

计算机网络

■ 主讲：肖林



内容



- ① 第1章 概述
- ② **第2章 物理层**
- ③ 第3章 数据链路层
- ④ 第4章 介质访问控制子层
- ⑤ 第5章 网络层
- ⑥ 第6章 传输层
- ⑦ 第7章 应用层

第2章 物理层






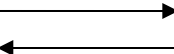
- ④ 物理层的基本概念
- ④ 数据通信的基础知识
- ④ 引导性传输介质
- ④ 非引导性传输介质
- ④ 模拟传输与数字传输
- ④ 信道复用技术



2.1 物理层的基本概念

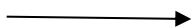
□ 几点说明

- 连接方式（点到点，点到多点）
- 通信方式（单工，半双工，全双工）

单工	半双工	全双工
仅单向 	 或  可换	同时双向 

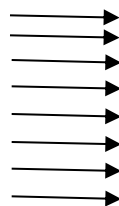
- 位传输方式（串行，并行）

串行：01100010



并行：

0
1
1
0
0
0
1
0



高位

低位

□ 物理层的四个重要特性

物理层的四个重要特性



- 机械特性 (mechanical characteristics)
- 电气特性 (electrical characteristics)
- 功能特性 (functional characteristics)
- 规程特性 (procedural characteristics)



物理层的机械特性

- 主要定义物理连接的边界点，即接插装置
- 规定物理连接时所采用的规格、引脚的数量和排列情况
- 常用的标准接口
 - ISO 2110, 25芯连接器, EIA RS-232-C, EIA RS-366-A
 - ISO 2593, 34芯连接器, V.35宽带MODEM
 - ISO 4902, 37芯和9芯连接器, EIA RS-449
 - ISO 4903, 15芯连接器, X.20、X.21、X.22

物理层的电气特性



- 规定传输二进制位时，线路上信号的电压高低、阻抗匹配、传输速率和距离限制
- 早期的标准是在边界点定义电气特性；最近的标准则说明了发送器和接收器的电气特性，而且给出了有关对连接电缆的控制
- CCITT 标准化的电气特性标准
 - CCITT V.10/X.26：新的非平衡型电气特性，EIA RS-423-A
 - CCITT V.11/X.27：新的平衡型电气特性，EIA RS-422-A
 - CCITT V.28：非平衡型电气特性，EIA RS-232-C
 - CCITT X.21/EIA RS-449

物理层的功能特性和规程特性



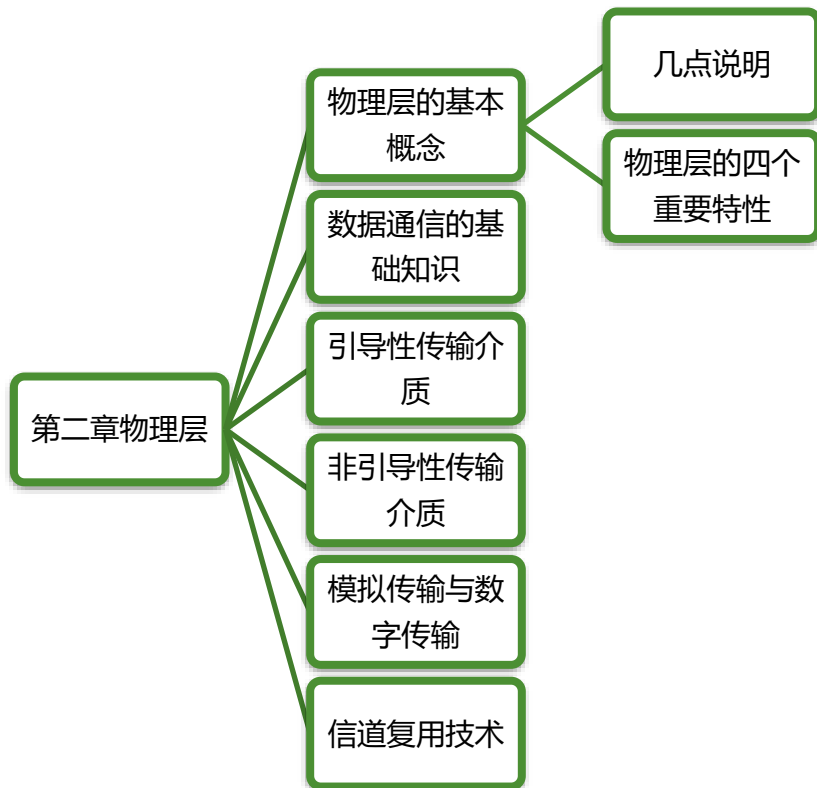
■ 功能特性

- 主要定义各条物理线路的功能
- 线路的功能分为四大类
 - ◆ 数据
 - ◆ 控制
 - ◆ 定时
 - ◆ 地(保护地和信号地)

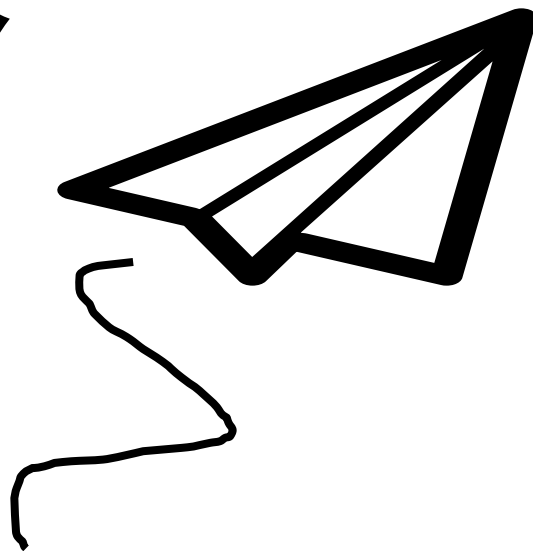
■ 规程特性

- 主要定义各条物理线路的工作规程和时序关系

本章导航与要点



本节课程结束



2.2 数据通信的基础知识



- 数据通信的理论基础
- 数据通信系统模型
- 有关信号的基本概念
- 信道的最高码元传输速率
- 信道的极限信息传输速率

数据通信的理论基础



- 主要内容：信号在通信信道上传输时的数学表示及其所受到的限制
- 傅里叶分析

任何一个周期为T的有理周期性函数 $g(t)$ ，可分解为若干项（可能无限多项）正弦和余弦函数之和

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

其中， $f = 1/T$ 是基本频率， a_n ， b_n 是n次谐波的正弦和余弦振幅值

$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt; \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt; \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt$$

信号在信道上传输时的特性



■ 传输失真

- 所有传输设备在传输过程中都要损失一些能量
- 传输设备对不同傅里叶分量的衰减不同，因此引起输出失真

■ 有效带宽

- 信道有截止频率 f_c (Hz赫兹)， $0 \sim f_c$ 的振幅不衰减， f_c 以上的振幅衰减厉害
- 这主要由信道的物理特性决定， $0 \sim f_c$ 称为信道的有效带宽
- 实际使用时，可以接入滤波器，限制用户的带宽

■ 通过信道的谐波次数越多，信号越逼真

有限带宽信号示例

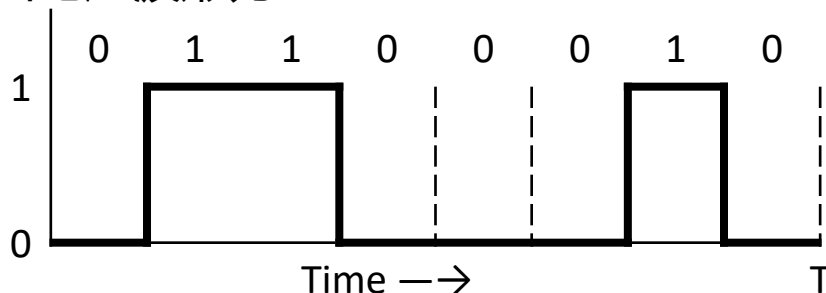
传输 ASCII 字符 b: 01100010, 其傅里叶分析的系数为

$$a_n = \frac{1}{\pi n} [\cos(\pi n/4) - \cos(3 \pi n/4) + \cos(6 \pi n/4) - \cos(7 \pi n/4)]$$

$$b_n = \frac{1}{\pi n} [\sin(3 \pi n/4) - \sin(\pi n/4) + \sin(7 \pi n/4) - \sin(6 \pi n/4)]$$

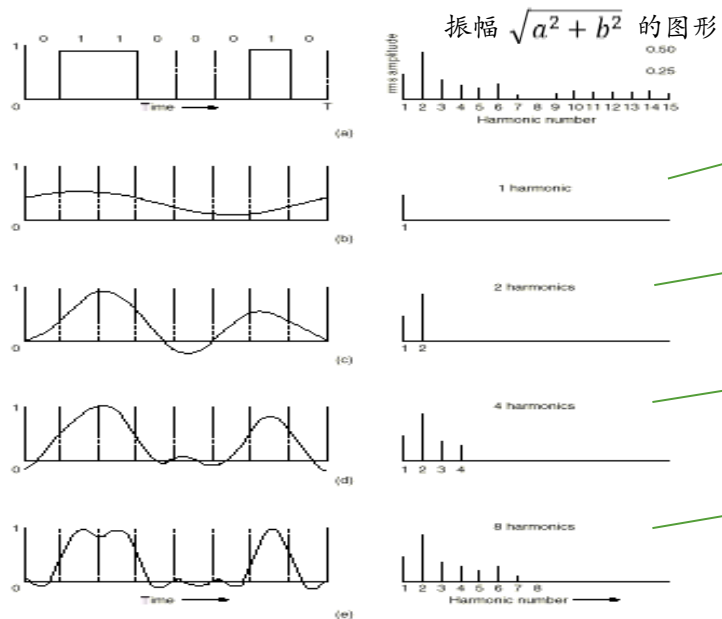
$$c = 3/8; \quad \sqrt{a^2 + b^2} \text{ 为振幅, 其平方与传输能量成正比}$$

其输出电压波形为



$$g(t) = \begin{cases} 0 & 0 < t \leq \frac{T}{8} \\ 1 & \frac{T}{8} < t \leq \frac{3T}{8} \\ 0 & \frac{3T}{8} < t \leq \frac{6T}{8} \\ 1 & \frac{6T}{8} < t \leq \frac{7T}{8} \\ 0 & \frac{7T}{8} < t < T \end{cases}$$

有限带宽信号示例 (2)



只允许一个谐波通过信道
时得到的结果信号

允许二个谐波通过信道时
得到的结果信号

允许四个谐波通过信道时
得到的结果信号

允许八个谐波通过信道时
得到的结果信号

图(a) 一个二进制信号和它的平方根傅里叶振幅
图(b)~(e) 逐渐接近原始信号

有限带宽信号示例 (3)

音频线路的截止频率为3000Hz，传输率为b(bps)，发送8比特需要的时间是8/b秒，
第一个谐波的频率是b/8 Hz，最高谐波数： $N = f_c / f_1 = 3000 / (b/8) = 24000/b$

结论：即使对于完善的信道，有限的带宽限制了数据的传输速率

数据传输率与频率之间的关系

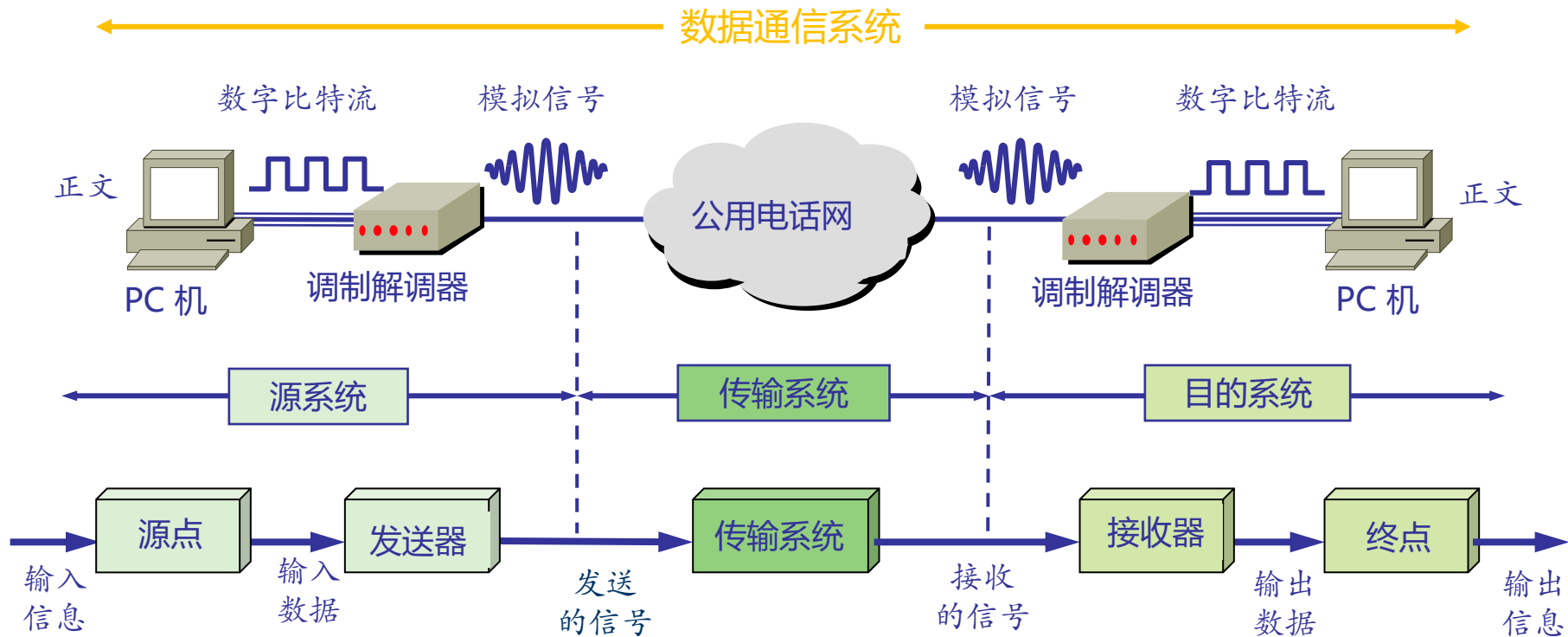
数据传输率 b (bps)	发送8比特需要的时间T(ms)	第一个谐波(Hz)	发生的谐波数
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

数据通信系统模型



- 数据通信系统的模型图
- 数据通信系统的基本结构
- 信道与电路
- 模拟与数字
- 数据传输方式

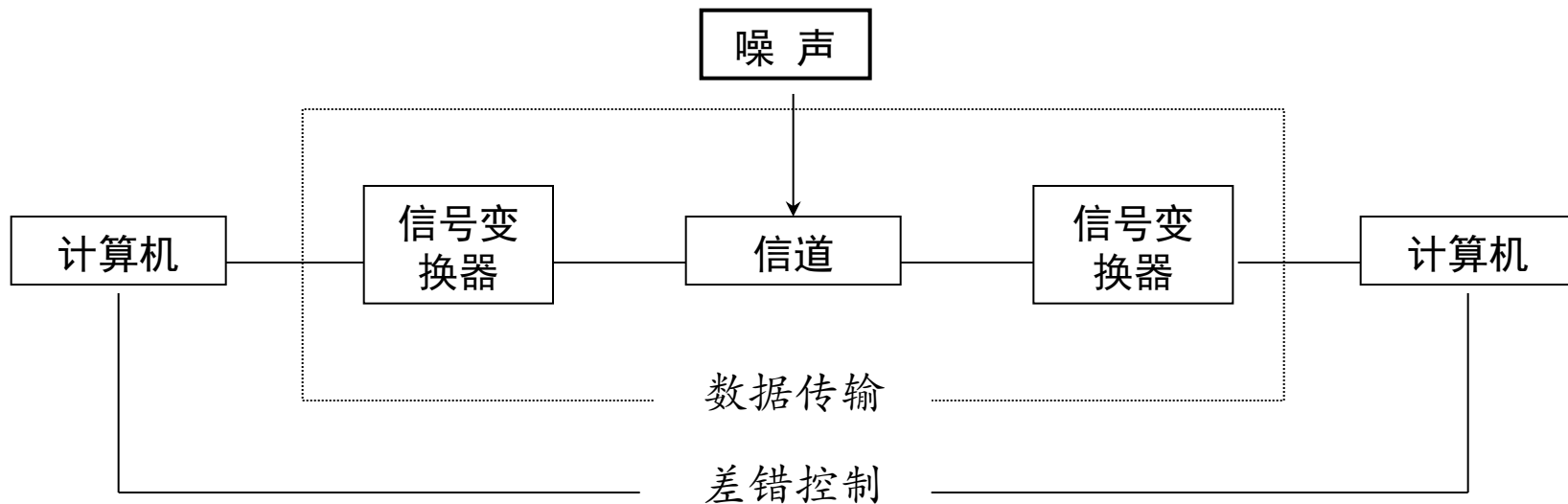
数据通信系统的模型图



数据通信系统的基本结构



■ 数据在通信信道上的各种传输方式及其所采用的技术



信道与电路



- 信道和电路并不等同
- 电路是用来传输电磁波信号的通路
- 信道一般都是用来表示向某一个方向传送信息的媒体，因此，一条通信电路至少包含一条发送信道和(或)一条接收信道
- 一个**信道**可以看成是一条电路的逻辑部件

■ 模拟信道和数字信道

- 模拟信道：以连续模拟信号形式传递数据的信道
- 数字信道：以数字脉冲形式传递数据的信道

作为一般的通信系统，信息源产生的信息可能是模拟数据，也可能是数字信号

■ 模拟信号和数字信号

如果从通信的发送端所产生的信号形式来看，则信号可以分为以下的两大类

- 模拟信号：即连续的信号，如话音信号和目前的广播电视信号
- 数字信号：即离散的信号，如计算机通信所用的二进制代码“1”和“0”组成的信号

数据表示和数据信号



■ 数据表示

- 模拟数据 (Analog Data)——连续值
- 数字信号 (Digital Data)——离散值

■ 数据信号

- 模拟信号 (Analog Signals): 随时间连续变化的信号, 这些信号的某些参量 (振幅、相位和频率) 可以表示要传送的信息
- 数字信号 (Digital Signals): 只取有限个离散值, 以某一瞬间的状态表示它们传送的信息

数据传输方式



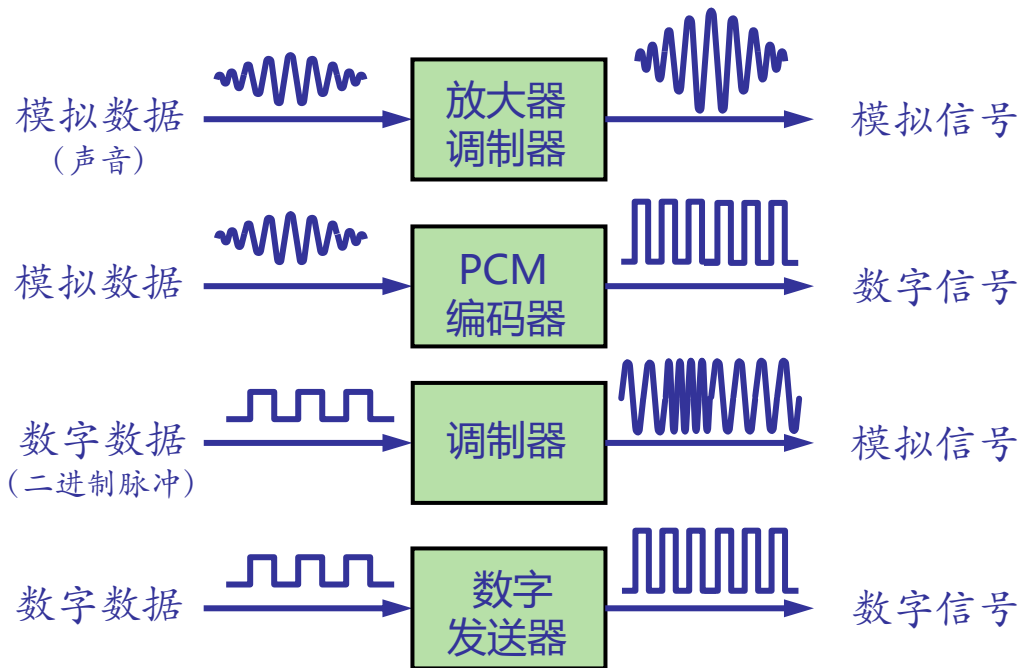
■ 模拟信号发送（模拟信道）

- 数据进入信道前先经过调制，变换为模拟的调制信号
- 调制信号的频谱较窄，信道的利用率高
- 模拟信号传输中会衰减，还会受到噪声的干扰，如果用放大器将信号放大，混入的噪声也会放大

■ 数字信号发送（数字信道）

- 直接传输二进制数据或经过二进制编码的数据
- 因数字信号只取有限个离散值，在传输过程中即使受到噪声干扰，只要没有畸变到不可辨认的程度，就可以用信号再生的办法进行恢复
- 传输数字信号所要求的频带要宽的多，其信道利用率低

信号发送的4种方式



数字信号发送的优点是：价格便宜，对噪声不敏感；
缺点是：易受衰减，频率越高，衰减越厉害

有关信号的基本概念



■ 几个术语

- 数据(data)——运送信息的实体
- 信号(signal)——数据的电气或电磁的表现
- “模拟的” (analogous)——连续变化的
- “数字的” (digital)——取值是离散数值的
- 调制——把数字信号转换为模拟信号的过程
- 解调——把模拟信号转换为数字信号的过程

有关信号的基本概念 (2)



- 单向通信（单工通信）：只能有一个方向的通信而没有反方向的交互
- 双向交替通信（半双工通信）：通信的双方都可以发送信息，但不能双方同时发送(当然也就不能同时接收)
- 双向同时通信（全双工通信）：通信的双方可以同时发送和接收信息
- 基带信号(baseband)
 - 就是将数字信号 1 或 0 直接用两种不同的电压来表示，然后送到线路上去传输
- 宽带信号(broadband)
 - 则是将基带信号进行调制后形成的频分多路复用模拟信号

信道的最高码元传输速率



■ 码元

- 在数字通信中，常用时间间隔相同的符号，来表示一个二进制数字，这样的时间间隔内的信号称为二进制码元，而这个间隔被称为码元长度

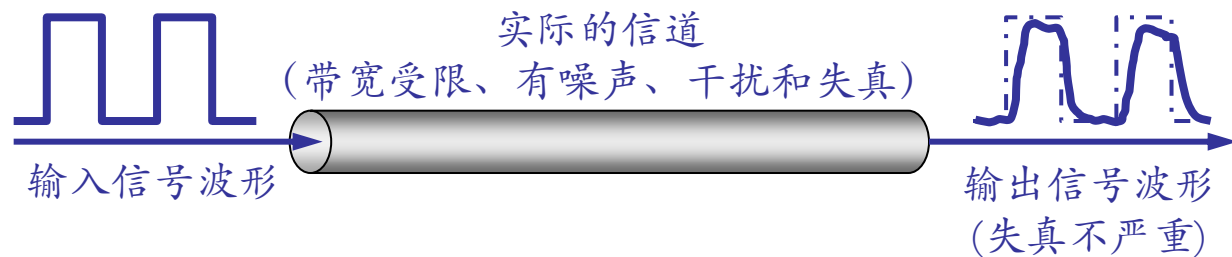
码元 (Code Cell) : 时间轴上的一个信号编码单元

- 任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真以及带来多种干扰
- 码元传输的速率越高，或信号传输的距离越远，在信道的输出端的波形的失真就越严重

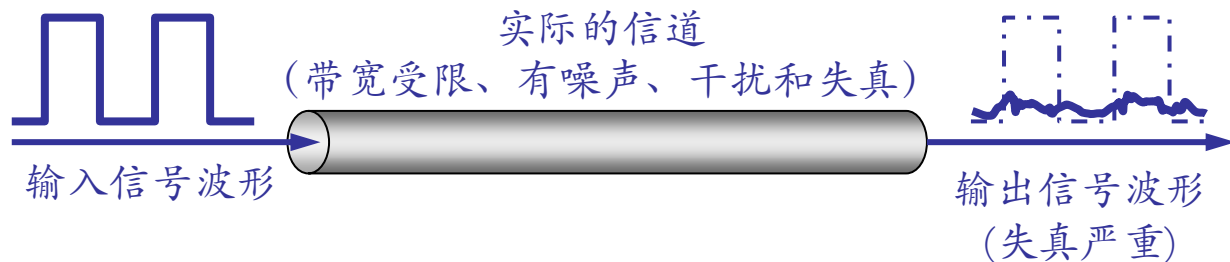
数字信号通过实际的信道



■ 失真不严重



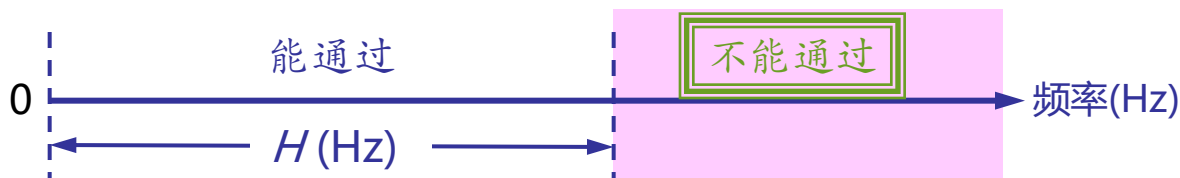
■ 失真严重



奈氏(Nyquist)准则

- 1924年，奈奎斯特 (H. Nyquist) 推导出**理想低通信道**的最高码元传输速率 = $2H$ Baud

H 是理想低通信道的带宽，单位为赫(Hz)



- 每赫带宽的理想低通信道的最高码元传输速率是每秒 2 个码元
- Baud 是波特，是码元传输速率的单位，1 波特为每秒传送 1 个码元

奈氏准则 (2)



- 实际的信道所能传输的最高码元速率，要明显地低于奈奎斯特准则给出上限数值
- 当信号电平分为 V 级，奈奎斯特**无噪声有限带宽信道**的最大数据传输率公式表示为

$$\text{最大数据传输率} = 2H \log_2 V \text{ (bps)}$$

这说明，任意信号通过一个带宽为 H 的低通滤波器，则每秒采样 $2H$ 次就能完整地重现该信号。例如， $V=2$ （只有两级），无噪声的 3 kHz 信道传输二进制最高的速率是 6000 bps

要注意



- 波特和比特是两个完全不同的概念
 - 波特是码元传输的速率单位（每秒传多少个码元），码元传输速率也称为调制速率、波形速率或符号速率；比特是信息量的单位
- 信息的传输速率“比特/秒”与码元的传输速率“波特”在数量上却有一定的关系
 - 若 1 个码元只携带 1 bit 的信息量，则“比特/秒”和“波特”在数值上相等
 - 若 1 个码元携带 n bit 的信息量，则 M Baud 的码元传输速率所对应的信息传输速率为 $M \times n$ b/s



波特率和比特率的关系

- 波特率：信号每秒钟变化的次数，也称调制速率
- 比特率：每秒钟传送的二进制位数
- 波特率与比特率的关系取决于信号值与比特位的关系
 - 例：每个信号值可表示 3 位，则比特率是波特率的 3 倍
 - 如有一个带宽为 3 kHz 的理想低通信道，其最高码元传输速率为 6000 Baud(即每秒传 6000 个码元)。若 1 个码元能携带 3 bit 的信息量，则最高信息传输速率为 18000 b/s

思考：怎样使一个码元携带 3 bit 的信息量呢？

信道的极限信息传输速率



- 香农(C. Shannon)用信息论的理论推导出，**噪声干扰的有限带宽信道**（带宽受限且有高斯白噪声干扰）的极限无差错的信息传输速率

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

H 为信道的带宽（以 Hz 为单位），S 为信道内所传信号的平均功率，N 为信道内部的高斯噪声功率

- 1948年，香农把奈奎斯特的工作扩大到信道受到随机（热）噪声干扰的情况
- 热噪声出现的大小用信噪比（信号功率与噪声功率之比，用S/N或SNR表示）来衡量；人们常说的信噪比，是指 $10 \lg S/N$ ，单位：分贝（dB）
- 如信噪比30分贝，实际上 $S/N=1000$

香农公式表明

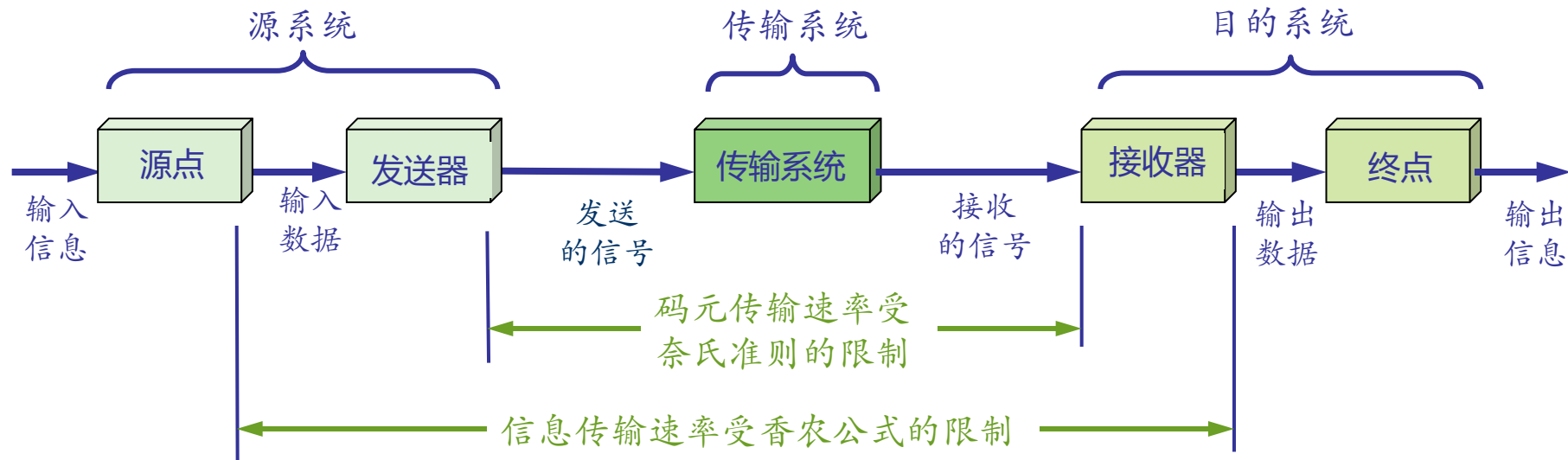


- 信道的带宽或信道中的信噪比越大，则信息的极限传输速率就越高
- 只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率，就一定可以找到某种办法来实现无差错的传输
- 若信道带宽 H 或信噪比 S/N 没有上限（当然实际信道不可能是这样的），则信道的极限信息传输速率 C 也就没有上限
- 实际信道上能够达到的信息传输速率，远远达不到香农的极限传输速率

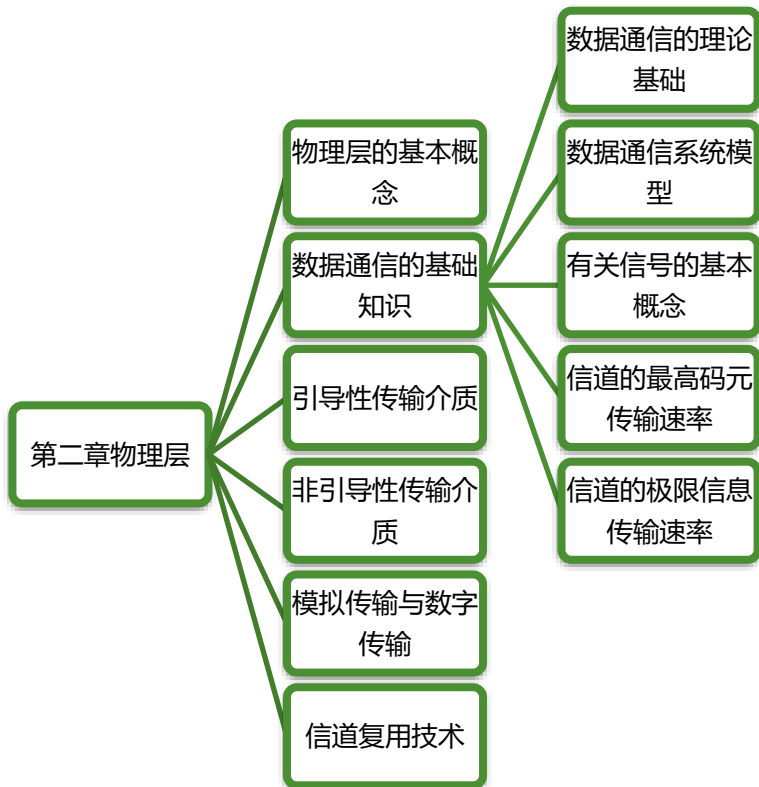
思考：电话信道 (3000Hz, 30dB) 数据传输率极限？

奈氏准则和香农公式的作用范围

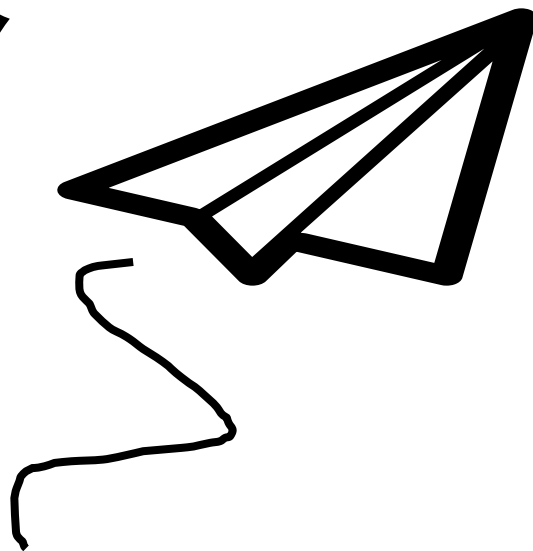
■ 奈氏准则和香农公式在数据通信系统中的作用范围



本章导航与要点



本节课程结束



2.3 引导性传输介质



- 磁介质与电缆
- 双绞线
- 同轴电缆
- 电力线
- 光缆

磁介质与电缆

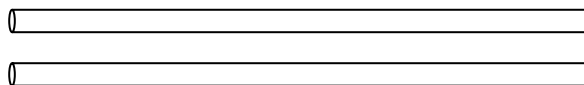


■ 活动硬盘

- 4TB硬盘从一台微机，换到另一台微机（距1km，1小时），数据传输速率？

■ 双裸线

- 一种最简单的传输介质，也称平行线

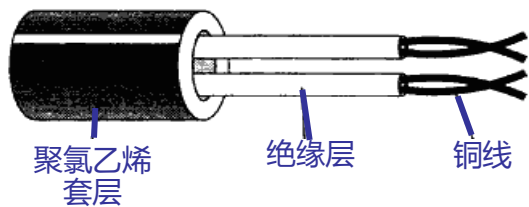


- 两根裸露在空气中的铜导线彼此隔离地并排放在一起构成上图
- 串扰严重，速率低，距离短

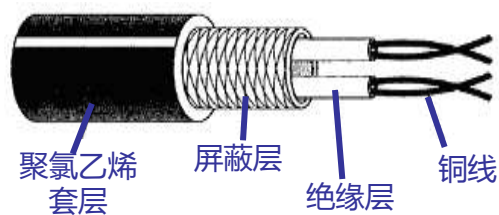
各种电缆



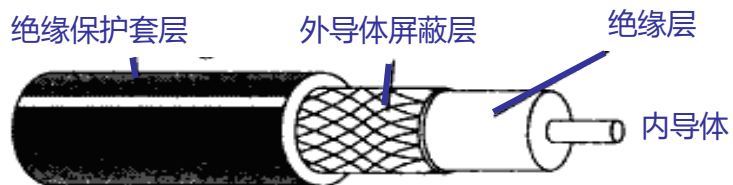
无屏蔽双绞线 UTP



屏蔽双绞线 STP



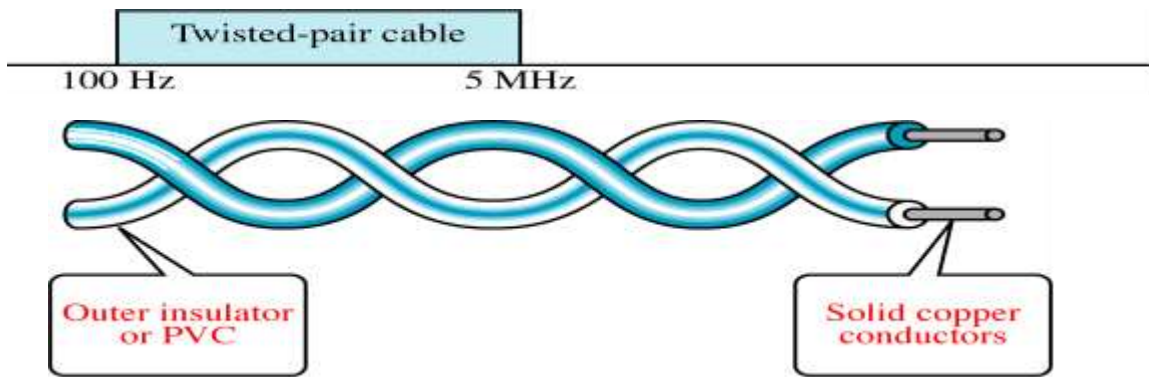
同轴电缆



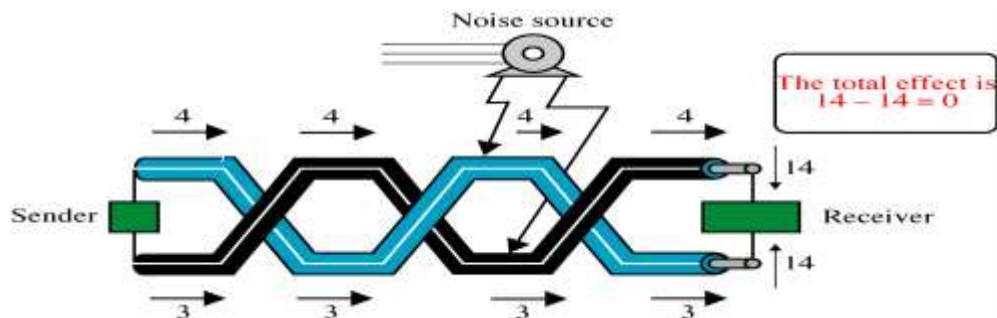
双绞线



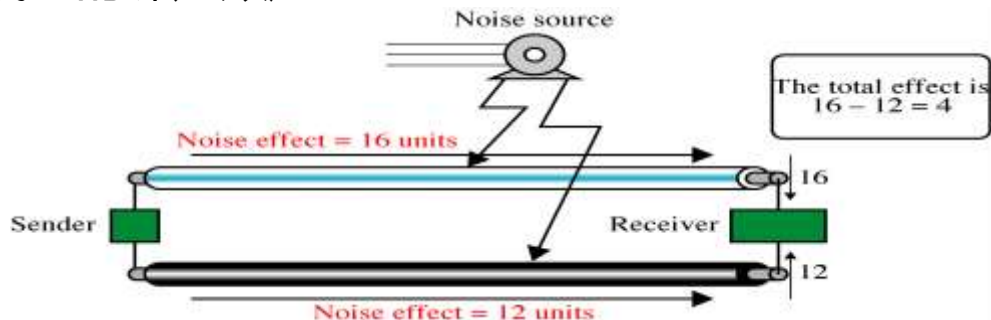
- 双绞线(Twisted-pair)也称双扭线
 - 由两根互相绝缘的铜导线
 - 用规则的方法扭绞起来构成



双绞线上的噪声效应



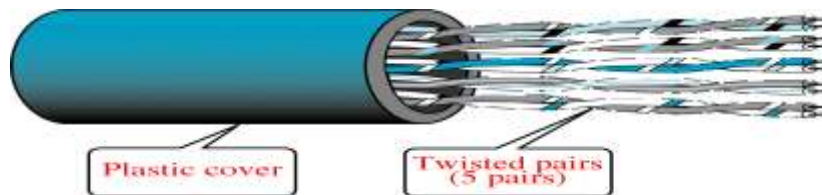
- 双绞线的扭绞结构是为了减少相邻导线之间的串扰和消除外界干扰
- 平行线上的噪声效应



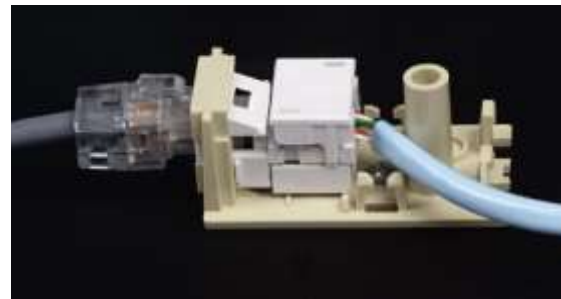
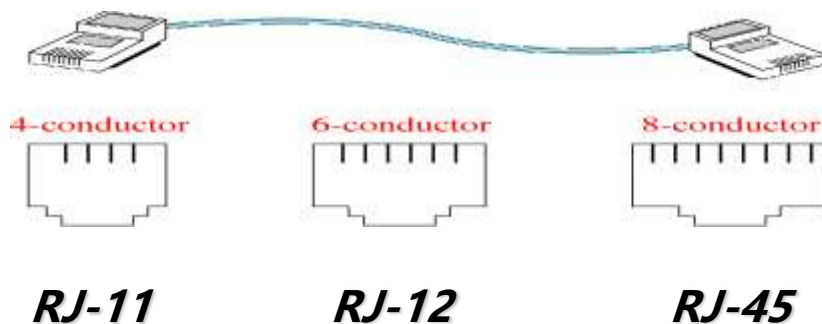
无屏蔽双绞线UTP



■ UTP(Unshielded Twisted-Pair)电缆



■ UTP 连接器



UTP电缆的分类



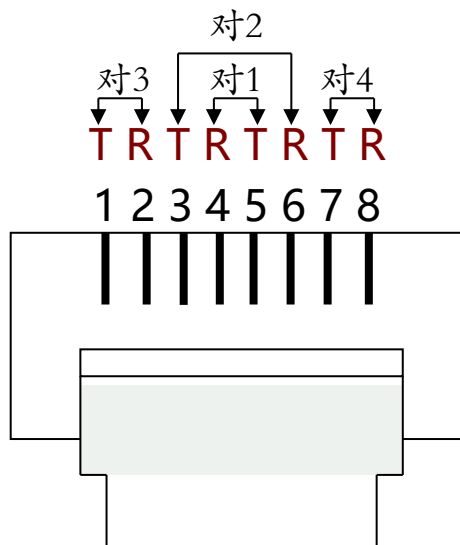
■ EIA/TIA-568标准中定义了前五类

电缆类别	用途
一类	语音或 56kbps 以下的低速数据，不用于局域网
二类	速率为 1Mbps 以下的数据
三类	支持最高 16MHz 的传输
四类	支持最高 20MHz 的传输
五类	支持最高 100MHz 的传输
六类	支持最高 200MHz 的传输
七类	支持最高 600MHz 的传输



RJ45与8芯双绞线

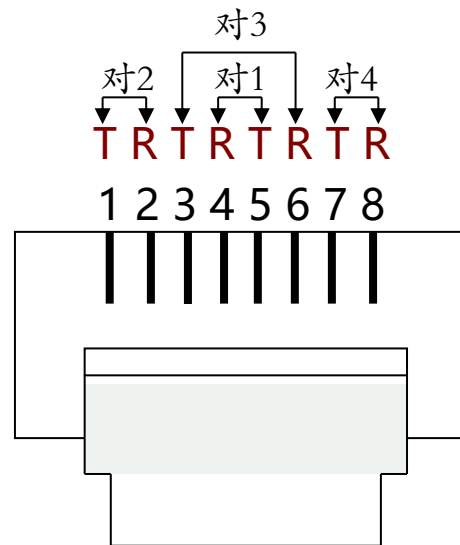
■ RJ45线序标准T568A



**RJ-45 UTP线对
引脚线 颜色**

- | | |
|---|----|
| 1 | 浅绿 |
| 2 | 绿 |
| 3 | 浅黄 |
| 4 | 蓝 |
| 5 | 浅蓝 |
| 6 | 黄 |
| 7 | 浅棕 |
| 8 | 棕 |

■ RJ45线序标准T568B



**RJ-45 UTP线对
引脚线 颜色**

- | | |
|---|----|
| 1 | 浅黄 |
| 2 | 黄 |
| 3 | 浅绿 |
| 4 | 蓝 |
| 5 | 浅蓝 |
| 6 | 绿 |
| 7 | 浅棕 |
| 8 | 棕 |

直通线与交叉线



	直连线	交叉线
网线连接	T568B接T568B	T568B接T568A
应用场所	1、电脑 接 网络设备	1、电脑 接 电脑
	2、网络设备 接 网络设备 UPLink口	2、网络设备 接 网络设备
	3、ADSL Modem 接 ADSL路由器WAN口	



脚号 T568B 颜色

- 1 ---- 橙白
- 2 ---- 橙
- 3 ---- 绿白
- 4 ---- 蓝
- 5 ---- 蓝白
- 6 ---- 绿
- 7 ---- 棕白
- 8 ---- 棕

脚号 T568A 颜色

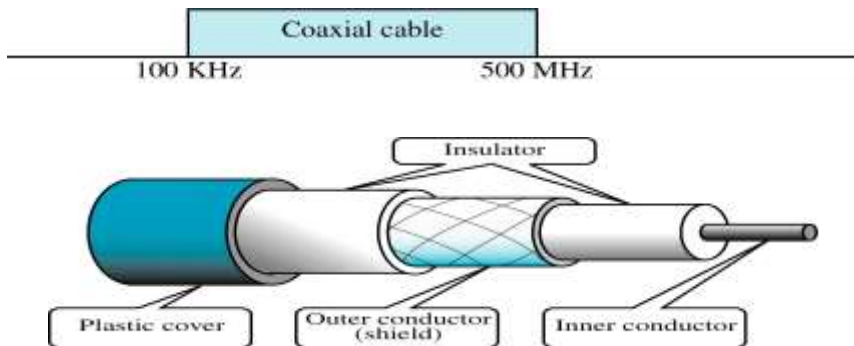
- 1 ---- 绿白
- 2 ---- 绿
- 3 ---- 橙白
- 4 ---- 蓝
- 5 ---- 蓝白
- 6 ---- 橙
- 7 ---- 棕白
- 8 ---- 棕

同轴电缆



■ 同轴电缆(Coaxial Cable)

- 由单股实心或多股绞合的铜质芯线（内导体）、绝缘层、网状编织的屏蔽层(外导体)，以及保护外层所组成



同轴电缆的种类



■ 粗同轴电缆

- 简称粗缆，用于传送基带数字信号；50欧姆，用于数据传输，**10Base5**

■ 细同轴电缆

- 简称细缆，也用于传送基带数字信号；最大传输距离不及粗缆，但因比粗缆便宜而被广泛使用，**10Base2**

■ TV电缆

- 75欧姆，用于模拟传输系统，它是公用天线电视系统(CATV)中的标准传输电缆；其采用的是频分多路复用的宽带信号，300MHz或450MHz

电力线



- 利用电力线来进行网络数据的传输称为电力线上网（Power Line Communication）
- 只需借助电力猫就可以实现网络数据传输



光缆



- 光纤
- 光纤的基本知识
- 光纤的工作原理
- 光纤传输
- 光缆与光源
- 光纤网络

光纤



■ 理论带宽

- 目前，在试验室中光纤带宽超过50Tbps
- 8×2.5 Gbps, 8×10 Gbps, 32×10 Gbps的光纤传输已经实用

■ 光纤分类

- 多模光纤: 50 μ m
- 单模光纤: 8~10 μ m
- 模式 (mode): 是一个与很多参数有关的量，可以简单地理解为偏振方向，单模光纤可以传输多种波长，但每个波长只能有一种模式

光纤的基本知识



■ 光

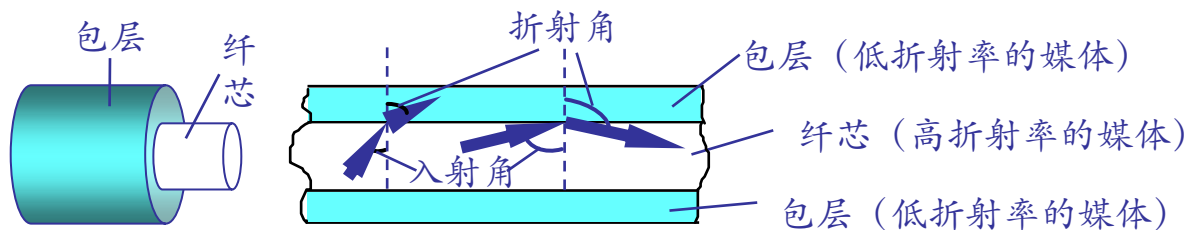
- 光是一种电磁能量形式
- 在真空中传播最快, 300000km/s
- 光速与传输媒质密度成反比

■ 光的自然特性

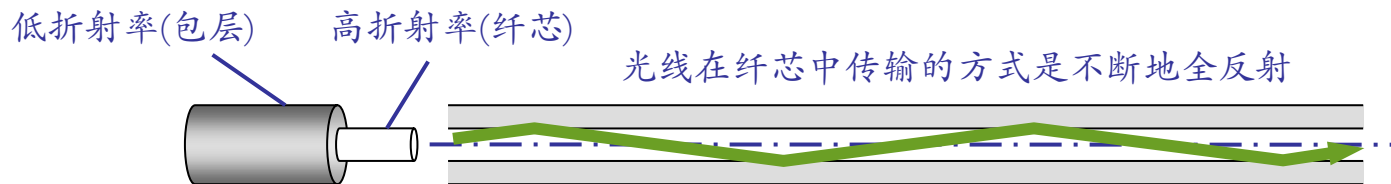
- 折射
- 全反射角
- 反射 (全反射)

光纤的工作原理

■ 光线在光纤中的折射



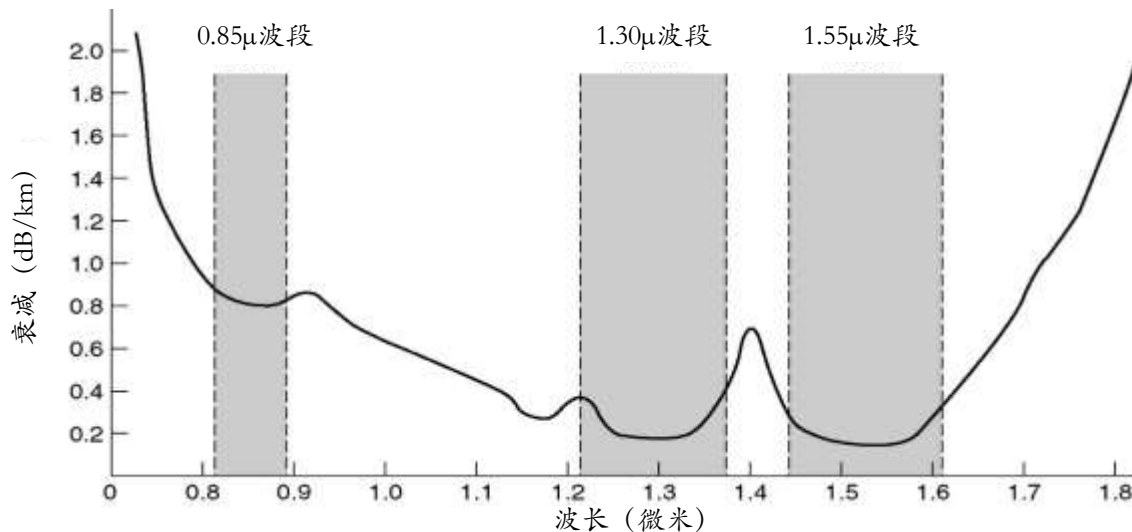
■ 光线在光纤中的全反射





■ 常用的三个波长窗口（光纤波段）

- 0.85 μm : 衰减 (attenuation)大, 传输速率和距离受限制, 但价格便宜
- 1.30 μm : 衰减小, 无色散补偿、功率放大情况下, 最大传40km (最坏情况)
- 1.55 μm : 衰减小, 无色散补偿、功率放大情况下, 最大传80km (最坏情况)



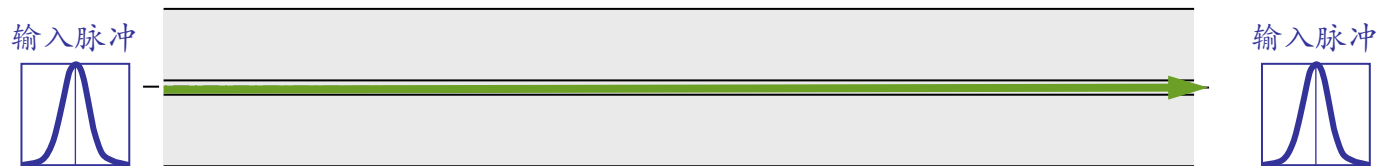
光纤传输——多模光纤与单模光纤



■ 多模光纤

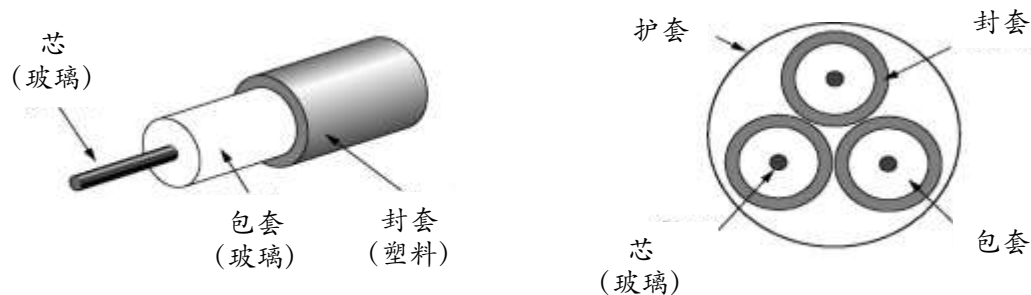


■ 单模光纤



光缆与光源

■ 光缆内部结构



■ 半导体光源与 LED光源

项目	LED	半导体
数据率	低	高
光纤类型	多模	多模/单模
距离	短	长
寿命	长寿	短命
温度敏感性	不敏感	敏感
成本	廉价	昂贵

光纤网络*



■ 连接方式

- 光纤插座 损失10%~20%
- 机械接合 损失10%
- 溶合

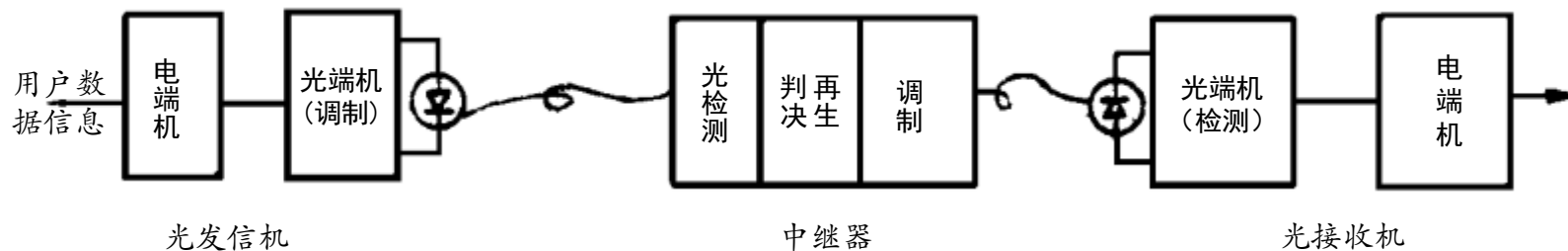
■ 光网络

- 组网方式
 - ◆ 点到点：四根线（两根用于保护倒换）
 - ◆ 环：两根线（一根用于保护倒换）
- 中继器：光 — 电 — 光，全光
- 全光网，光纤互联网论坛OIF(Optical Internetworking Forum)

光纤网络——原理与特点*



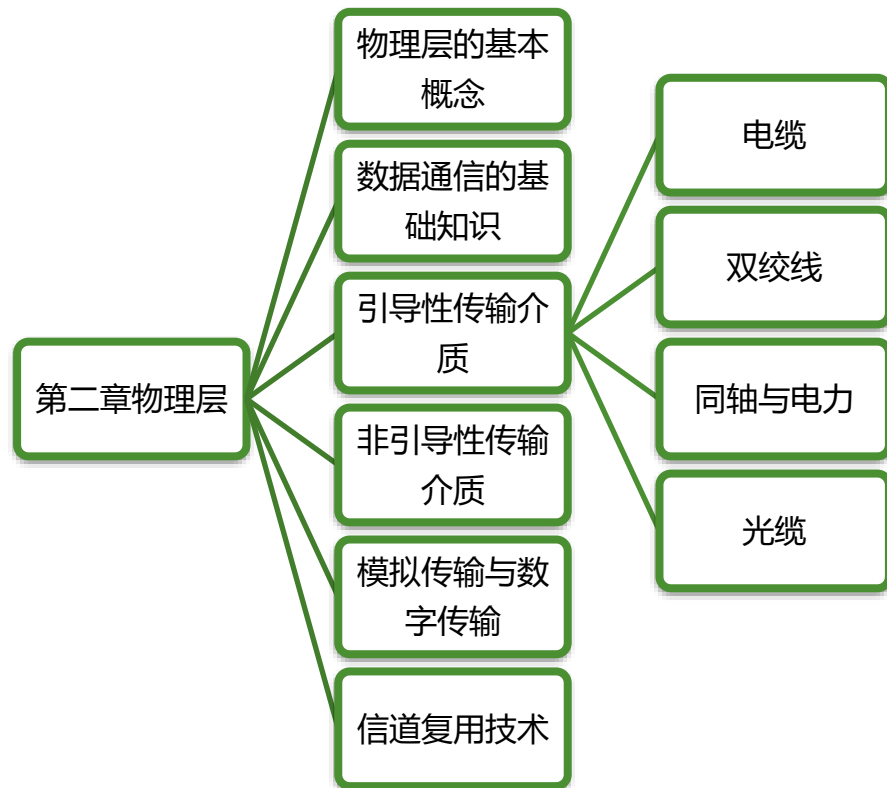
■ 光纤通信系统原理图



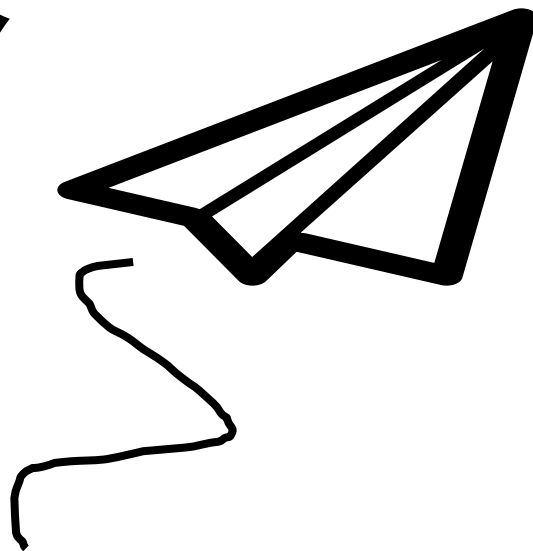
■ 光纤通信的特点

- 传输频带宽，通信容量大
- 损耗低，中继距离长
- 抗干扰能力强
- 保密性好
- 适用范围广
- 重量轻、体积小
- 节省有色金属
- 抗腐蚀能力强

本章导航与要点



本节课程结束



2.4 非引导性传输介质



□ 无线传输

- 电磁波谱
- 无线电传输
- 微波传输
- 红外传输与光通信

□ 通信卫星

- 同步卫星
- 中轨道卫星
- 低轨道卫星

无线传输——电磁波谱

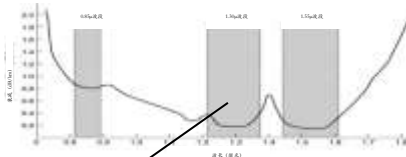
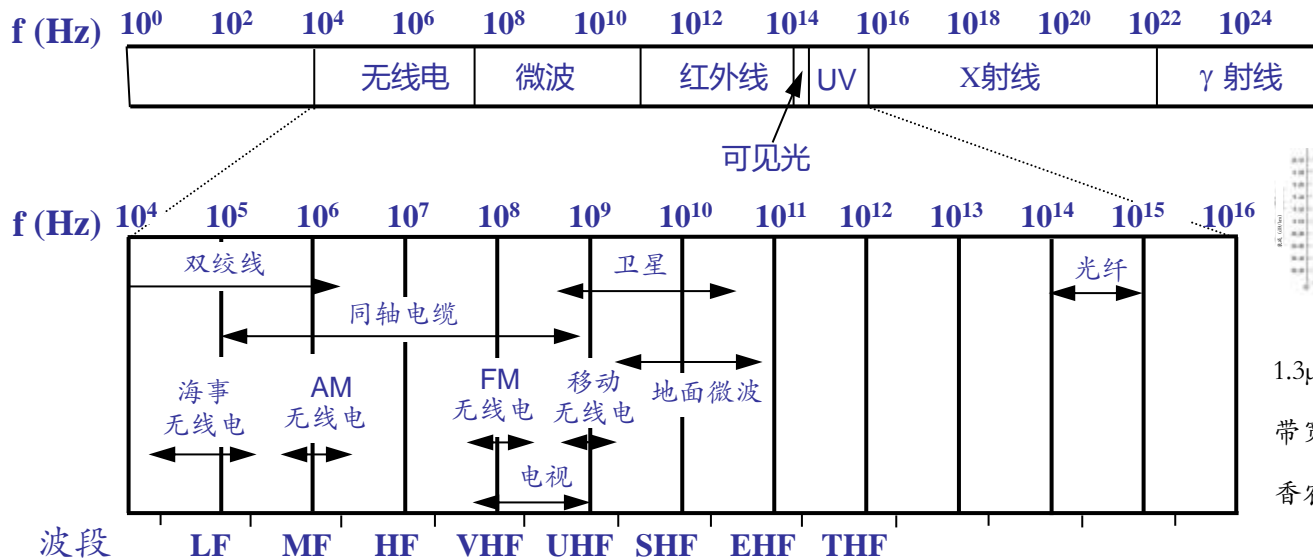


■ 波长与频率的关系：

- $\lambda f = c$ (3×10^8 m/s)

- 低频：每赫兹编码几个比特

高频：每赫兹编码达40比特



1.3 μ m波段 (宽度0.17 μ m)

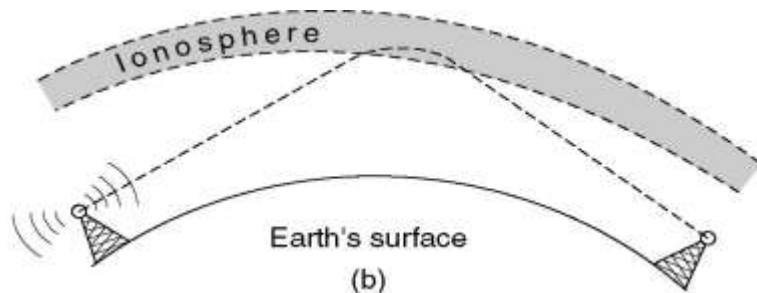
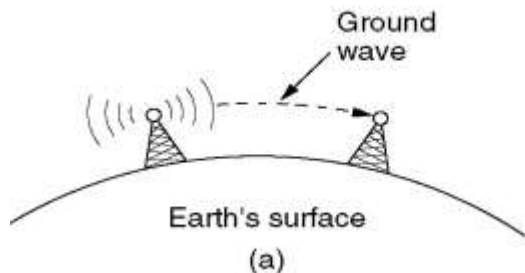
带宽30000GHz, 30dB

香农公式计算数据率: 300Tbps

无线电传输

■ 无线电波频率特性：低频穿透强

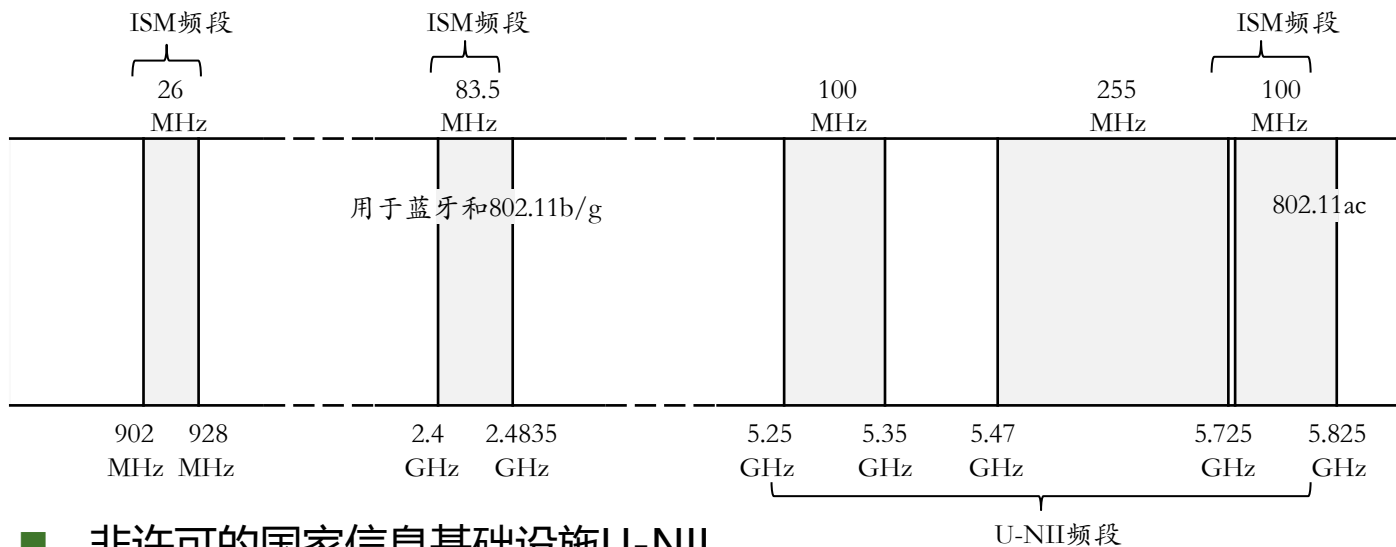
- VLF、LF和MF波段的无线电波沿地球表面传播(a)



- HF和VHF波段的无线电波被电离层反射回来(b)

微波传输

■ 工业科学医学段ISM(Industrial,Scientific,Medical)

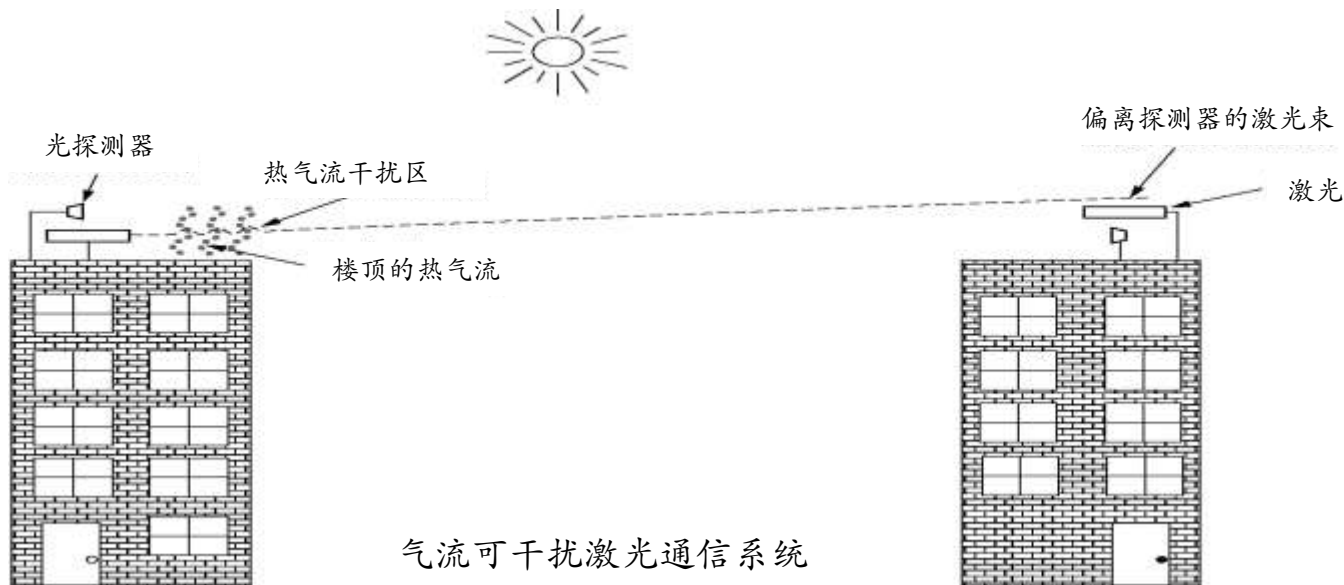


■ 非许可的国家信息基础设施U-NII

(Unlicensed National Information Infrastructure)

红外传输与光通信

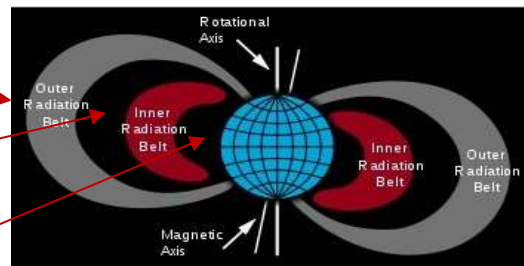
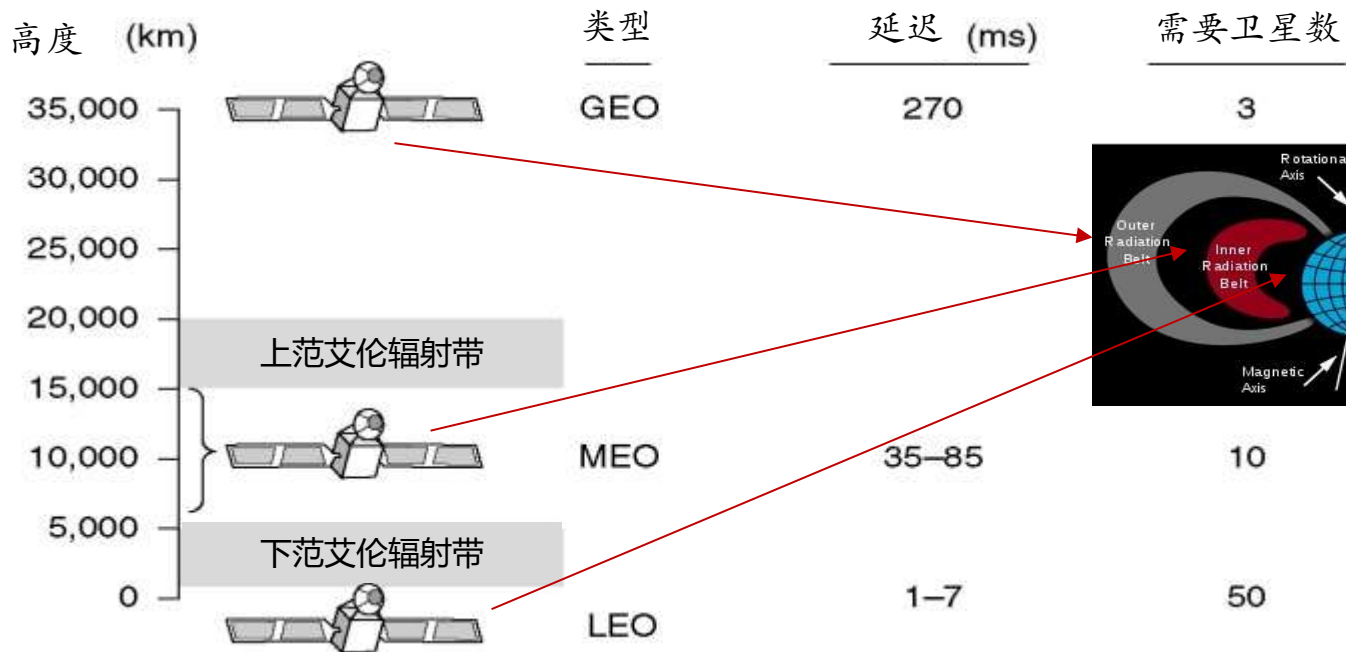
- 红外传输：遥控器、笔记本
- 光通信：激光通信、灯光



通信卫星



通信卫星特性



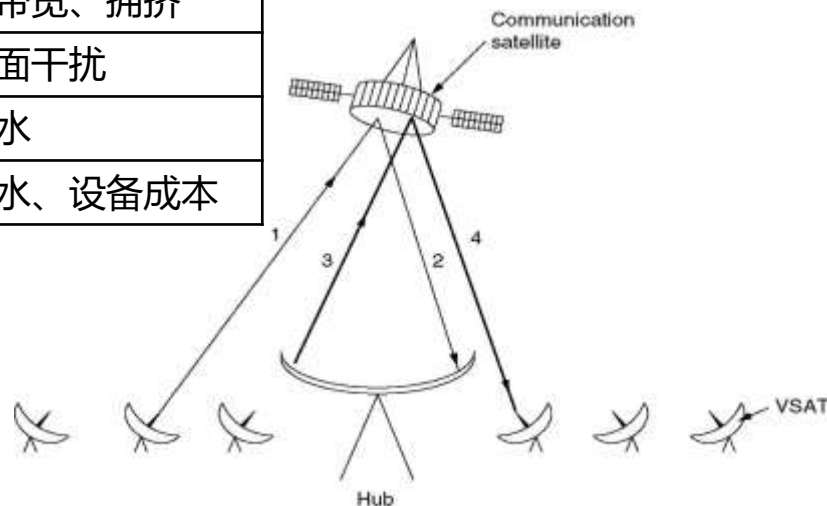
同步卫星

■ 主要的卫星频段

频段	下行链路	上行链路	带宽	问题
L	1.5GHz	1.6GHz	15MHz	低带宽、拥挤
S	1.9GHz	2.2Hz	70MHz	低带宽、拥挤
C	4.0GHz	6.0GHz	500MHz	地面干扰
Ku	11GHz	14GHz	500MHz	雨水
Ka	20GHz	30GHz	3500MHz	雨水、设备成本

■ 微型地面站VSAT

- 直径小于1米



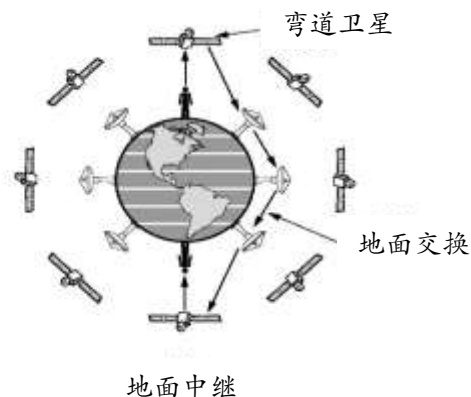
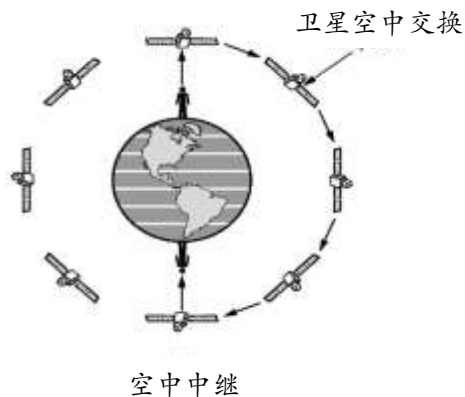
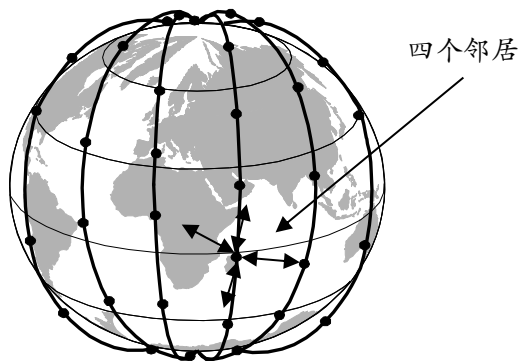
中、低轨道卫星

■ 中轨道卫星：尚未用于通信，仅用于导航

- GPS (美国) 、 COMPASS (即北斗, 中国) 、 GLONASS (俄罗斯) 、 Galileo (欧洲)

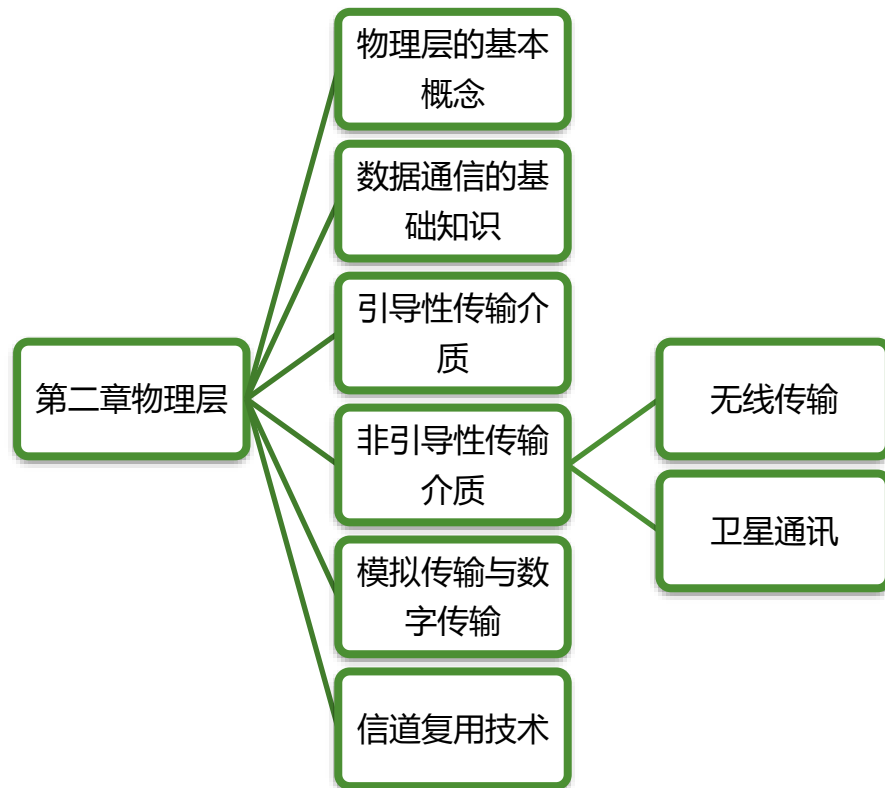
■ 低轨道卫星

- 铱星系统：构成围绕地球的6条卫星链（计划77实际66颗）

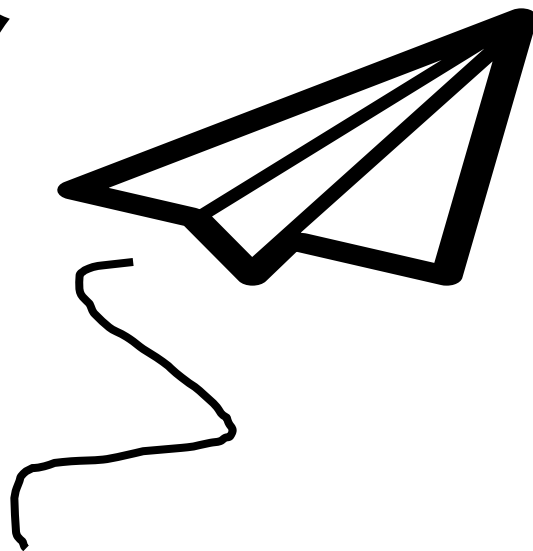


- 全球星系统 (48颗)：空中简单、地面复杂

本章导航与要点



本节课程结束



2.5 模拟传输与数字传输



- 数据编码技术
- 模拟传输系统
- 调制解调器
- 数字传输系统

数据编码技术



研究数据在信号传输过程中如何进行编码（变换）

- 基带传输
- 数据编码
- 常用编码方式
- 调制编码
- 采样编码

基带传输



■ 数字数据的数字传输相关概念

- 基带：基本频带，指传输变换前所占用的频带，是原始信号（方波）所固有的频带
- 基带传输：在传输时直接使用基带信号
- 过程：在发送端由编码器编码，将数据变换为直接传输的数字基带信号，在接收端由译码器进行解码，恢复发送端的数据

■ 基带传输

- 是一种最简单最基本的传输方式，一般用低电平表示“0”，高电平表示“1”
- 适用范围：低速和高速的各种情况
- 限制：因基带信号所带的频率成分很宽，所以对传输线有一定的要求

数据编码



- 数字数据在数字信道上传输时需要数字信号编码
- 数字数据在模拟信道上传输时需要调制编码
- 模拟数据在数字信道上传输时需要采样编码
- 用模拟信号传输模拟数据不需要编码



常用编码方式

1. 不归零制码 (NRZ: Non-Return to Zero)

- 原理：用两种不同的电平分别表示二进制信息 “0” 和 “1”

2. 曼彻斯特码 (Manchester) , 也称相位编码

- 原理：每一位中间都有一个跳变, 从低跳到高表示 “0” , 从高跳到低表示 “1”

3. 差分曼彻斯特码 (Differential Manchester)

- 原理：每一位中间都有一个跳变, 每位开始时有跳变表示 “0” , 无跳变表示 “1”

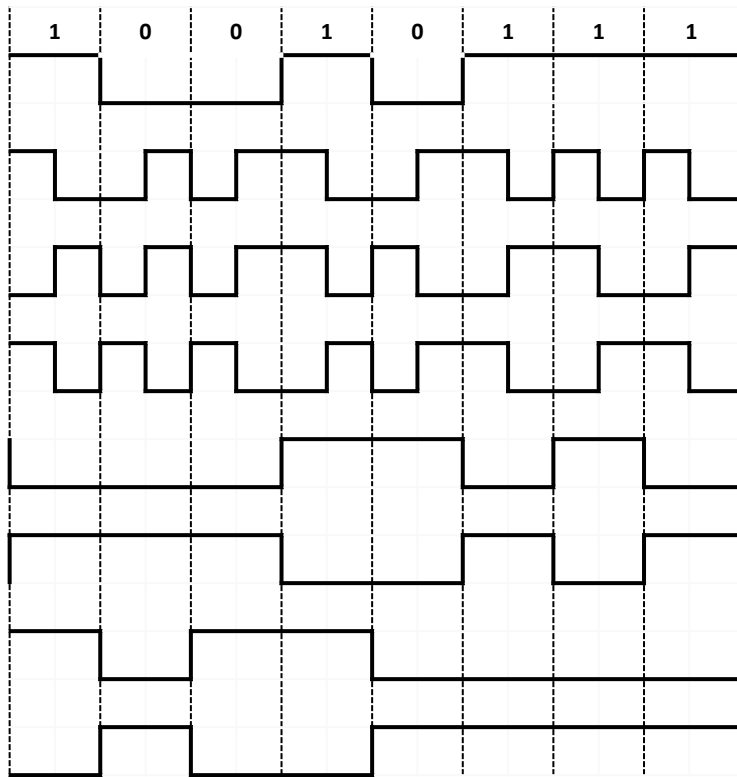
4. 逢 “1” 变化的NRZ码

- 原理：在每位开始时,逢 “1” 电平跳变,逢 “0” 电平不跳变

5. 逢 “0” 变化的NRZ码

- 原理：在每位开始时,逢 “0” 电平跳变,逢 “1” 电平不跳变

常用编码方式图例



1. 不归零制码 (NRZ)：另需时钟同步，
直流分量累加
2. 曼彻斯特码：中间跳变即作数据又作时钟
3. 差分曼彻斯特码：时钟、数据分离
4. 逢“1”变化的NRZ码
5. 逢“0”变化的NRZ码

■ 频带传输

- 指在一定频率范围内的线路上，进行载波传输。用基带信号对载波进行调制，使其变为适合于线路传送的信号

■ 调制 (Modulation)

- 用基带脉冲对载波信号的某些参量进行控制，使这些参量随基带脉冲变化

■ 解调 (Demodulation)

- 调制的反变换

■ 调制解调器MODEM (modulation-demodulation)

采样编码



- 解决模拟信号数字化问题，现在的数字传输系统都是采用脉码调制 PCM(Pulse Code Modulation)体制，也称为脉冲代码调制

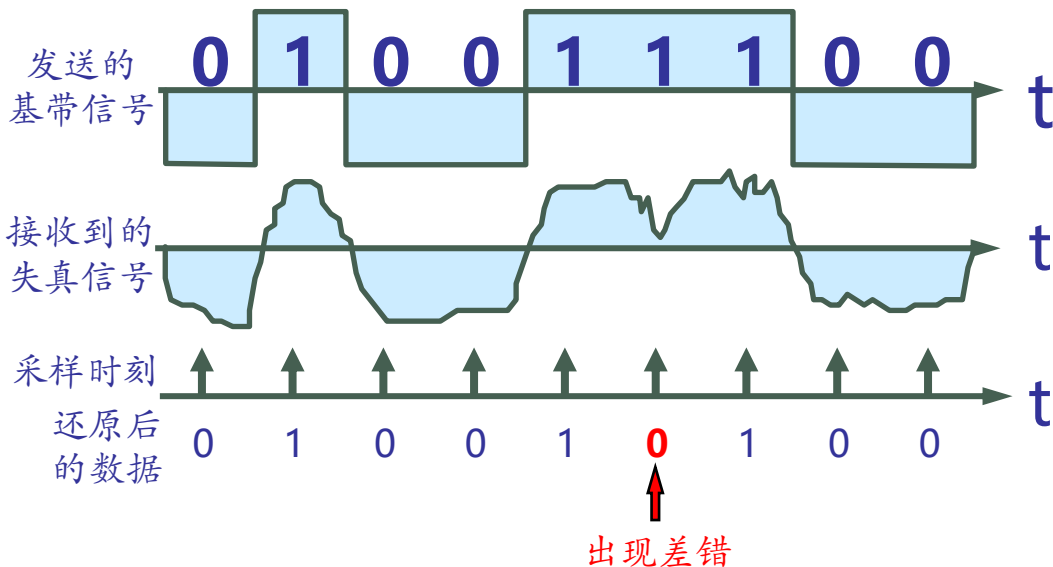
步骤是： 采样→量化→编码

1. 采样：根据Nyquist原理进行，每隔一定的时间对连续模拟信号采样
2. 量化：分级过程。把采样所得到的脉冲信号按量级比较，并且取整，这样脉冲序列就成为数字信号了
3. 编码：用以表示采样序列量化后的量化幅度，用一定位数的二进制码表示

模拟传输系统

- 长途干线最初采用频分多路复用 FDM 的传输方式
 - 目前我国长途通信线路已实现了数字化，因而现在的模拟通信电路就只剩下从用户电话机到市话交换机之间的这一段几公里长的用户线上

- 数据经过模拟传输系统后，会出现差错



调制解调器



- 调制解调器（参见教材P102）
 - 本书中的调制解调器是指使用在标准的二线模拟话路（3.1 kHz 的标准话路带宽）上的调制解调器。调制指将要发送的数字信号转换为频率范围在 300~3400 Hz 之间的模拟信号，以便在电话用户线上传送；解调指将电话用户上传来的模拟信号还原为数字信号
- 调制器：作用是波形变换器，它把基带数字信号的波形变换成适合于模拟信道传输的波形
- 解调器：作用是波形识别器，它将经过调制器变换过的模拟信号恢复成原来的数字信号
 - 若识别不正确，则产生误码，所以在调制解调器中还要有差错检测和纠正的设施

调制方法



■ 最基本的二元制调制方法

● 调幅(AM)

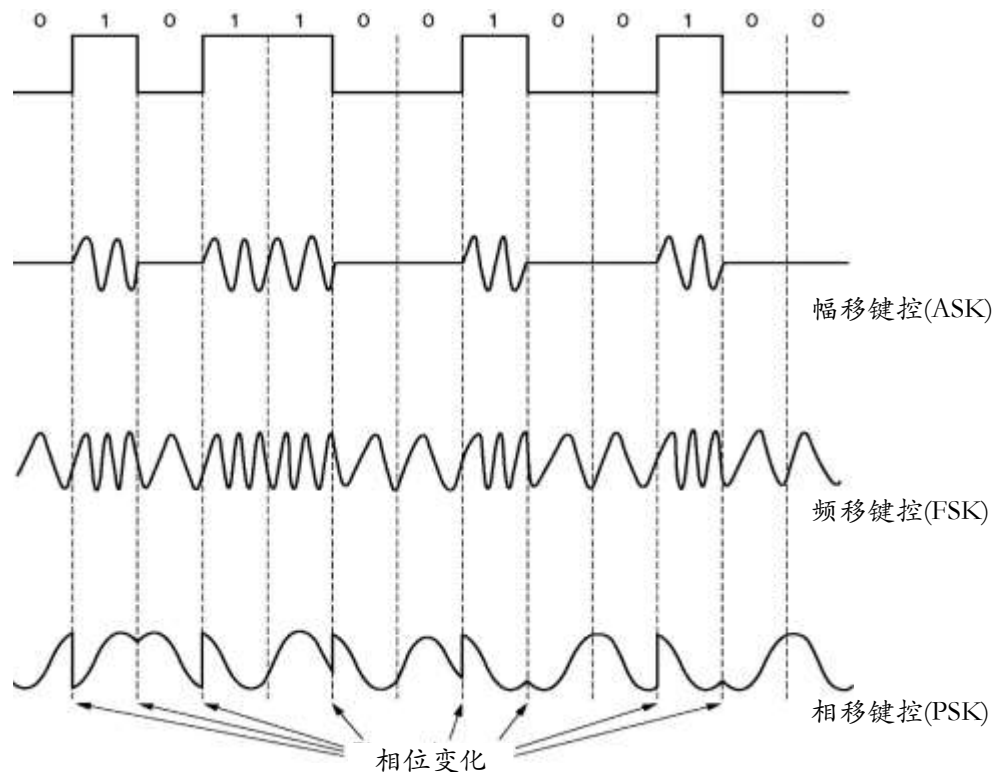
- ◆ 载波的振幅随基带数字信号而变化

● 调频(FM)

- ◆ 载波的频率随基带数字信号而变化

● 调相(PM)

- ◆ 载波的初始相位随基带数字信号信号而变化

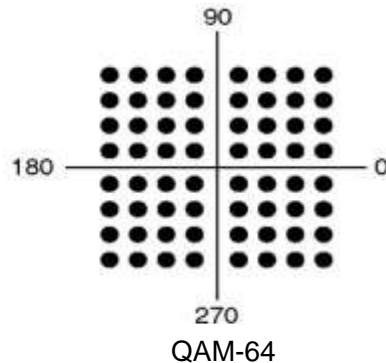
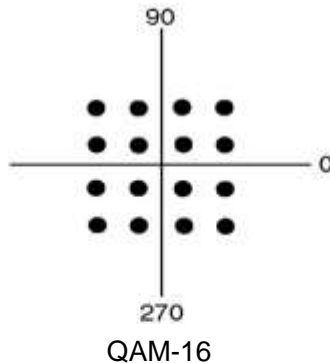
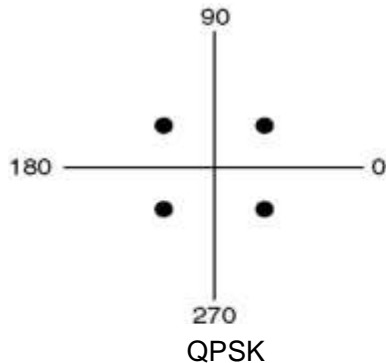


调制技术*

■ 载波 $A \sin(\omega t + \varphi)$, 参数: A, ω, φ

- 根据载波三个特性, 幅度、频率、相位, 可以产生三种调制技术
- 最简单的相移键控: 二进制相移键控 (BPSK, Binary Phase Shift Keying)
- 正交相移键控 (QPSK, Quadrature Phase Shift Keying)
- 综合调制: ω, φ 均涉及频率, 不能同时调制; 可以组合 A, φ

■ 星座图

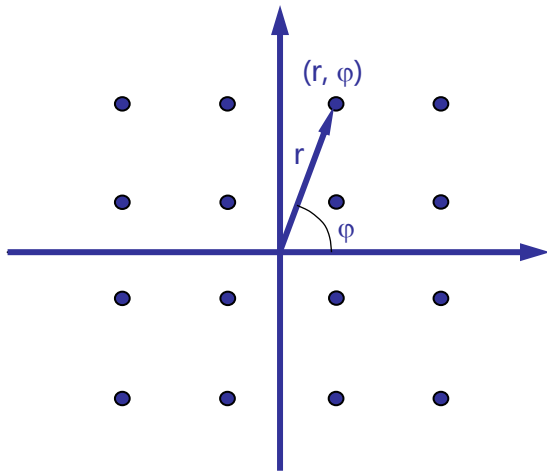


正交调制 QAM*



■ QAM-16 (Quadrature Amplitude Modulation)

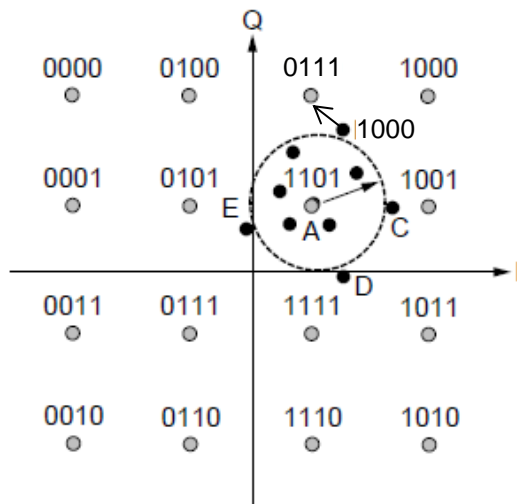
- 可供选择的相位有 12 种，而对于每一种相位有 1 或 2 种振幅可供选择
- 由于 4 bit 编码共有 16 种不同的组合，因此这 16 个点中的每个点可对应于一种 4 bit 的编码
- 若每一个码元可表示的比特数越多，
则在接收端进行解调时，要正确识别
每一种状态就越困难



QAM-16 格雷码 (Gray code) *

点符号如何编码

- 突发噪音导致相邻点混淆，要避免导致多比特错
- 图中，发送A时，圈内各点能识别正确，其余可能与B、C、D、E混淆



When 1101 is sent:

Point	Decodes as	Bit errors
A	1101	0
B	110 <u>0</u>	1
C	1 <u>0</u> 01	1
D	11 <u>1</u> 1	1
E	<u>0</u> 101	1

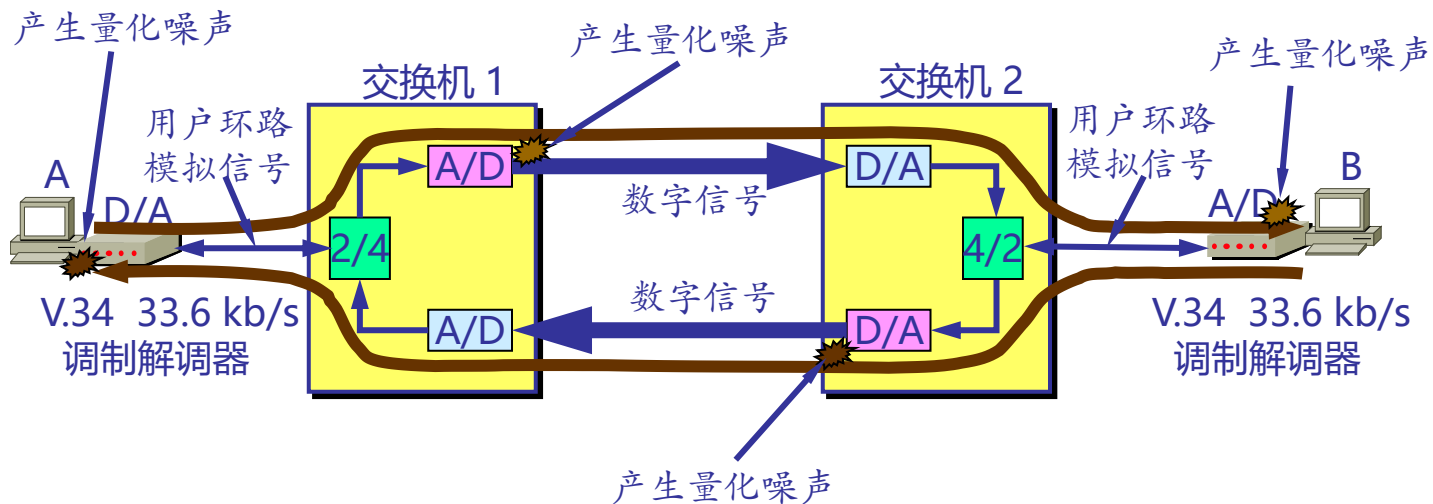
调制解调器的速率



- 目前调制解调器的信息传输速率已很接近于香农的信道容量极限了
 - 要提高信息传输速率，只能设法提高信噪比
 - 在电话的用户线路上，最大的噪声来自模拟到数字的模数转换所带来的量化噪声
- 调制解调器的速率标准（参见教材：P114）
 - V.34：上、下行 33.6 kbps
 - V.90：上行 33.6 kbps；下行 56 kbps

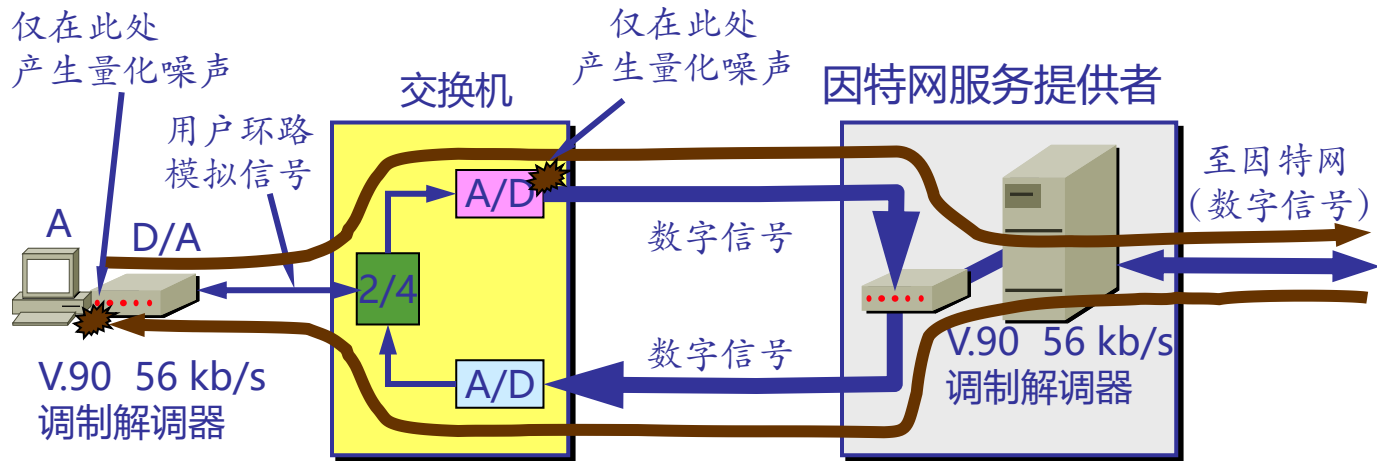
产生量化噪声的地方

■ 使用 V.34 调制解调器 (33.6 kb/s)



产生量化噪声的地方(2)

■ 使用 V.90 调制解调器 (56 kb/s)



调制解调器使用异步通信方式



- 数据通信可分为同步通信和异步通信两大类：
 - 同步通信要求接收端时钟频率和发送端时钟频率一致。发送端发送连续的比特流
 - 异步通信时不要求接收端时钟和发送端时钟同步。发送端发送完一个字节后，可经过任意长的时间间隔再发送下一个字节
- 异步通信的通信开销较大，但接收端可使用廉价的、具有一般精度的时钟来进行数据通信

数字传输系统



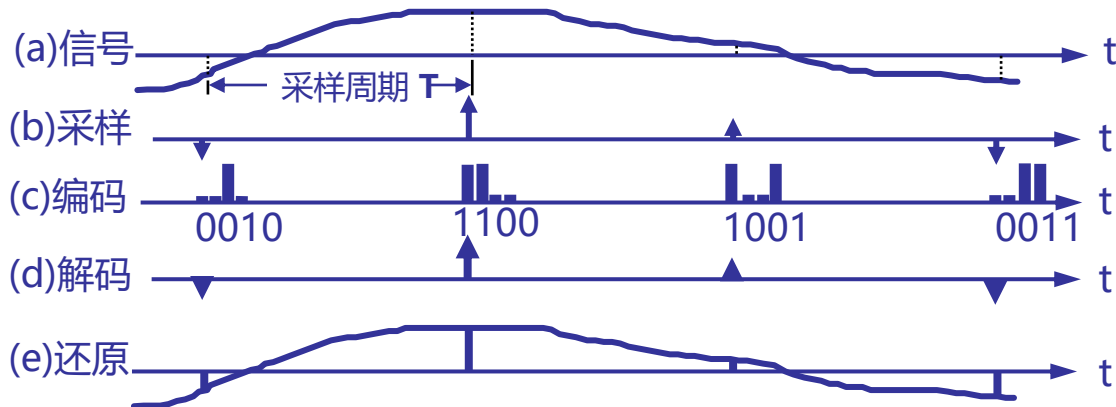
- 现在的数字传输系统均采用脉码调制 PCM 体制
 - PCM最初并不是为传送计算机数据用的；它是为了使电话局之间一条中继线不是只传送一路电话而是可以传送几十路的电话
 - 由于历史上的原因，PCM有两个互不兼容的国际标准，即北美的24路PCM(简称为T1)和欧洲的30路PCM(简称为E1)。T1的速率是1.544 Mb/s，E1的速率是2.048 Mb/s
- 脉码调制 PCM
 - 为了将模拟电话信号转变为数字信号，必须先对电话信号进行取样
 - 根据取样定理，只要取样频率不低于电话信号最高频率的2倍，就可以从取样脉冲信号无失真地恢复出原来的电话信号
 - 标准的电话信号的最高频率为3.4kHz，为方便起见，取样频率就定为8kHz，相当于取样周期为**125 μ s**



PCM的基本原理

- T 为取样周期。连续的电话信号经取样后成为如图中(b)所示的离散脉冲信号，其振幅对应于取样时刻电话信号的数值
- 下一步就是编码。为简单起见,图(c)将不同振幅的脉冲编为4位二进制码元。在我国使用的PCM体制中，电话信号是采用8 bit编码,也就是说,将取样后的模拟的电话信号量化为256个不同等级中的一个。模拟信号转换为数字信号后就进行传输

- 在接收端进行解码的过程与编码过程相反。经滤波后最后得出恢复后的模拟电话信号图中的(e)



PCM的基本原理 (2)



- 这样，一个话路的模拟电话信号，经模数变换后，就变成为每秒8000个脉冲信号，每个脉冲信号再编为8位二进制码元。因此一个标准话路的PCM信号速率为64 kb/s
- 64 kb/s 的速率，是最早制订出的话音编码的标准速率
 - 随着话音编码技术的不断发展，人们可以用更低的数据率来传送同样质量的话音信号；现在已经能够用32kb/s, 16kb/s或甚至低到8kb/s(或更低)的数据率来传送一路话音信号

时分多路复用



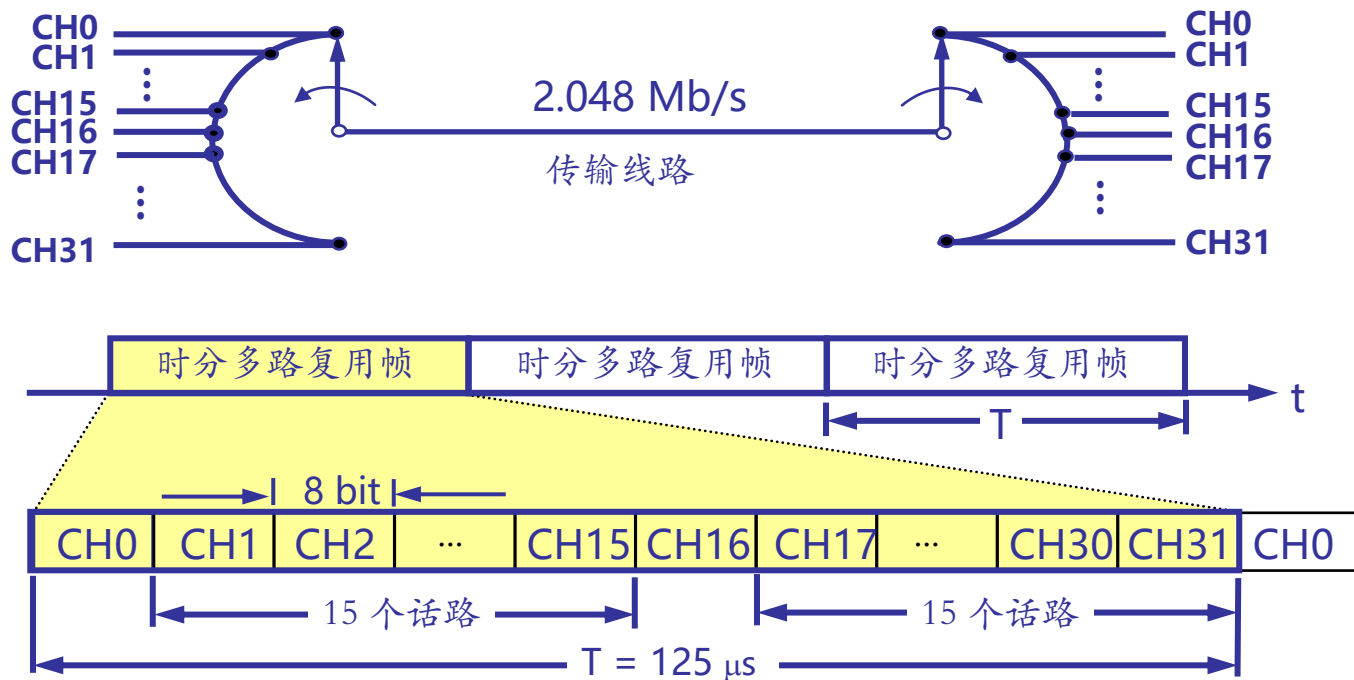
- 为了有效地利用传输线路，可将多个话路的PCM 信号用时分多路复用 TDM (Time Division Multiplexing)的方法装成时分多路复用帧，然后发送到线路上
 - 中国采用欧洲体制，以 E1 为一次群
 - 美国和日本等国采用北美体制，以 T1 为一次群



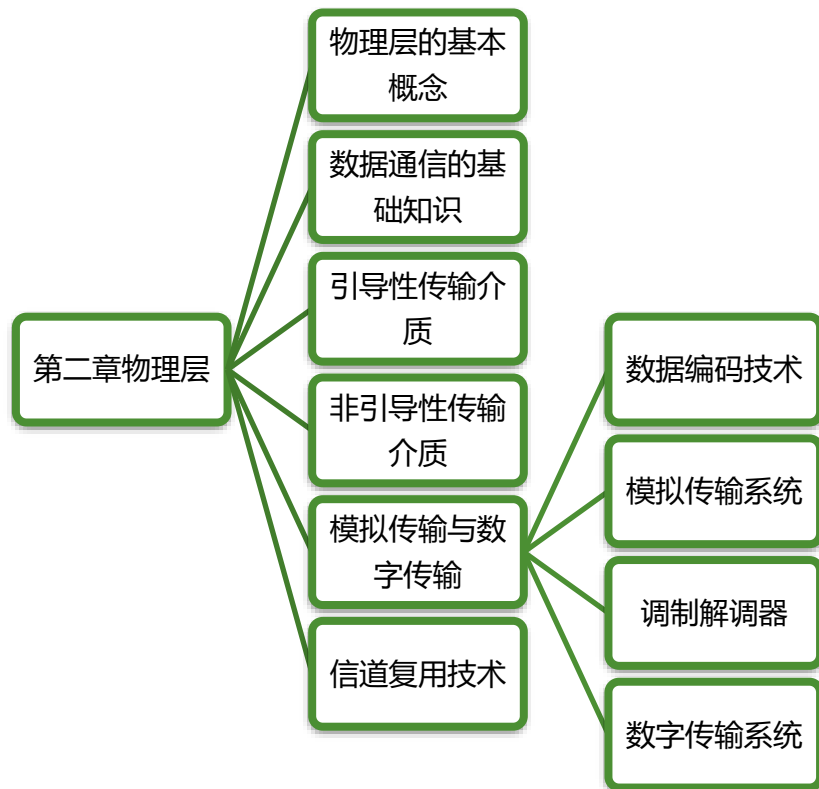
PCM的基本原理 (3)

- E1的一个时分多路复用帧（其长度 $T = 125\mu\text{s}$ ）共划分为32相等的时隙
 - 时隙的编号为CH0-CH31，时隙CH0用作帧同步用，时隙CH16用来传送信令(如用户的拨号信令)；可供用户使用的话路是时隙CH1-CH15和CH17-CH31，共30个时隙用作30个话路
 - 每个时隙传送8 bit，因此整个的32个时隙共用256bit；每秒传送8000帧，因此PCM一次群E1的数据率就是 **2.048Mb/s** ($= 32 * 8 \text{ b} / 125 \mu\text{s}$)
- 北美使用的T1系统共有24个话路
 - 每个话路的取样脉冲用7bit编码，然后再加上1位信令码元，因此一个话路也是占用8bit；帧同步码是在24路的编码之后加上1bit，这样每帧共有193bit
 - 因此T1一次群的数据率为 **1.544Mb/s** ($= (24 * 8 + 1) / 125 \mu\text{s}$)

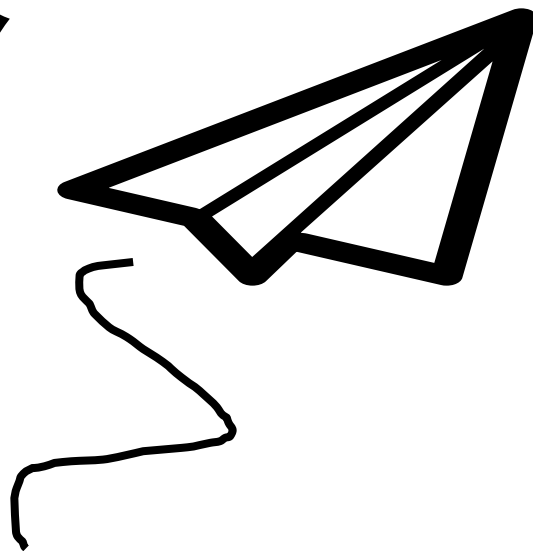
E1 的时分多路复用帧



本章导航与要点



本节课程结束



2.6 信道复用技术



- 频分多路复用FDM
- 时分多路复用和统计时分多路复用
- 波分多路复用 WDM
- 码分多路复用 CDM

频分多路复用FDM



■ 频分多路复用 (FDM, Frequency Division Multiplexing)

- 所有用户，在相同的时间占用**不同的带宽**资源

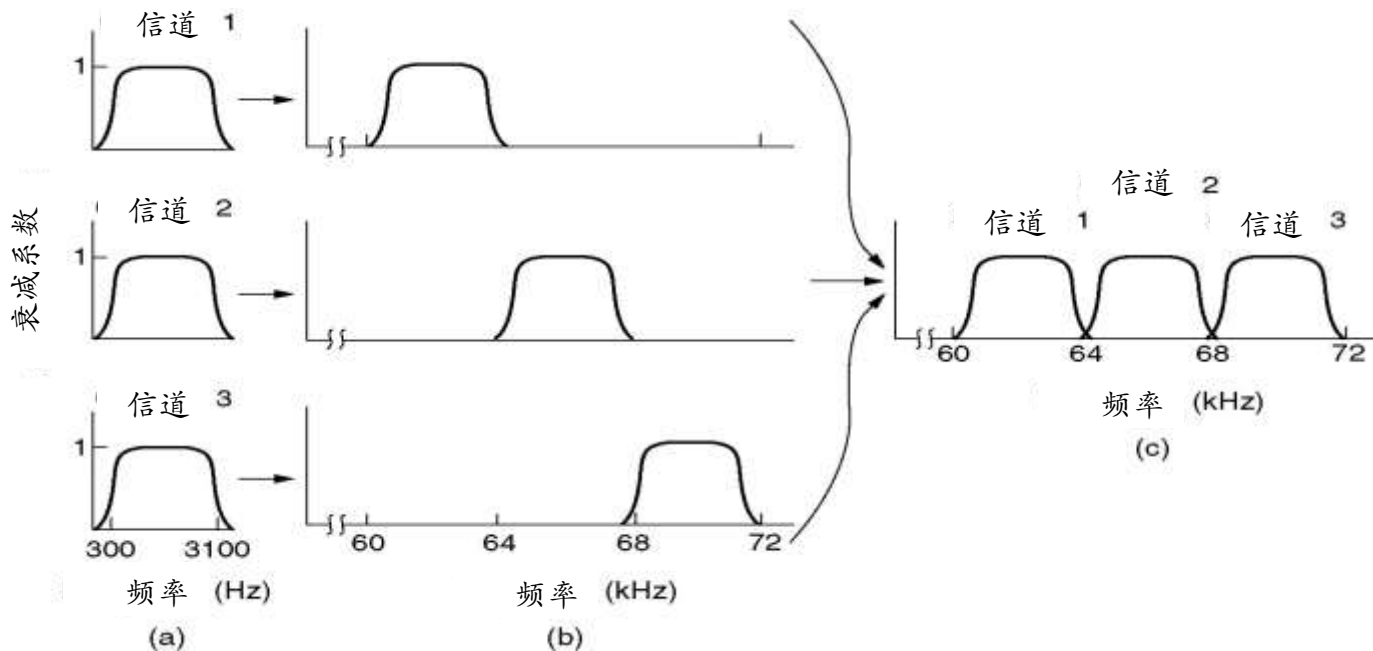


多路复用信道



■ 三个语音信道复用到一起

a、原始带宽； b、提升到频谱上的带宽； c、多路复用信道



频分多路复用实例



■ xDSL技术

- xDSL 技术就是用数字技术对现有的模拟电话用户线进行改造，使它能够承载宽带业务
- 虽然标准模拟电话信号的频带被限制在 300~3400 Hz 的范围内，但用户线本身实际可通过的信号频率仍然超过 1 MHz
- xDSL 技术就把 0~4 kHz 低端频谱留给传统电话使用，而把原来没有被利用的高端频谱留给用户上网使用
- DSL 就是数字用户线(Digital Subscriber Line)的缩写。而 DSL 的前缀 x 则表示在数字用户线上实现的不同宽带方案

■ ADSL技术

- 参见教材P115

ADSL技术



■ 非对称数字用户线ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)特点

- 上行和下行带宽做成不对称的
- 上行指从用户到 ISP, 而下行指从 ISP 到用户
- ADSL 在用户线 (铜线) 的两端各安装一个 ADSL 调制解调器
- 我国目前采用的方案是离散多音 DMT (Discrete Multi-Tone)调制技术
- ADSL的数据率

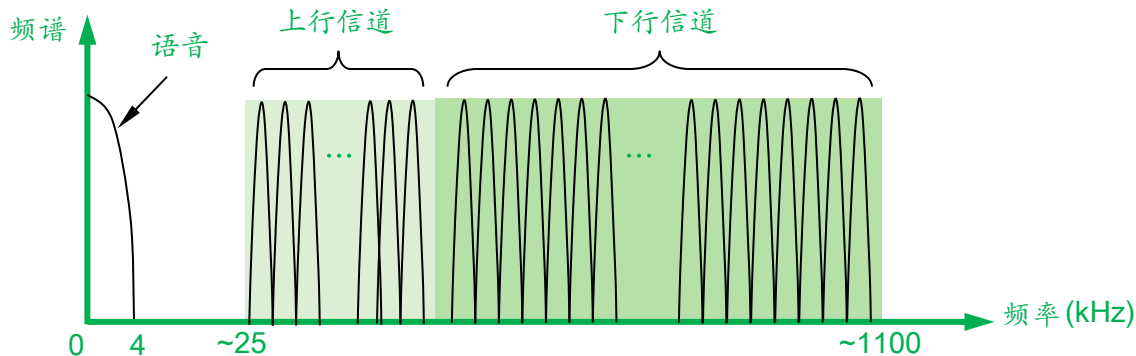
	上行速率	下行速率	公布日期
ADSL(G.992.2)	384kbps	1.5Mbps	1999.6
ADSL2(G.992.3,4)	1Mbps	12Mbps	2002.7
ADSL2+(G.992.5)	2Mbps	24Mbps	2003.3

ADSL技术 (2)



■ 离散多音DMT技术

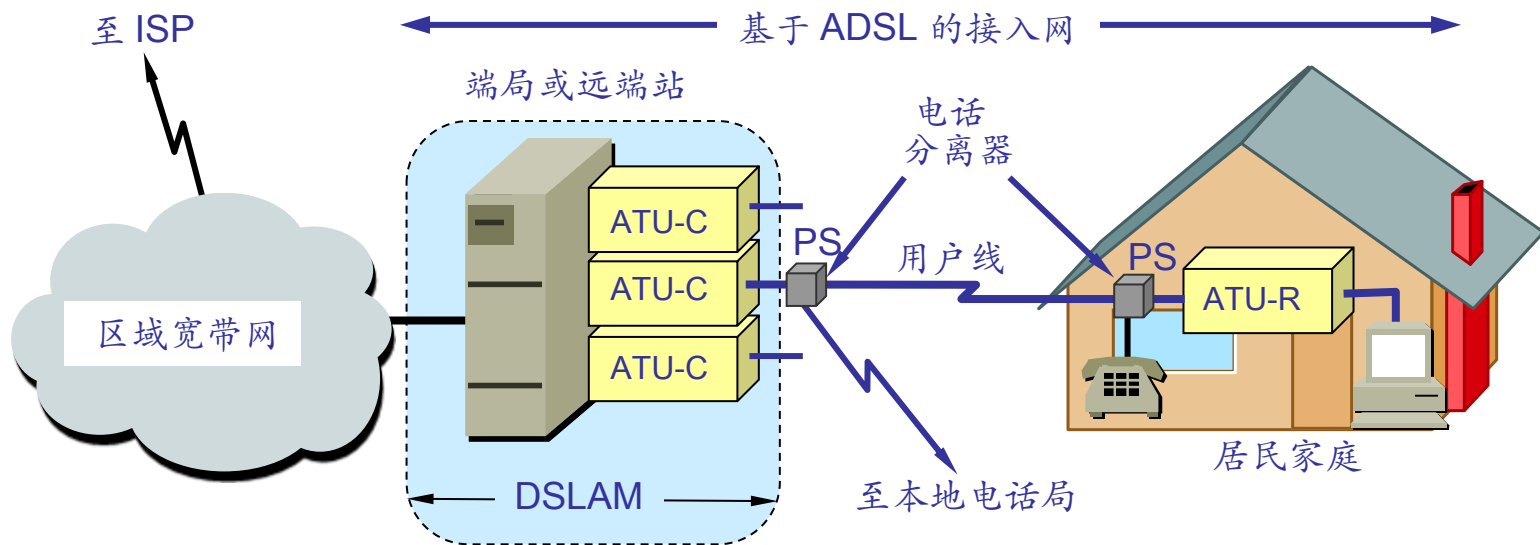
- DMT 调制技术采用频分多路复用的方法，将25k~1100kHz划分为256条独立信道
- 其中， 25 个子信道用于上行信道，而 230 个子信道用于下行信道
- 每个子信道占据 4 kHz 带宽（严格讲是 4.3125 kHz，312Hz用于隔离），并使用不同的载波（即不同的音调）进行数字调制
- DMT 技术的频谱分布



ADSL技术 (3)

■ ADSL接入网的设备配置

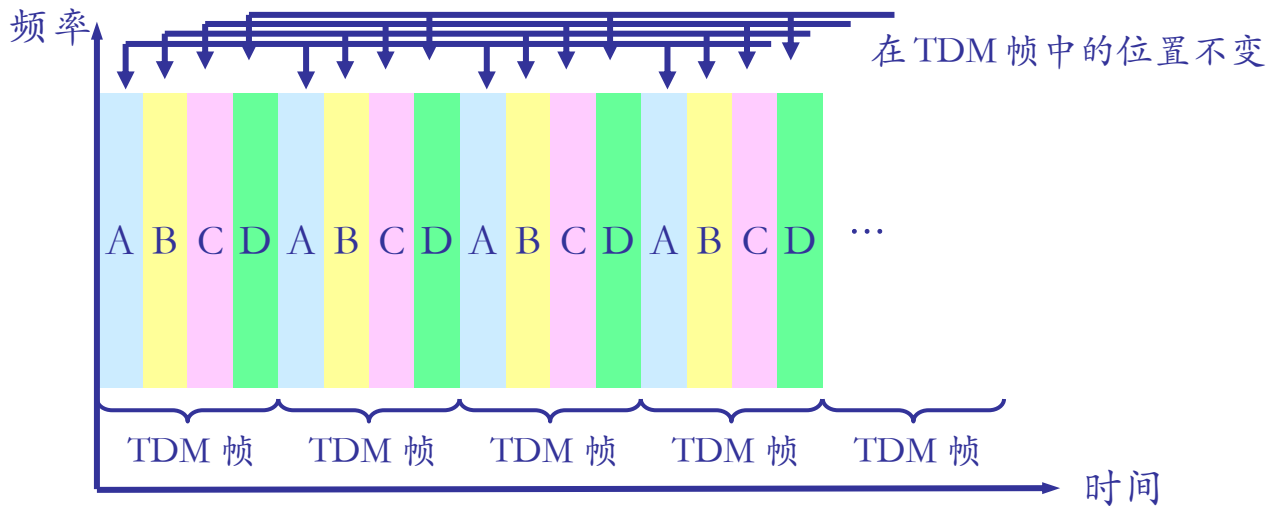
- DSL访问复用器 DSLAM (DSL Access Multiplexer)、访问端接单元 ATU (Access Termination Unit)
- ATU-C (C 代表端局 Central Office) 、ATU-R (R 代表远端 Remote) 、电话分离器 PS (POTS Splitter)



时分多路复用TDM

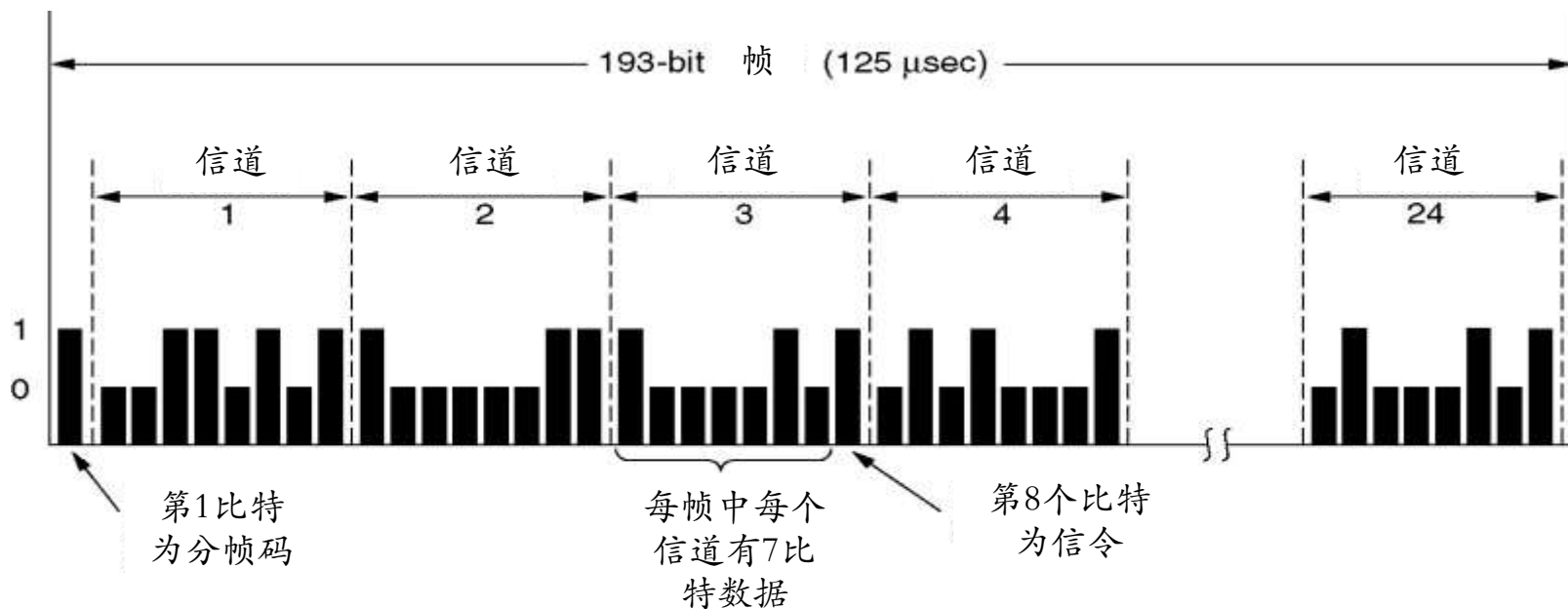


- 时分多路复用 (TDM, Time Division Multiplexing)
 - 所有用户，在**不同的时间**占用相同的频带宽度



时分多路复用实例

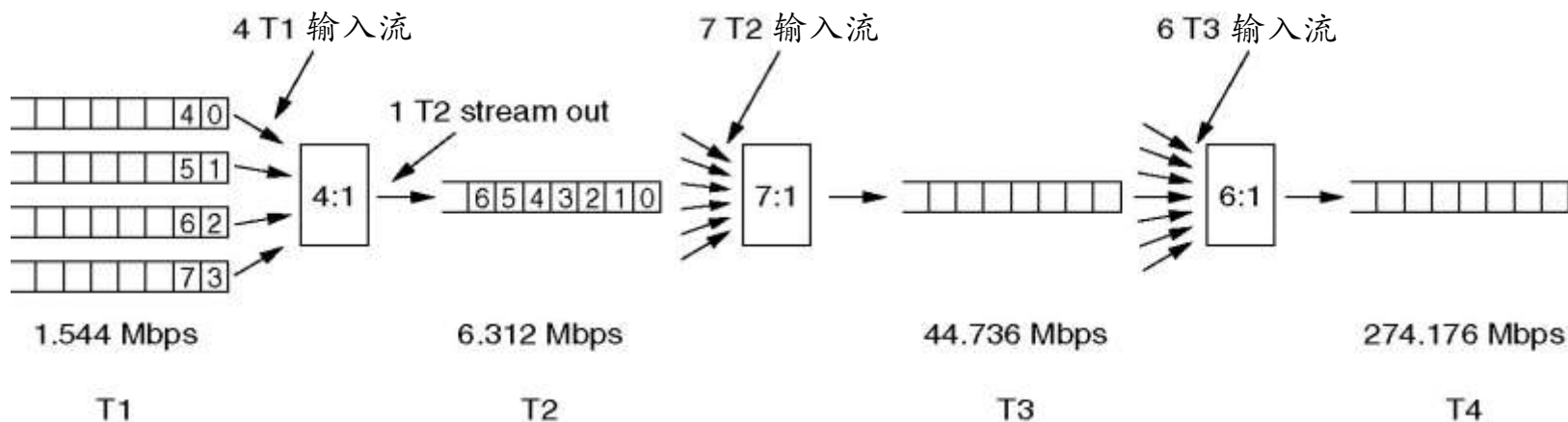
■ T1载波(1.544 Mbps, 参见教材P120)



时分多路复用实例 (2)

■ 高阶载波复用

- 更高级别线路: $T2=4 T1$, $T3=7 T2$, $T4=6 T3$,



时分多路复用实例 (3)

■ SONET/SDH

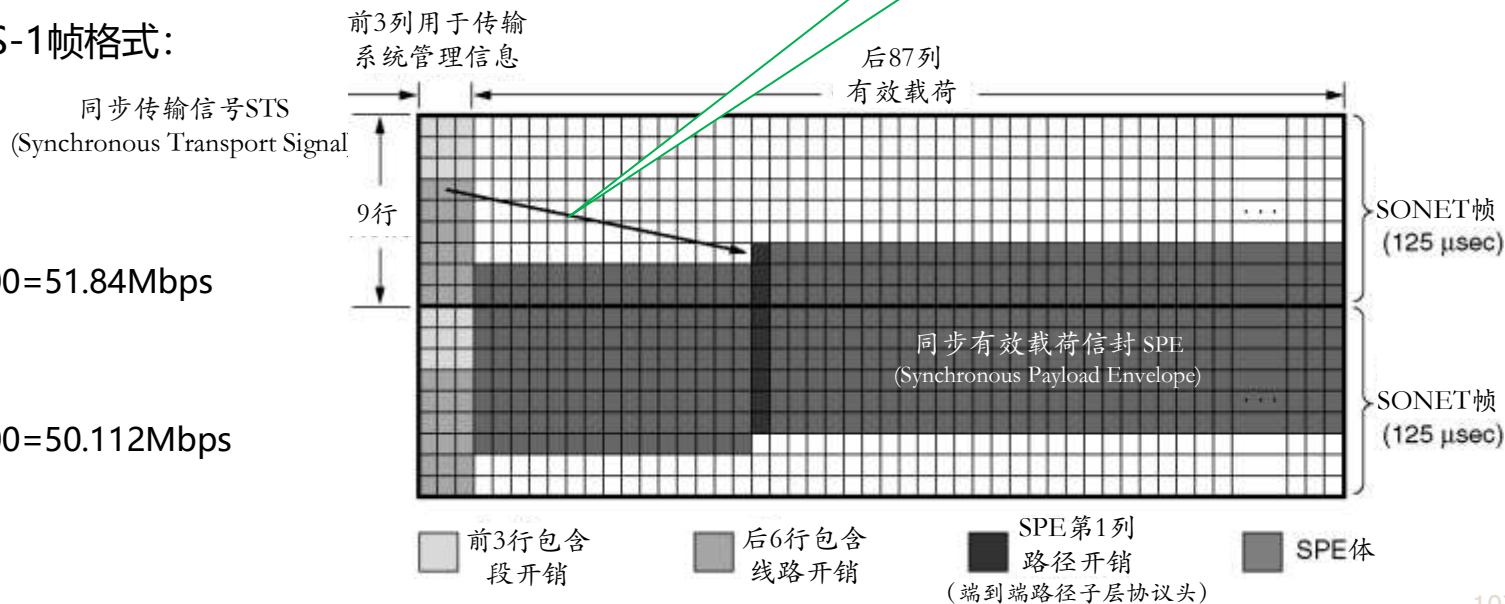
- 同步光纤网 SONET (Synchronous Optical NETwork)
- 同步数字系列SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
- STS-1帧格式:

SONET帧:

$90 \times 9 \times 8 \times 8000 = 51.84 \text{ Mbps}$

SPE:

$87 \times 9 \times 8 \times 8000 = 50.112 \text{ Mbps}$





时分多路复用实例 (4)

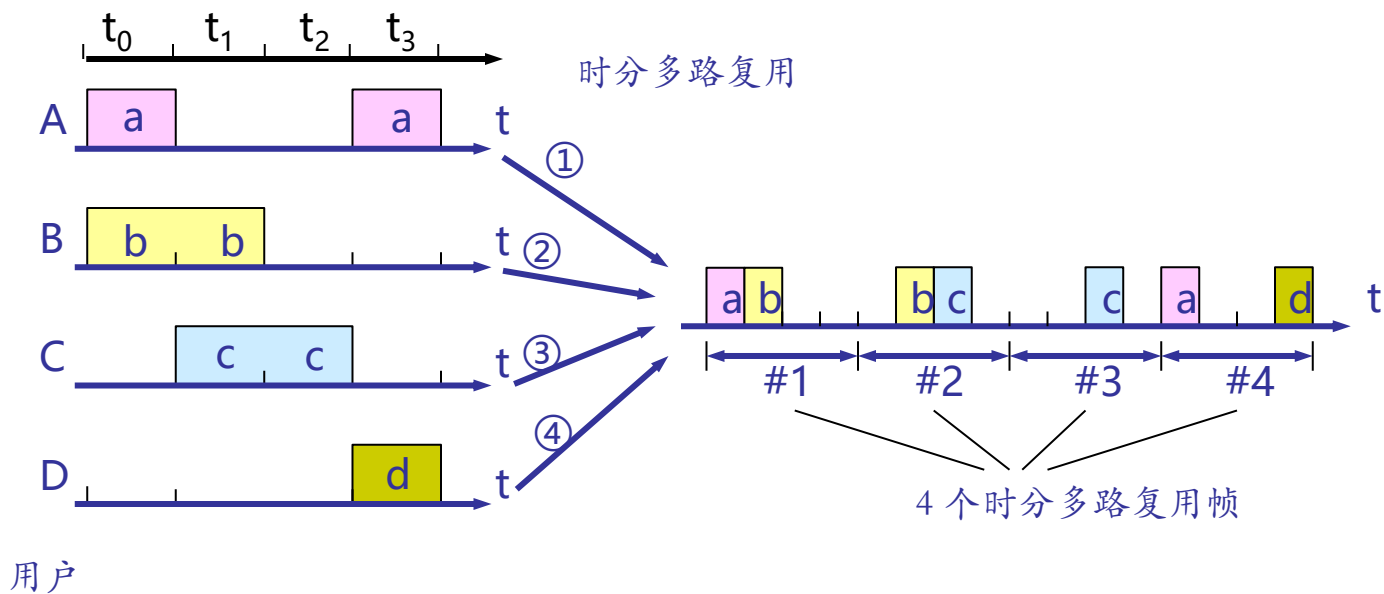
■ 同步光纤网 SONET

- STS有效载荷中，可以是语音样值（通过T1或其他载波传送）或数据包
- SONET/SDH多路复用层次与数据率
 - ◆ 数据传输率：T3~40Gbps； 下一个线路标准OC-3072：160Gbps

SONET		SDH	数据率(Mbps)		
电子	光	光	总速率	SPE	用户速率
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-12	OC-12	STM-3	622.08	601.344	594.432
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28	9621.504	9510.912
STS-768	OC-768	STM-256	39813.12	38486.016	38043.648

统计时分多路复用 STDM

- 时分多路复用可能会造成线路资源的浪费

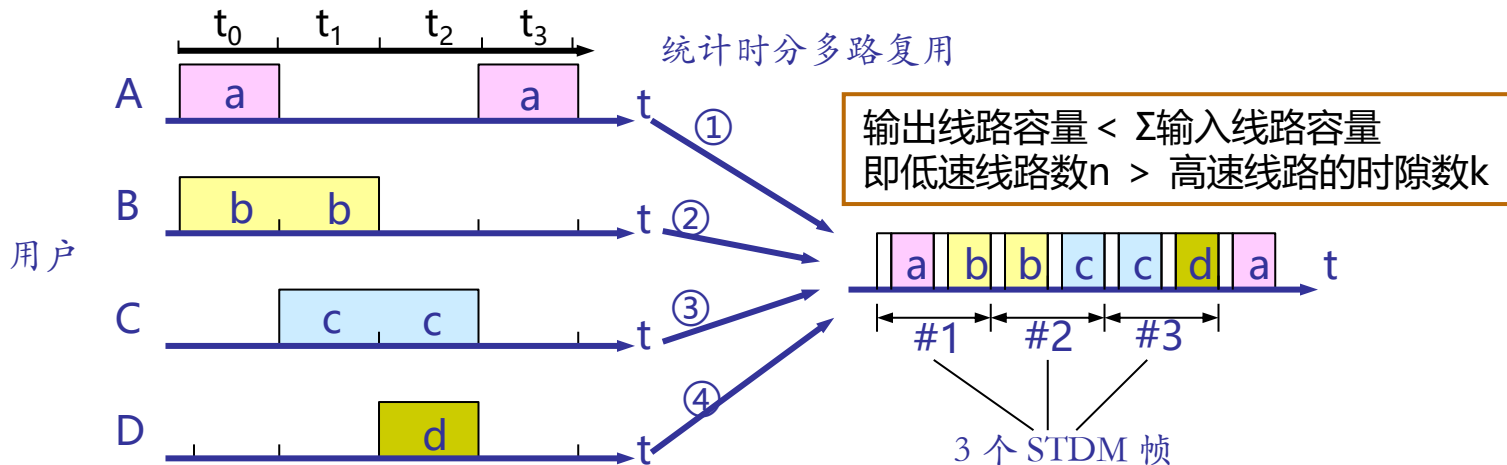


统计时分多路复用 STDM (2)



■ 工作原理——动态地按照需要来分配时隙的多路复用方式

- 一边是一组I/O线路，另一边是一条高速复用线路，每条I/O线路有一缓冲区
- 对于n条I/O线路在TDM帧中只有k个时间槽可用
- 输入时多路复用器的功能是扫描输入缓冲区收集数据直到一帧为满，就发送出去
- 输出时，多路复用器接收一帧，将各时间槽的数据分发到相应的输出缓冲区

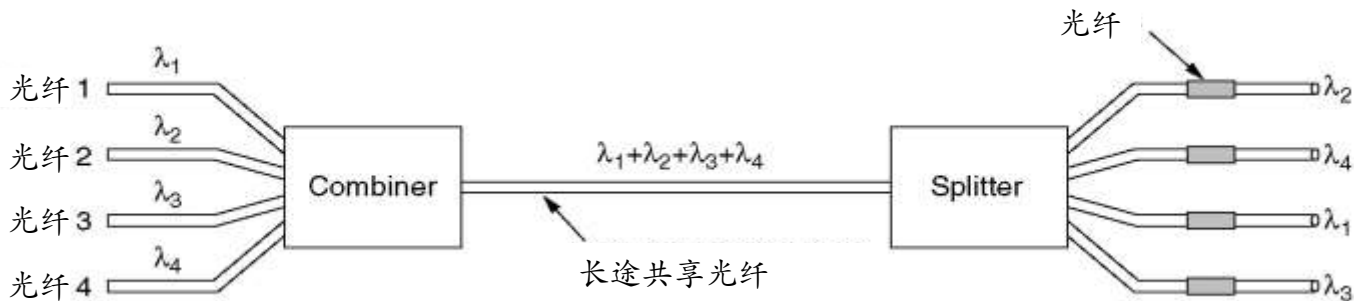
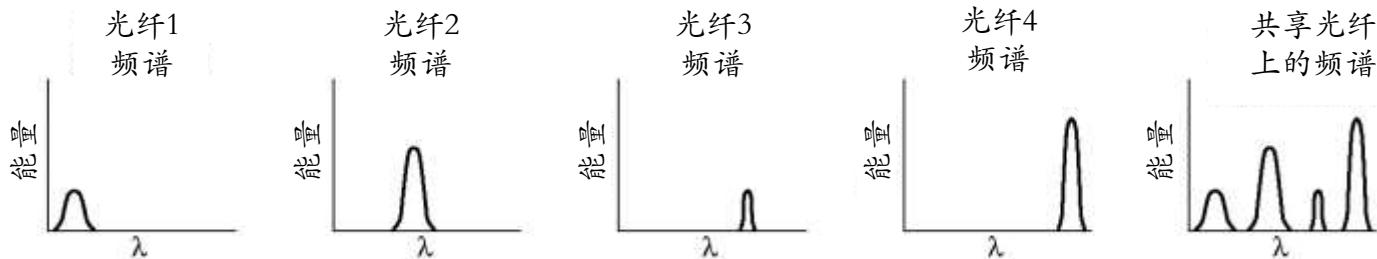


波分多路复用 WDM



■ 波分多路复用 (WDM, Wavelength Division Multiplexing)

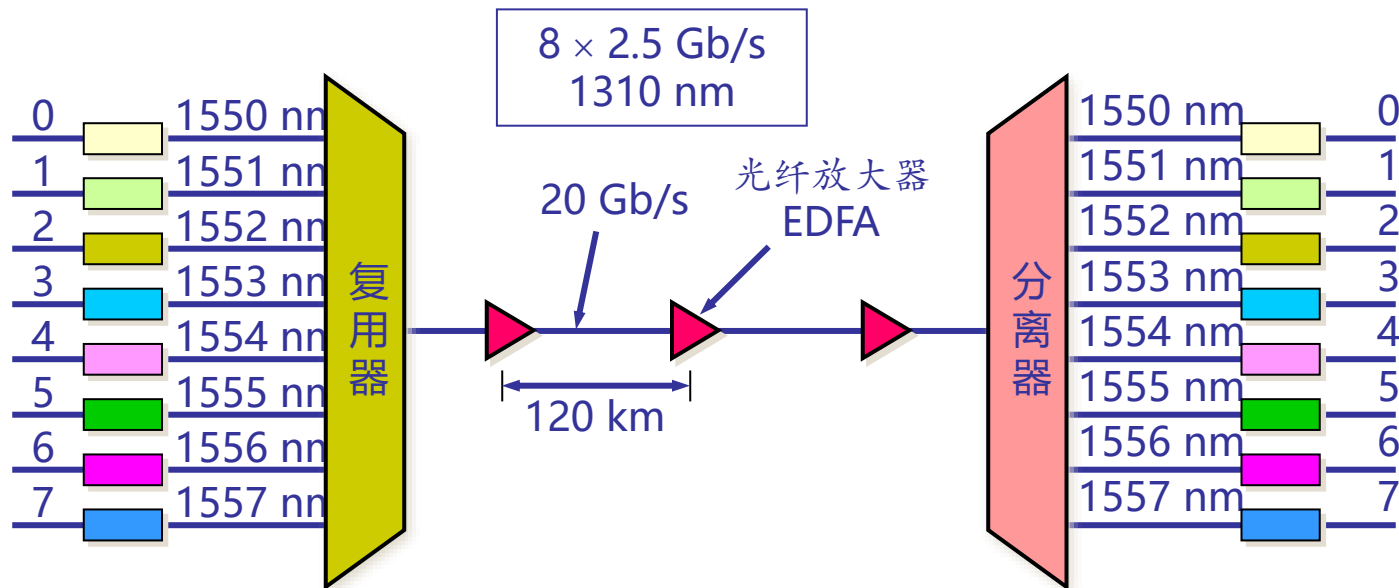
● 波分多路复用就是光的频分多路复用



波分多路复用示例

■ 8路波分多路复用

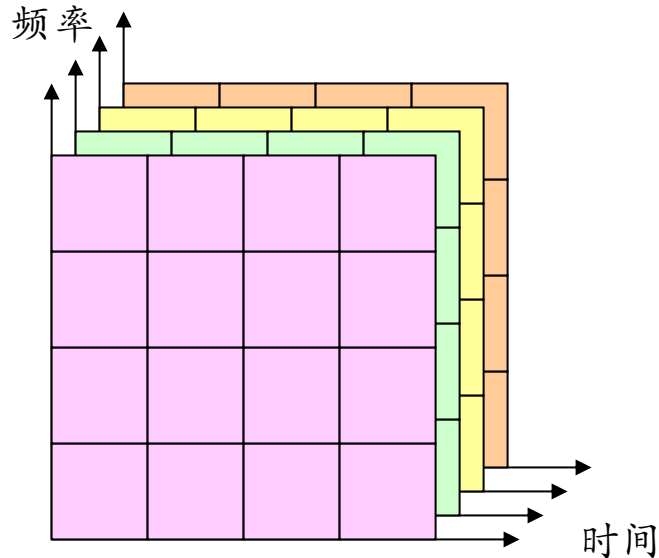
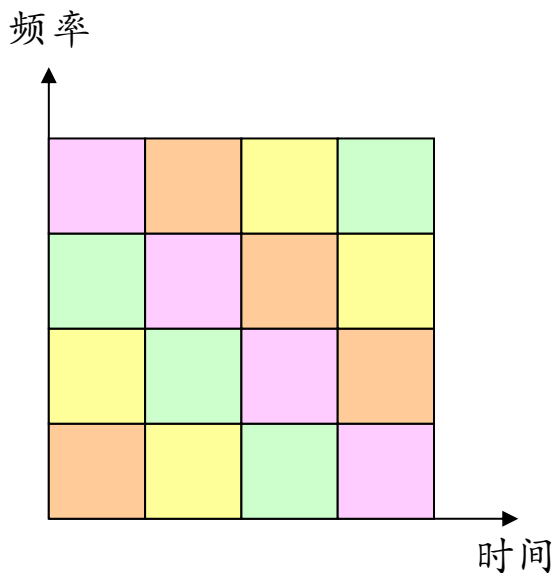
- 8路波长为1310nm的光信号，调制到波长为1550~1557nm之间相应光信号



码分多路复用 CDM

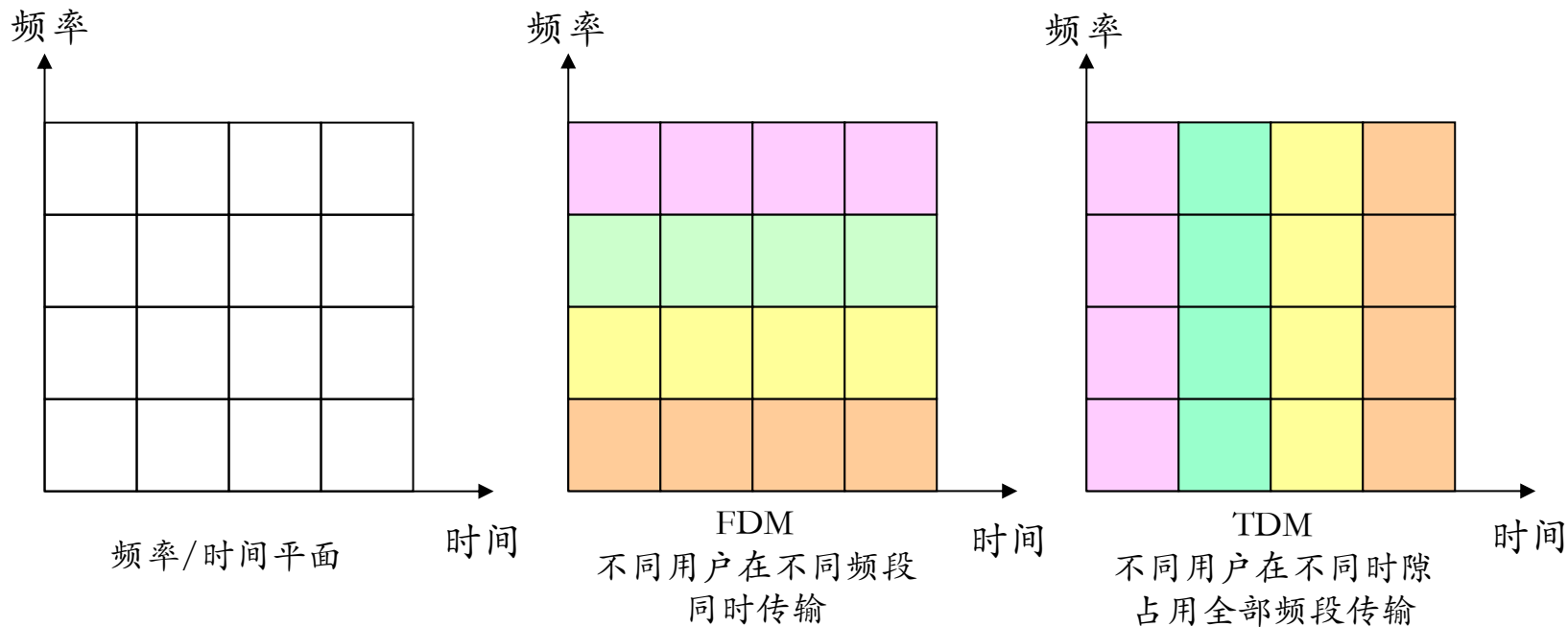


- 码分多路复用 (CDM, Code Division Multiplexing)
 - 也称为码分多址 (CDMA, Code Division Multiple Access)
 - 所有用户, 在相同的时间**共用**相同的频带宽度



多路复用原理

■ 信号空间划分为时隙和频率波段

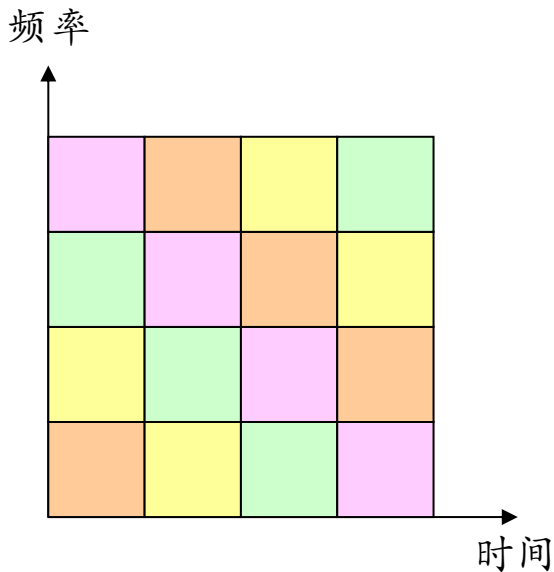


码分多址 CDMA



■ 跳频(Frequency Hopping)CDMA

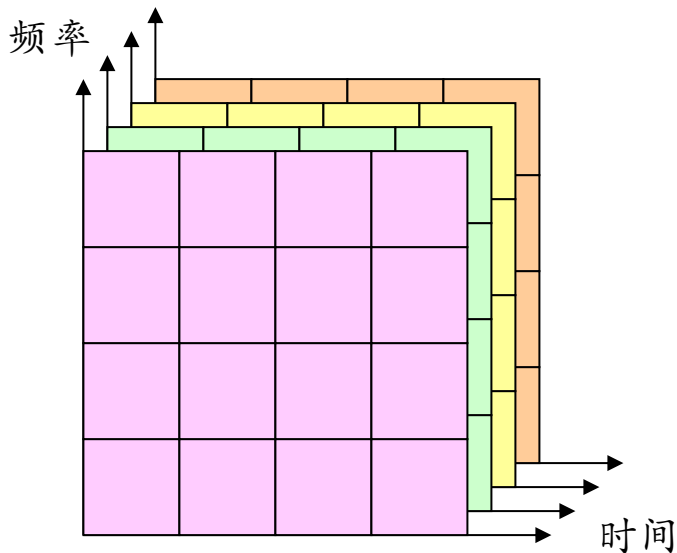
- 每过一个时隙，频段都被重新安排分配
- 各用户都使用一个代码来决定跳频模式



直接序列(Direct Sequence)CDMA



- 所有用户，在全时段内占用整个频带宽度



不同用户的信号全部进行叠加
(相当于扩展为三维)

如何实现?

CDMA设计原理



■ 码片(chip)

- 各用户使用经过特殊挑选的不同码型，因此彼此不会造成干扰
- 这种系统发送的信号有很强的抗干扰能力，其频谱类似于白噪声，不易被敌方发现
- 每一个比特时间划分为 m 个短的间隔，称为码片

■ 码片序列(chip sequence)

- 每个站被指派一个唯一的 m bit 码片序列
 - ◆ 如发送比特 1，则发送自己的 m bit 码片序列
 - ◆ 如发送比特 0，则发送该码片序列的二进制反码

CDMA特点



■ 码片序列 (续)

- 例如, S 站的 8 bit 码片序列是 00011011
 - ◆ 发送比特 1 时, 就发送序列 00011011
 - ◆ 发送比特 0 时, 就发送序列 11100100
- S 站的码片序列: $(-1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1)$

■ CDMA 的重要特点

- 每个站分配的码片序列不仅必须各不相同, 并且还必须互相正交(orthogonal)
- 在实用的系统中是使用伪随机码序列

码片序列的正交关系



- 假设向量 **S** 表示 S 站的码片向量，**T** 表示其他任何站的码片向量
- 两个不同站的码片序列正交，就是向量 **S** 和 **T** 的规格化内积(inner product)都是 0

$$\mathbf{S} \bullet \mathbf{T} \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

- 例如
 - 向量 **S** 为(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)
 - 向量 **T** 为(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)
 - 把向量 **S** 和 **T** 的各分量值代入上式，就可看出这两个码片序列是正交的



正交关系的另一个重要特性

- 任何一个码片向量，与该码片向量自己的规格化内积都是1

$$\mathbf{S} \bullet \mathbf{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1$$

- 一个码片向量，与该码片反码的向量的规格化内积值是 -1

CDMA编码



- 每个站被指派一个唯一的 m 位码片序列

$$C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$$

- 每个需要发送的二进制位 d_i , 编码方式为乘以码片序列

$$Z_i = d_i * C$$

- 例如

- 发送第一位二进制数据 $d_1 = -1$
- 码片序列: $(c_1, c_2, \dots, c_8) = (+1, +1, +1, -1, +1, -1, -1, -1)$
- 码片输出: $(z_{11}, z_{12}, \dots, z_{18}) = (-1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, +1)$

CDMA解码



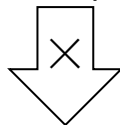
- 在其它站没有数据发送的情况下，接收站会接收到编码后的比特 Z_i

- 要恢复成原始数据 d_i ，计算方法为：
$$d_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Z_{ij} c_j$$

- 例如

- $(c_1, c_2, \dots, c_8) = (+1, +1, +1, -1, +1, -1, -1, -1)$

- $(z_{11}, z_{12}, \dots, z_{18}) = (-1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, +1)$

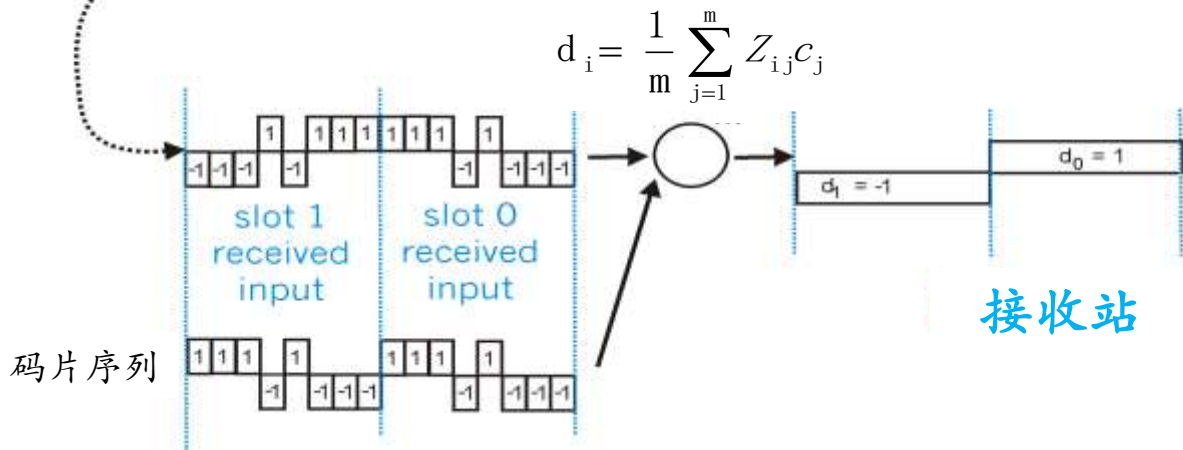
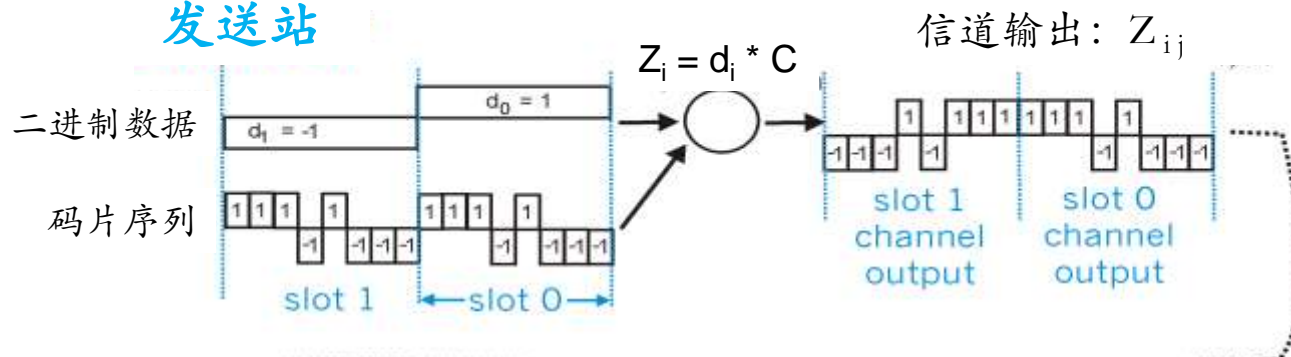


$$(-1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1)$$

- 则 $d_1 = -1$

CDMA编、解码图示

发送站



码片带宽



■ 发送码片的速率远高于原始速率

- 如果原始数据传输率为 b bps, 则CDMA编码后, 所需的数据传输率为 mb bps

■ 例如

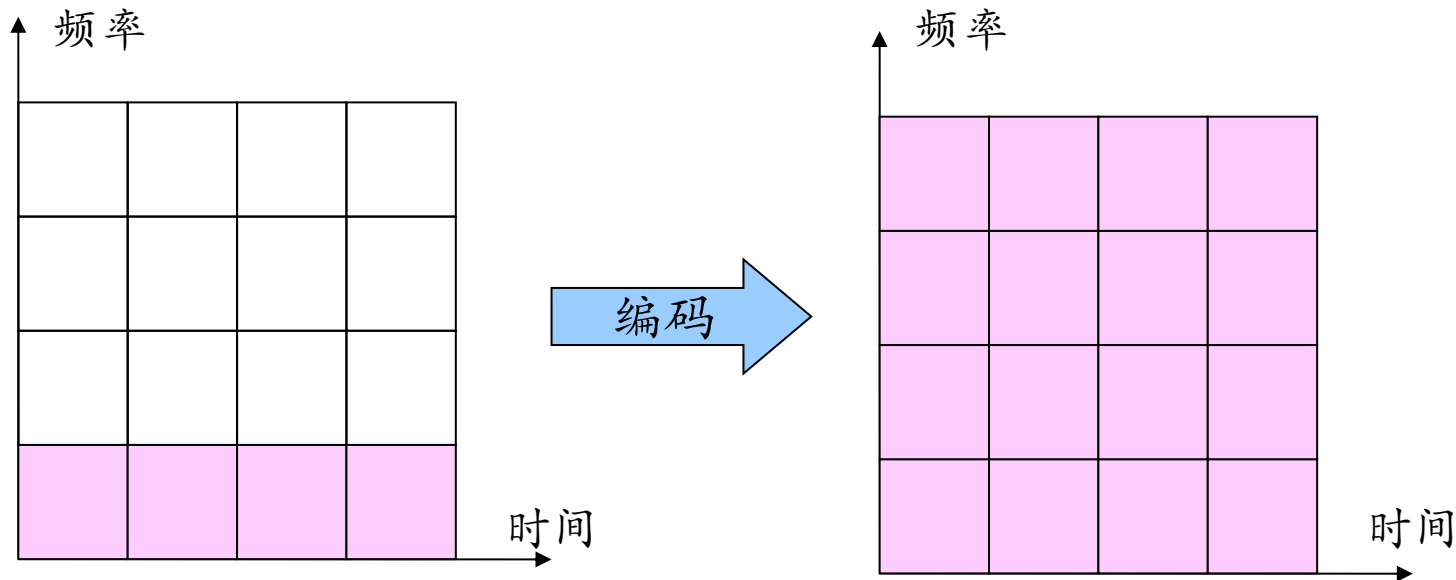
- 1 MHz频段, 由100个站使用
- 若采用FDM, 每站得到 10 kHz频段, 带宽为10 kbps (假设每Hz发送1 bit)
- 采用CDMA, 每站可以使用全部的 1 MHz频段, 码片传输率为 1 Mbps
- 但由于每个比特的码片速率为100, 所以数据带宽为: $1 \text{ Mbps}/100 = 10 \text{ kbps}$

扩频技术

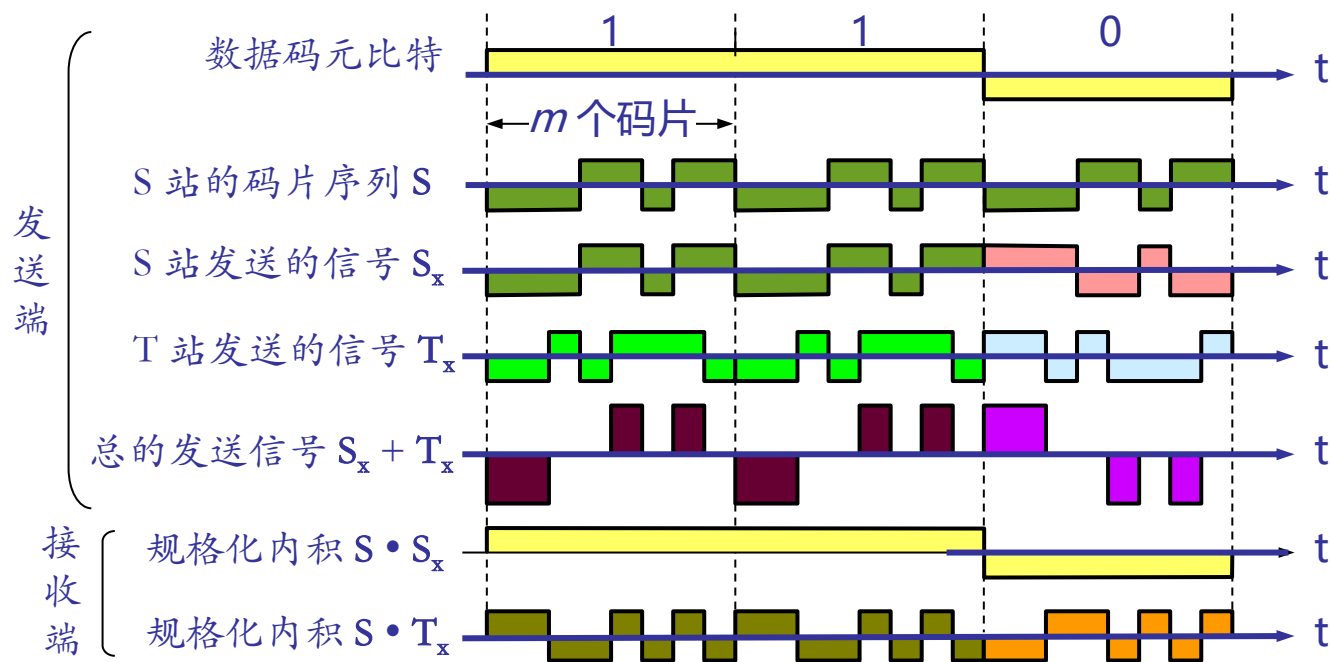


■ CDMA编码将带宽扩展m倍

m又称为扩频因子或处理增益



CDMA 的工作原理



多用户场景



■ 4个站的码片序列 (参见教材P107)

- $A = (-1 \ -1 \ -1+1+1 \ -1+1+1)$
- $B = (-1 \ -1+1 \ -1+1+1+1 \ -1)$
- $C = (-1+1 \ -1+1+1+1 \ -1 \ -1)$
- $D = (-1+1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1 \ -1)$

■ 6个传输实例

- $S_1 = C = (-1+1-1+1+1+1-1-1)$
- $S_2 = B+C = (-2 \ 0 \ 0 \ 0+2+2 \ 0-2)$
- $S_3 = A+\overline{B} = (0 \ 0-2+2 \ 0-2 \ 0+2)$
- $S_4 = A+\overline{B}+C = (-1+1-3+3+1-1-1+1)$
- $S_5 = A+B+C+D = (-4 \ 0-2 \ 0+2 \ 0+2-2)$
- $S_6 = A+B+\overline{C}+D = (-2-2 \ 0-2 \ 0-2+4 \ 0)$

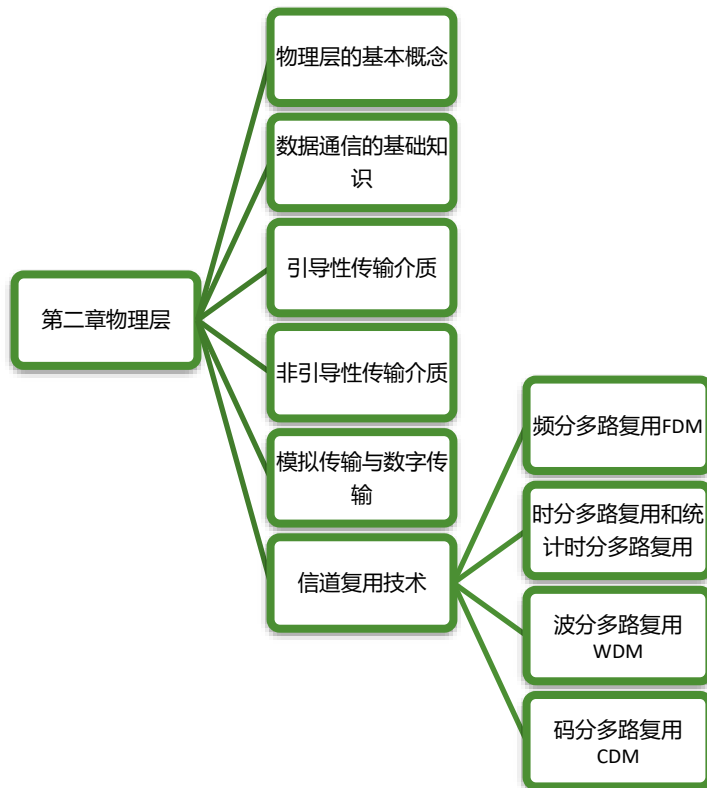
■ 4个站点码片序列与发出的6组信号

A:	0	0	0	1	1	0	1	1	-	-	1	-
B:	0	0	1	0	1	1	1	0	-	1	1	-
C:	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	-	-
D:	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	-
									1	1	1	1
									1	1	0	1

■ C 站的信号解码复原

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

本章导航与要点



本章课程结束

