC地址** → 使用**ARP**
  - 客户端广播ARP请求，路由器收到后发送ARP应答，包含自己接口网卡的 **MAC地址**

- 客户端获知**路由器接口的MAC地址**，可以发送包含DNS请求的帧

# 第三步：DNS

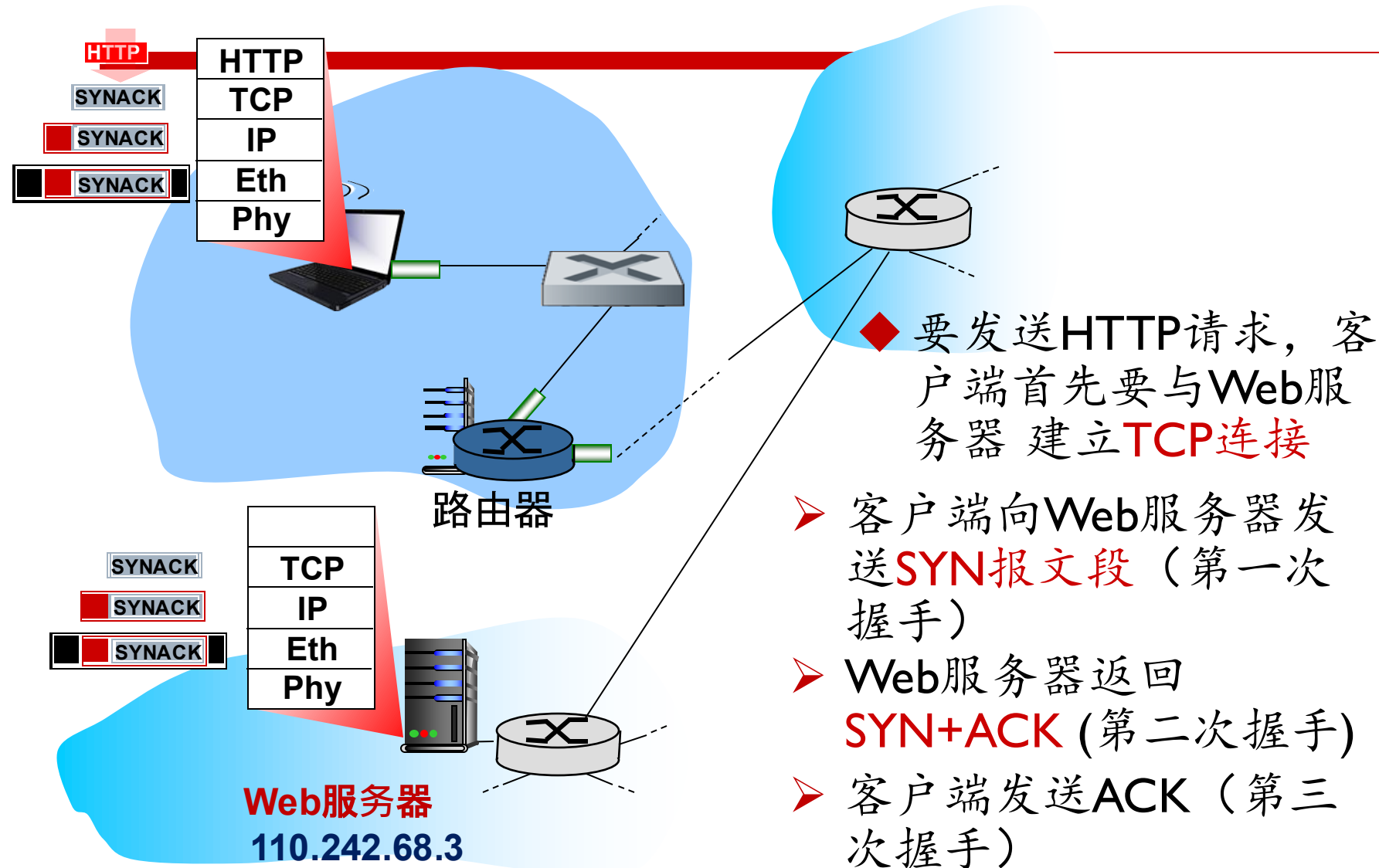


➤ 路由器收到包含DNS请求的IP包

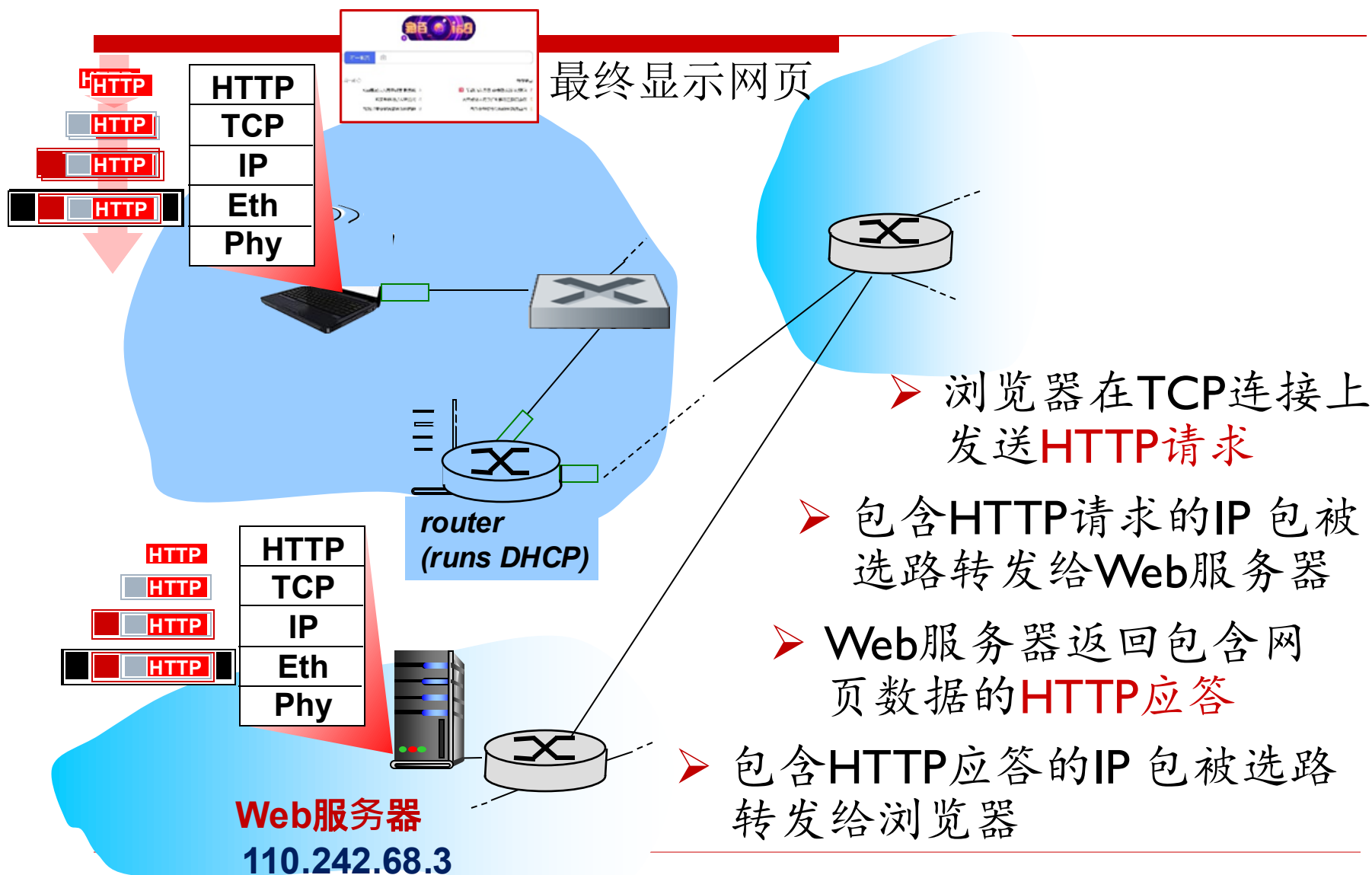
➤ 基于选路协议（**OSPF/RIP/BGP**）构造的路由表，路由器把IP包转发给ISP网络的DNS服务器

➤ 解封，DNS服务器返回www.baidu.com对应的IP地址

## 第四步：建立TCP连接



## 第五步：HTTP请求/应答





# 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];
  - James F. Kurose, Keith W. Ross, Computer Networking: A Top Down Approach, 7<sup>th</sup> Edition, Pearson/Addison Wesley, April 2016, 引用时标记为[Kurose];
  - Behrouz A. Forouzan, Data Communications and Networking, Fourth Edition, McGraw-Hill Higher Education, 2007年1月， 引用时标记为[Forouzan]