

# ○、本章问题

1. 链路层的数据使用哪种物理层信号进行数据传输？
2. 谁完成的二进制数据到物理信号的转换？它怎么知道该转换成哪种物理信号？
3. 物理信号传输过程中如果有错误怎么办？谁来负责解决？
4. 物理信号是否存在头部信息？



# 一、模拟与数字通信

## 1. 模拟信号与数字信号

**模拟数据 (Analog Data) : 连续值**

**数字数据 (Digital Data): 离散值**

数据传输方式

信号类型：模拟信号 (Analog Signals)

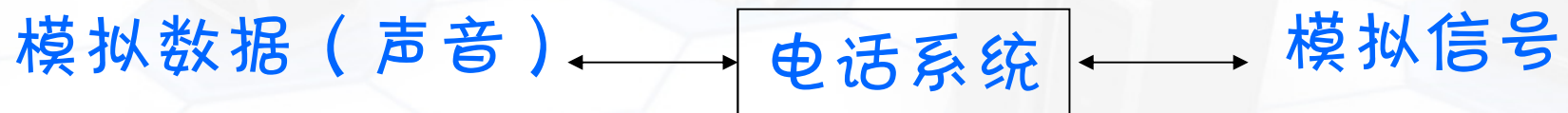
数字信号 (Digital Signals)

信号发送方式

模拟信号传输 (采用模拟信道)

数字信号传输 (采用数字信道)

## 1) 模拟信号传输



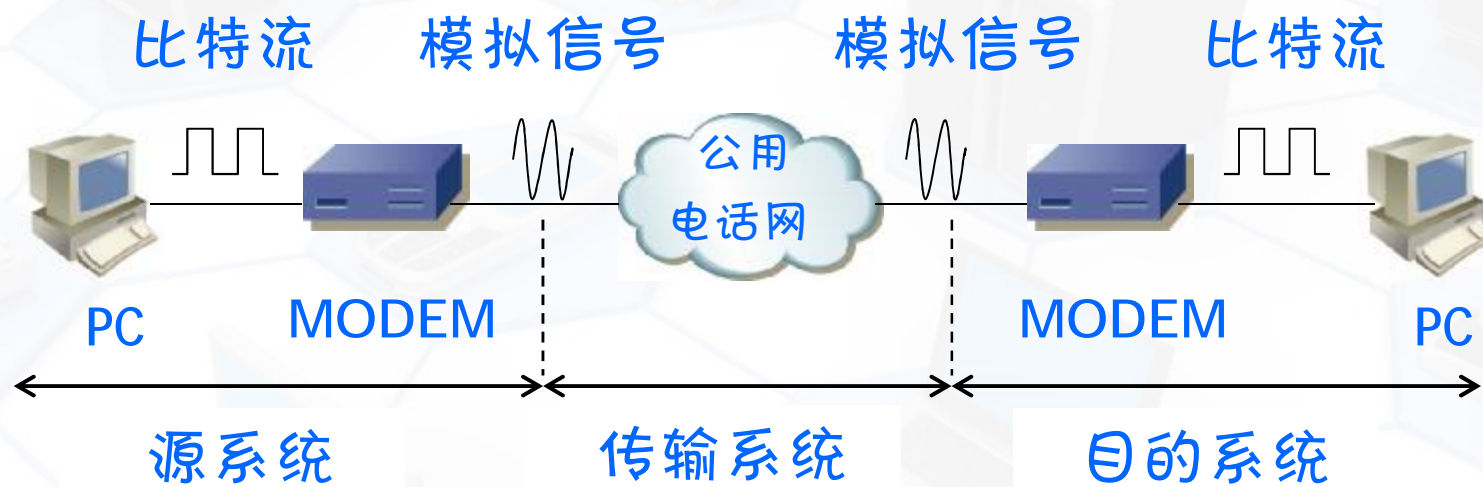
模拟信号的模拟信道直接传输



数字信号经转换后的模拟信道传输

优点：不易衰减，传输距离较远

缺点：易受噪声干扰影响

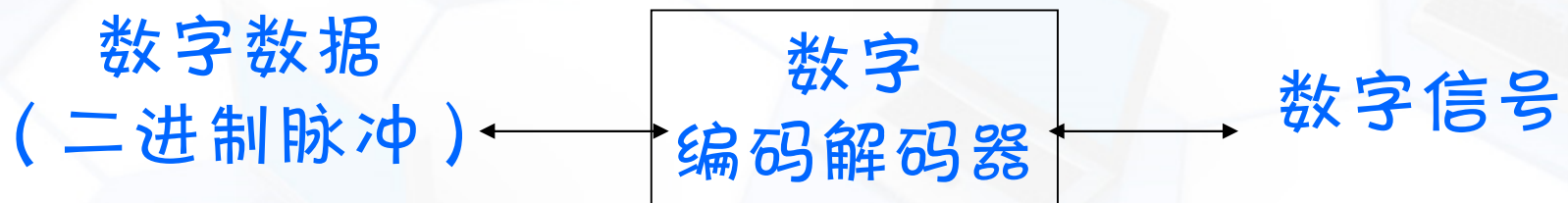


## 数字与模拟信号的关系

## 2) 数字信号传输



模拟信号的数字信道传输



数字信号的数字信道传输

优点：价格便宜，对噪声不敏感；

缺点：易受衰减，频率越高，衰减越厉害。

### 3) 模拟数据数字传输

解决模拟信号数字化，也称脉冲代码调制PCM（Pulse Code Modulation），根据奈奎斯特原理进行采样

#### 常规的PCM技术

- p** 将模拟信号振幅分成多级（ $2^n$ ），每一级用  $n$  位表示。例如：电话系统的 T1 载波将模拟信号分成128级，每次采样用7位二进制数表示

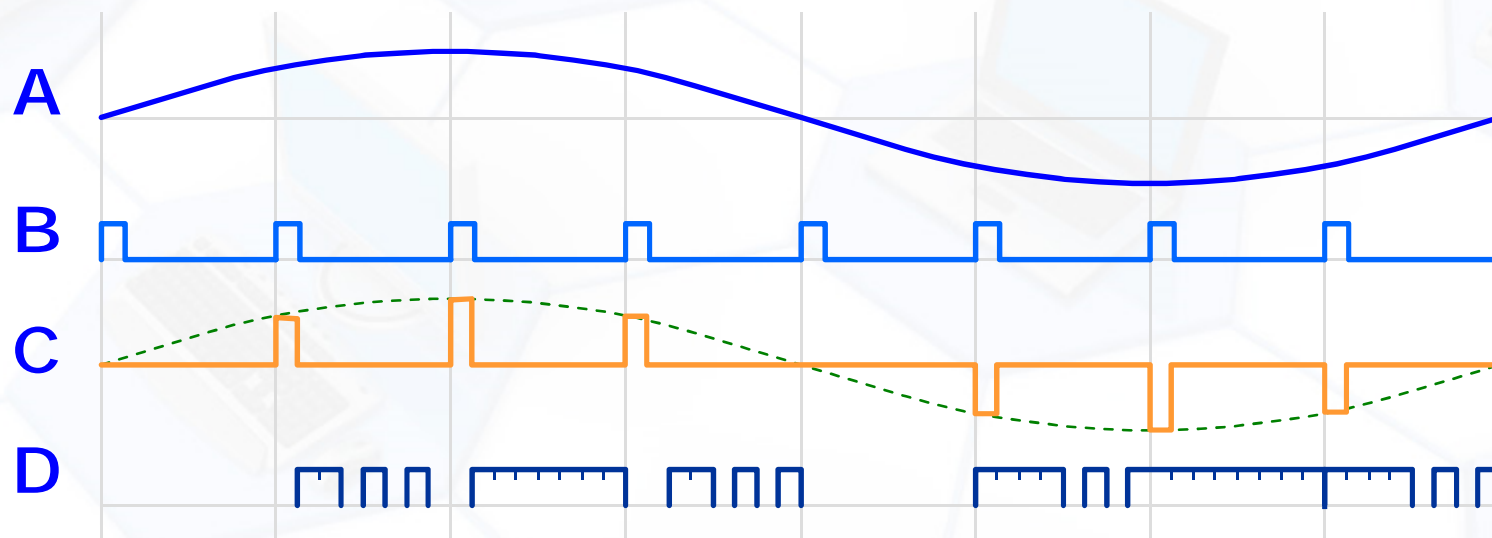
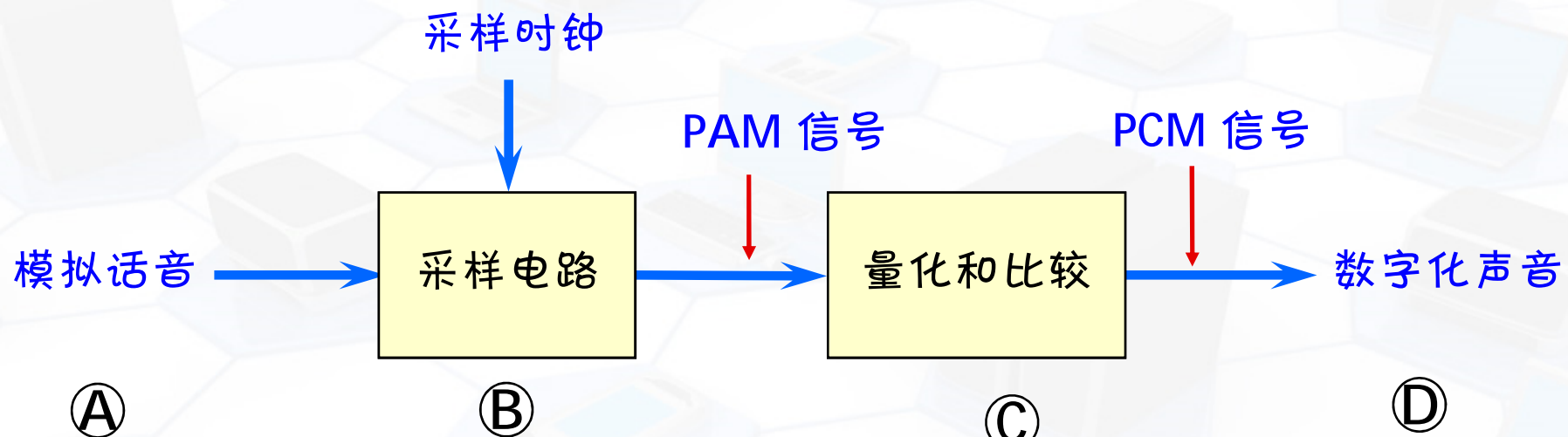
#### 差分脉冲代码调制

- p** 根据前后两个采样值的差进行编码，输出二进制数字

#### $\delta$ 调制

- p** 根据每个采样值与前一个值之间差“+1”或“-1”来决定输出二进制“1”或“0”





模拟→数字 ( PCM )

## 2. 基带传输和频带传输

### 1) 基带传输（数字信号的数字传输）

基带：基本频带，指传输变换前所占用的频带，是原始信号所固有的频带

基带传输：在传输时直接使用基带信号

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



常用的数字传输编码方式：

a) 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”，低电平表示“0”，高电平表示“1”

b) 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”。

### c) 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”。位中间跳变表示时钟，位前跳变表示数据

### d) 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

### e) 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

## 2) 频带传输（数字数据的模拟传输）

- p 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
- p 由于基带信号在长距离的传输信道上会受到衰减、畸变及噪音等的影响，因此在发送端必须转换成一种适合于在信道上传输的信道信号，这个转换过程就叫调制(modulation)；在接收端的相反转换过程称为解调(demodulation)
- p 调制解调器MODEM(MOdulation-DEModulation, MODEM)就是调制器(MOdulator)和解调器(DEModulator)的组合

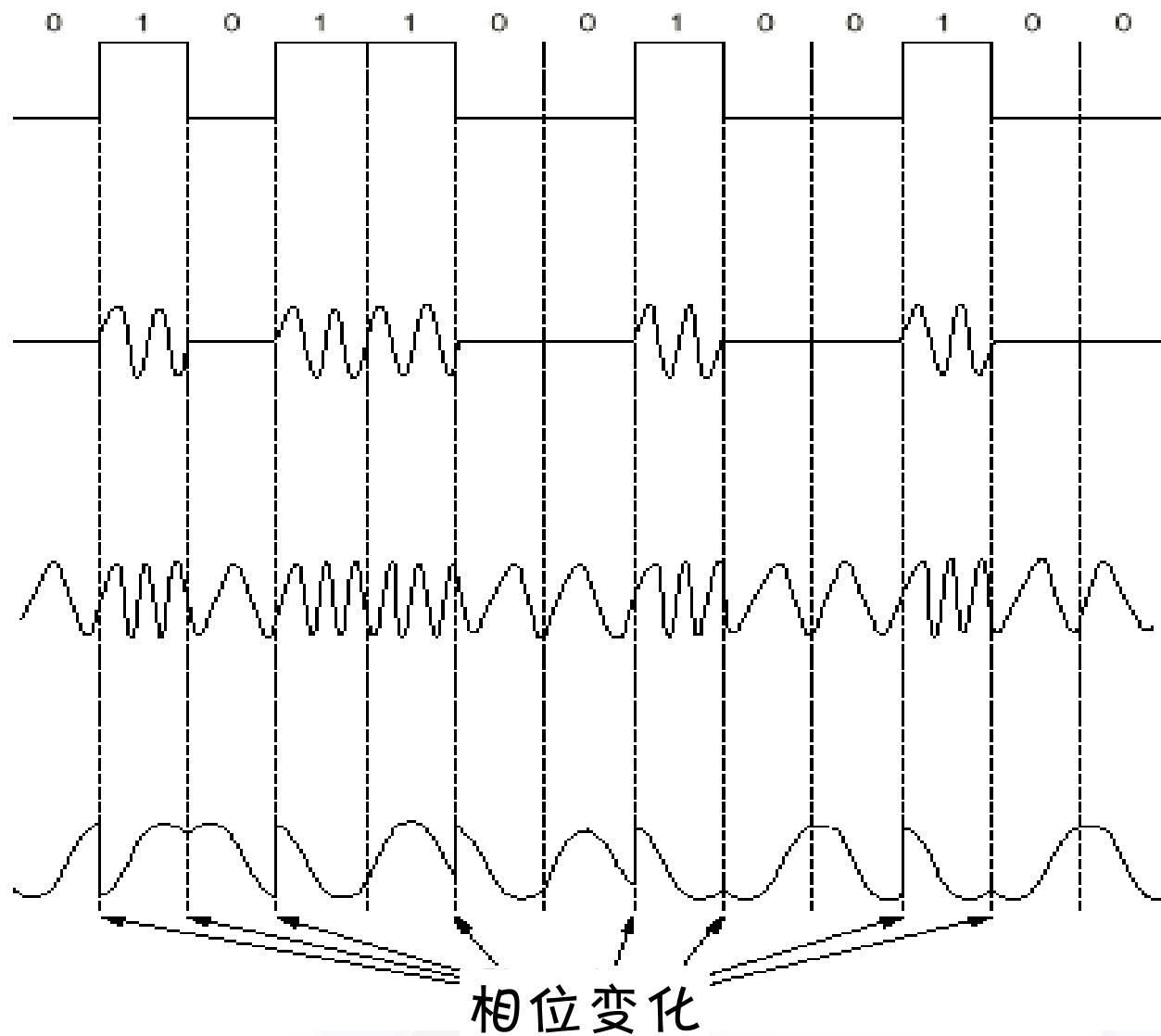
## 不同调制形式举例

数字  
信号

调幅

调频

调相



## 二、数据通信的理论基础

### 1. 傅立叶分析

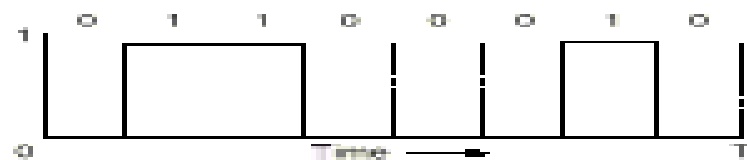
任何一个周期为T的有理周期性函数  $g(t)$  可分解为若干项（可能无限多项）正弦和余弦函数之和：

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

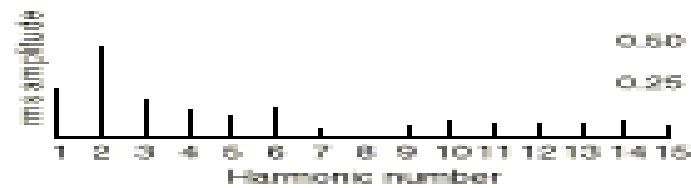
其中： $f = 1/T$  基本频率；

$a_n, b_n$  为n次谐波项的正弦和余弦振幅值；

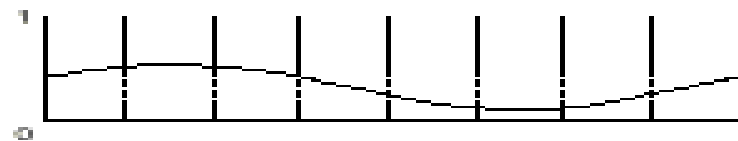
$C$  为常数；



(a)



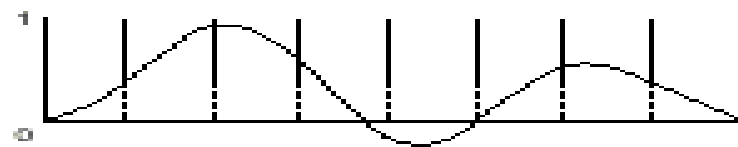
原始  
数据



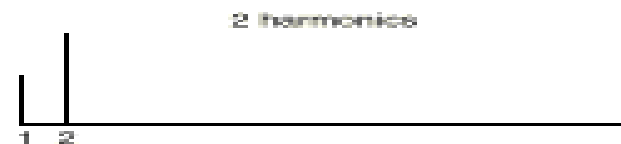
(b)



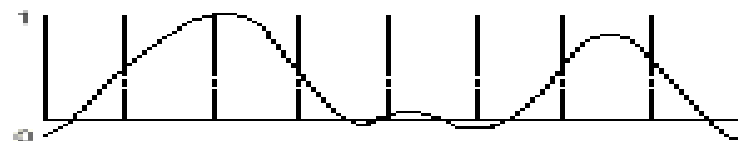
1次  
谐波



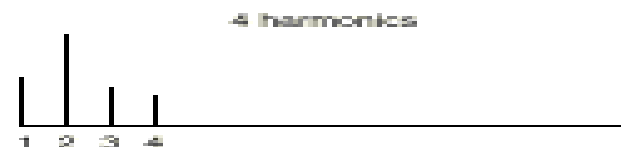
(c)



2次  
谐波



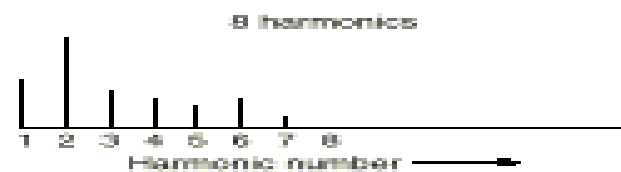
(d)



4次  
谐波



(e)



8次  
谐波

对于二进制数据01100010，不同谐波的输出结果



## 2. 信道的最大数据传输率

奈奎斯特推导出无噪声有限带宽信道的最大数据传输率公式：

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

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，信号电平分为  $V$  级

结论：依据奈奎斯特原理，超过带宽2倍的信号采样频率并不能更好的表现原始信号

## 信道受到随机（热）噪声干扰的情况

热噪声的大小用信噪比（信号功率与噪声功率之比）来衡量。

$$\text{信噪比} = 10 \lg S/N$$

S:信号功率，N:噪声功率 单位:分贝（dB）

香农的有噪声环境最大数据传输率：

带宽为 H 赫兹，信噪比为 S/N 的任意信道的最大数据传输率为

$$\text{最大数据传输率} = H \log_2(1 + S/N)$$

单位： bps

例如：电话系统的典型信噪比为30dB，其截止频率为3000Hz。

根据香农理论，电话线路上的最大数据传输率为：  
35Kbps

注意：香农的公式是利用信息论得出的，具有普遍意义；与信号电平级数、采样速度无关；  
此公式表示的是理论上限，难以达到。

## 有关概念

波特率 (baud) 和比特率 (bit/s) 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

每个信号值可表示1位, 则比特率和波特率相同

对于比特率为  $B$  bps 的信道, 发送8位所需的时间为  $8/B$  秒, 若8位为一个周期  $T$ , 则一次谐波的频率是:  $f_1 = B/8$  Hz

例如：电话音频线路的截止频率为3000Hz，  
$$N = f_c / f_1 = 3000 / (B/8) = 24000/B$$

Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
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

结论：即使对于完善的信道，有限的带宽也会限制数据的传输速率。

### 三、多路复用技术

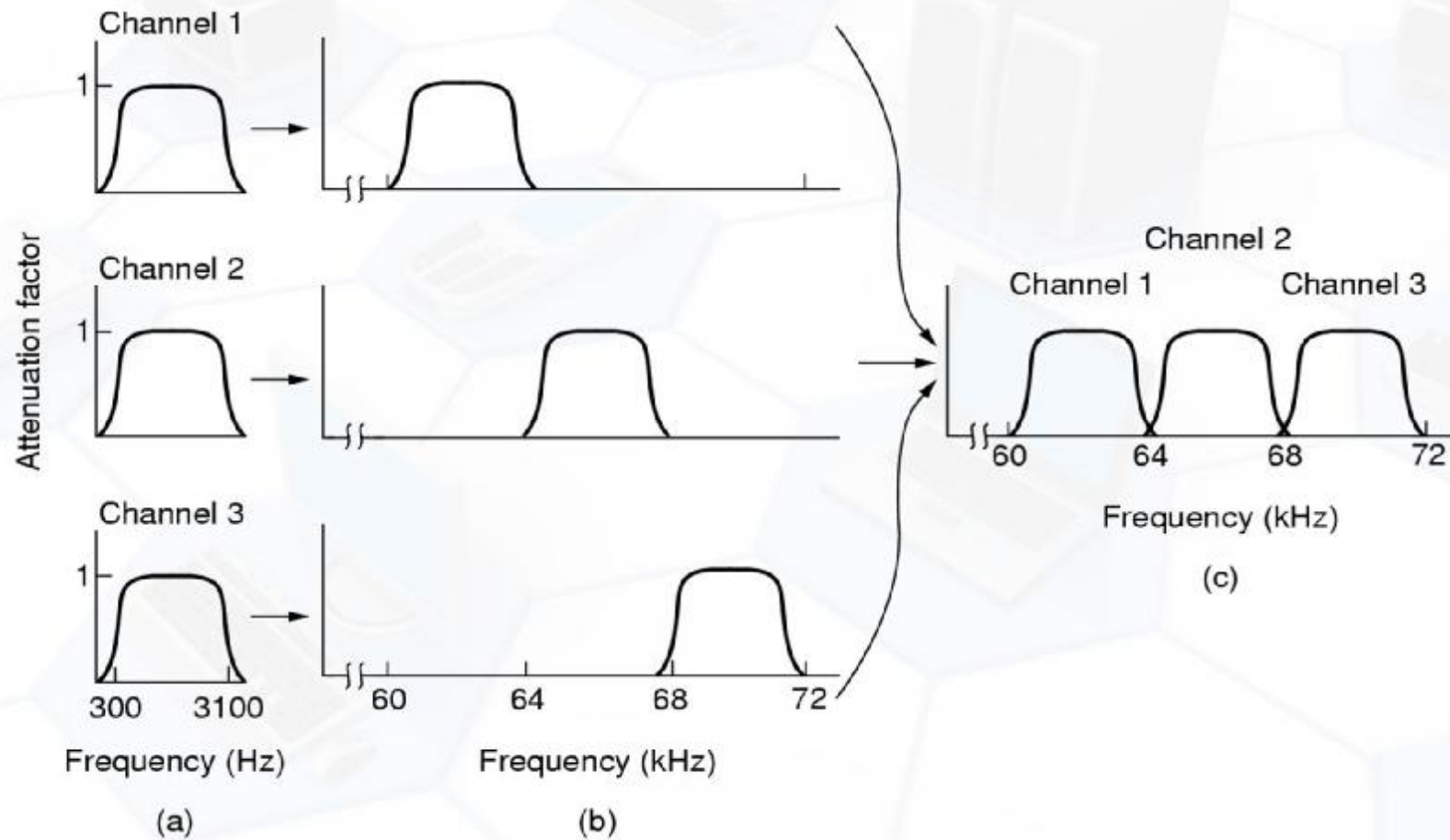
由于一条传输线路的能力远远超过传输一个用户信号所需的能力，为了提高线路利用率，经常让多个信号同时共用一条物理线路

常用的有三种方法：

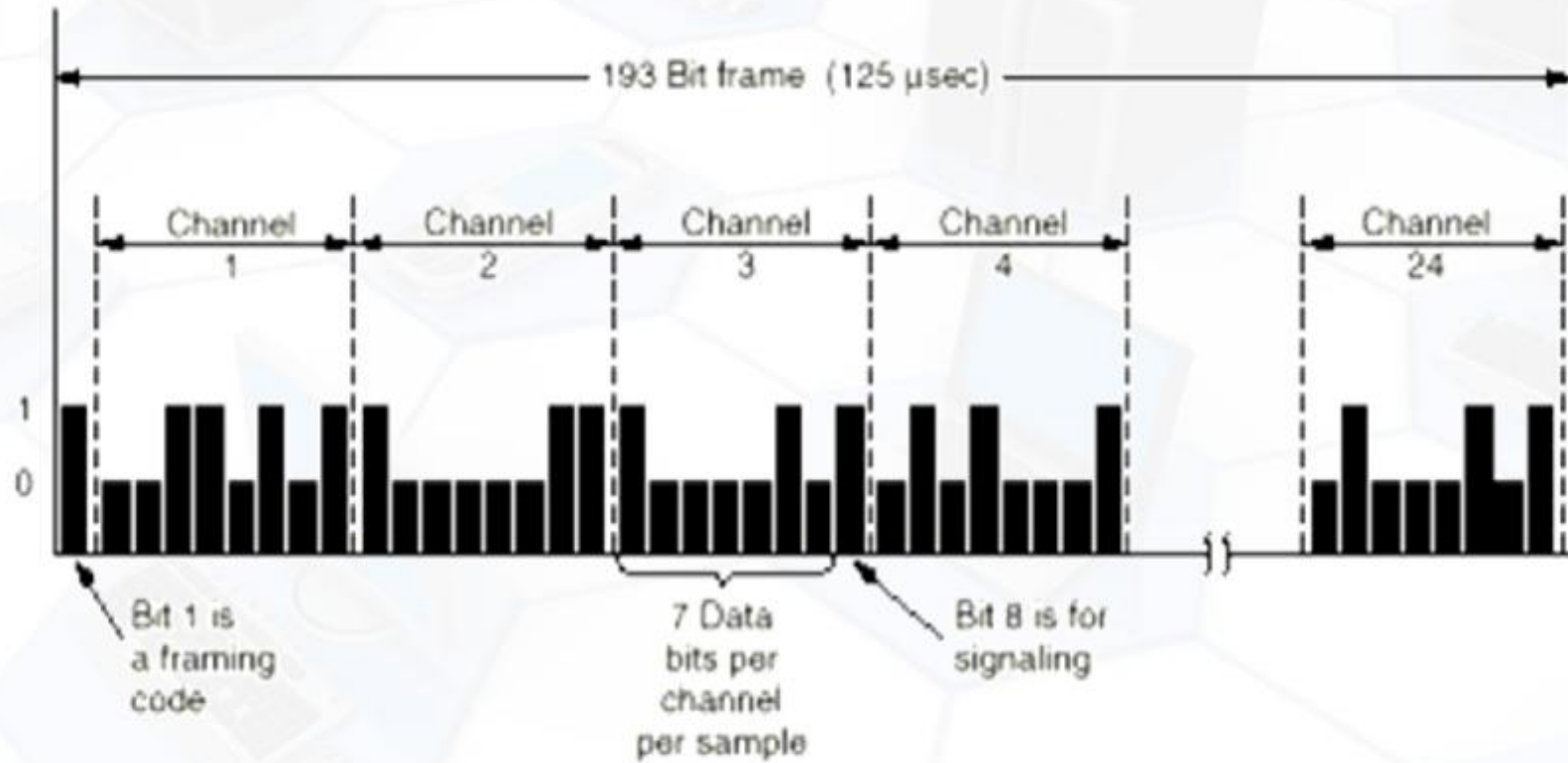
- u 时分复用 TDM (Time Division Multiplexing)
- u 频分复用 FDM (Frequency Division Multiplexing)
- u 波分复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing)



# 1. 频分复用FDM



## 2. 时分复用TDM



T1线路示意图

典型时分复用举例：

§ T1线路由24个多路复用信道组成

每个信道采样8000次/秒，每次采样量化为7 bit

每个信道每次采样生成7bit数据位加1 bit控制位，即  
 $7b + 1b$

即每个信道每秒生成56K +8K的传输速率

24个多路复用信道的每次采样组成一个帧，即每帧为：  
 $8 \text{ bit} \times 24 = 192 \text{ bit}$ ，每帧间加一个bit，所以每帧为  
193 bit

$193 \text{ bit} \times 8000 \text{ 次采样/秒} = 1544000 \text{ bit/s} =$   
1.544M b/s

北美地区使用T1线路

E1线路由32个多路复用信道组成

每个信道采样8000次/秒，每次采样量化为8 bit，其中包括用于信令的二进制位

32个多路复用信道的每次采样组成一个帧，即每帧为：

$8 \text{ bit} \times 32 \text{ 个信道} \times 8000 \text{ 次采样/秒} = 2.048 \text{ M b/s}$

欧洲、中国使用E1线路

## 多个T1或E1线路的复用

§ 一次群:  $T1 = 1.544\text{M b/s}$

$$E1 = 2.048\text{M b/s}$$

§ 二次群:  $T2 = T1 \times 4 + \dots = 6.312\text{M b/s}$

$$E2 = E1 \times 4 + \dots = 8.848\text{M b/s}$$

§ 三次群:  $T3 = T2 \times 7 + \dots = 44.736\text{M b/s}$

$$E3 = E2 \times 4 + \dots = 34.304\text{M b/s}$$

§ 四次群:  $T4 = T3 \times 6 + \dots = 274.176\text{M b/s}$

$$E4 = E3 \times 4 + \dots = 139.264\text{M b/s}$$

## 四、数据交换技术

§ 在多结点通信网络中，为有效利用通信设备和线路，一般希望动态地设定通信双方间的线路。动态地接通或断开通信线路，称为“交换”

§ 交换方式分类：

- Ø 电路交换

- Ø 报文交换（采用存储转发方式）

- Ø 分组交换（包交换，采用存储转发方式）

- Ø 混合交换



# 1. 电路交换（circuit switching）

§ 原理：直接利用可交换的物理通信线路，连接通信双方

§ 三个阶段

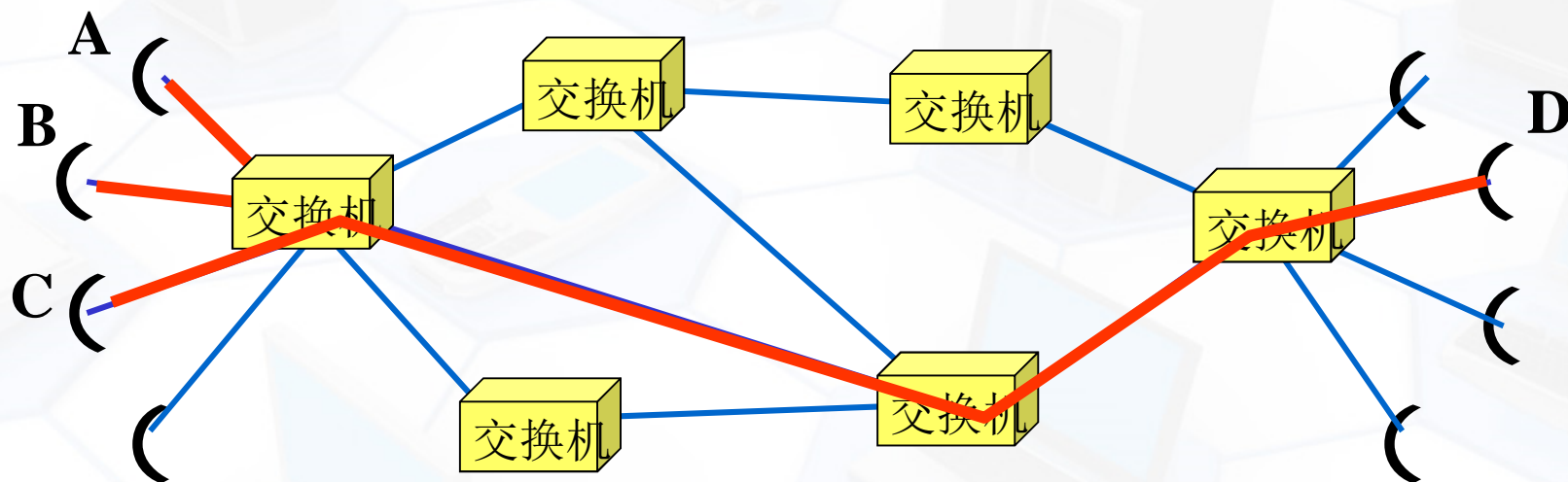
- Ø 建立电路
- Ø 传输数据
- Ø 拆除电路

§ 特点

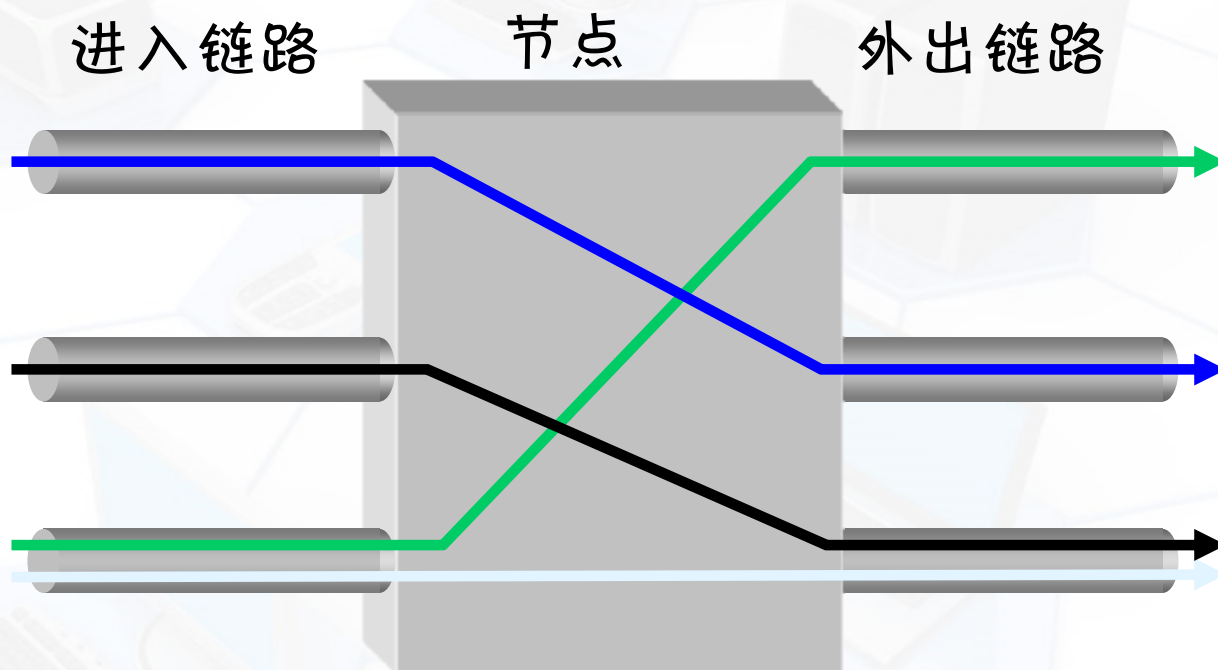
- Ø 在发送数据前，必须建立起点到点的物理通路
- Ø 建立物理通路时间较长，数据传送延迟较短

§ 例子

- Ø 公共电话网
- Ø ISDN (Integrated Services Digital Networks)



电路交换示意图



电路交换网络中的一个节点

## 2. 报文交换（message switching）

§ 原理：信息以报文（逻辑上完整的信息段）为单位进行存储转发

§ 特点

Ø 线路利用率高

Ø 要求中间结点（网络通信设备）缓冲大

Ø 延迟时间长

### 3. 分组交换（packet switching）

§ 原理：信息以分组为单位进行存储转发。源节点把报文分为分组，在中间节点存储转发，目的节点把分组合成报文

§ 分组：比报文还小的信息段，可定长，也可变长

§ 分组交换分为

Ø 数据报（datagram）

Ø 虚电路（virtual circuit）

## § 数据报

每个分组均带有全称网络地址（源、目的），可走不同的路径。如：IP网络

## § 虚电路

Ø 电路交换和分组交换的结合，如：ATM网络

Ø 分三个阶段

ü 建立：发带有全称网络地址的呼叫分组，建立虚电路

ü 传输：沿建立好的虚电路传输数据

ü 拆除：拆除虚电路



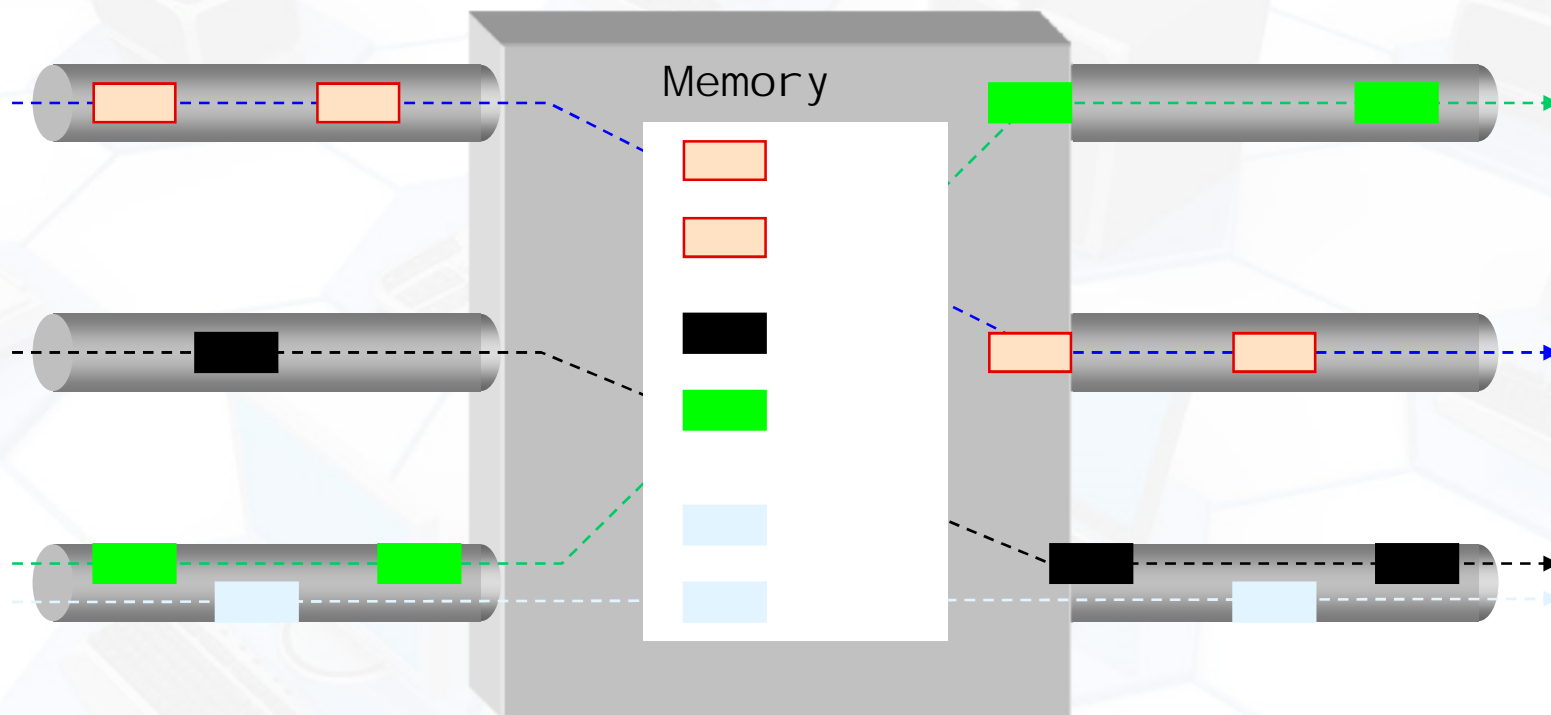
## § 分组交换特点

- Ø 每个分组包括目的地址，独立进行路由选择
- Ø 网络结点设备中不预先分配资源
- Ø 线路利用率高；结点存储器利用率高；
- Ø 易于重传，可靠性高；
- Ø 易于开始新的传输，让紧急信息优先通过；
- Ø 需要增加额外信息。

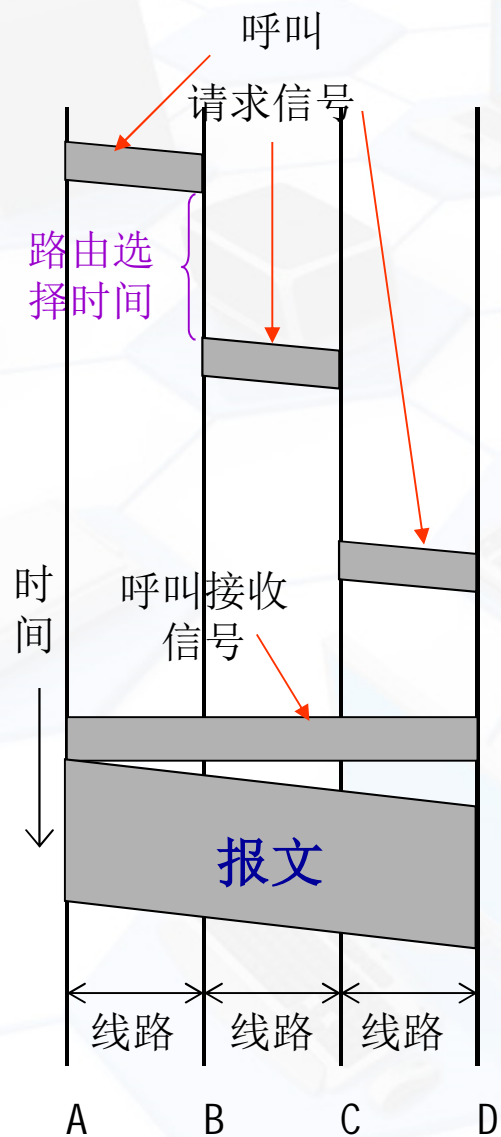
进入链路

节点

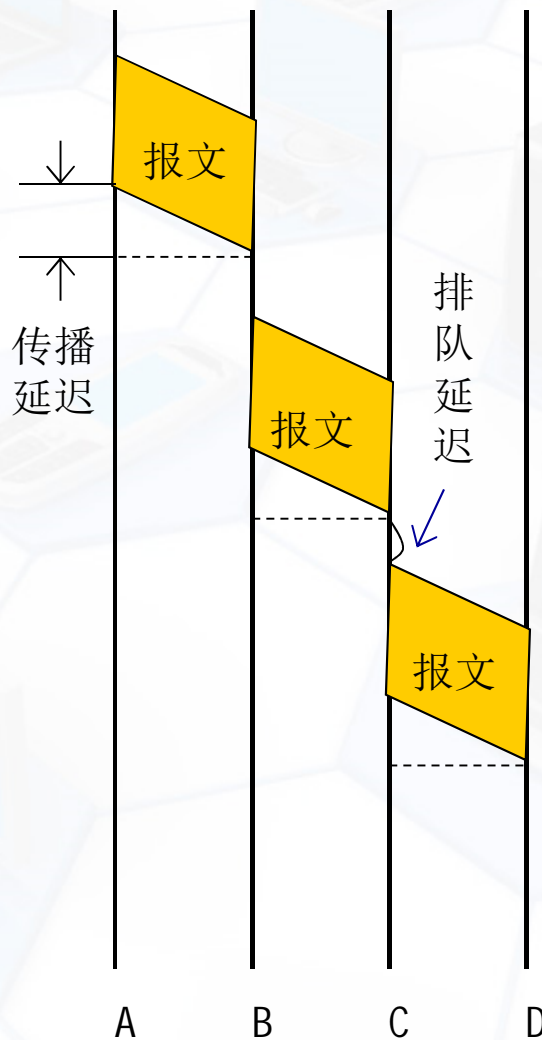
外出链路



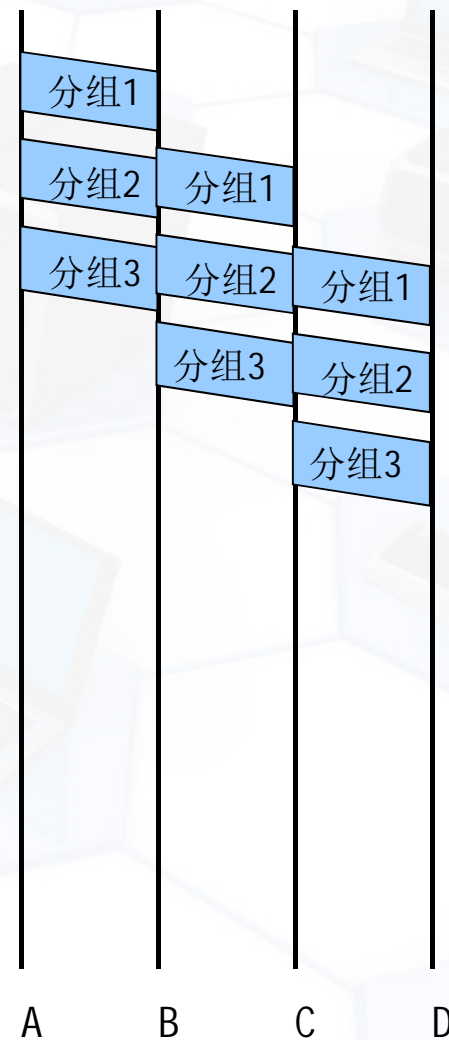
分组交换网中的一个节点



电路交换

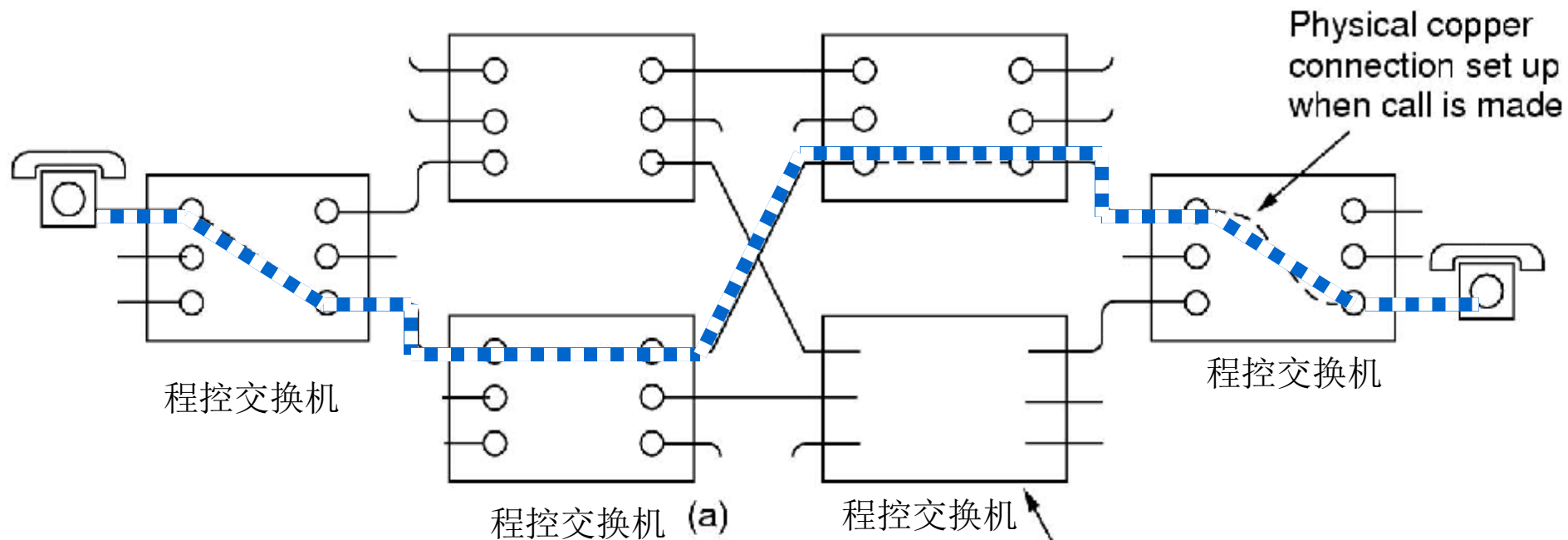


报文交换

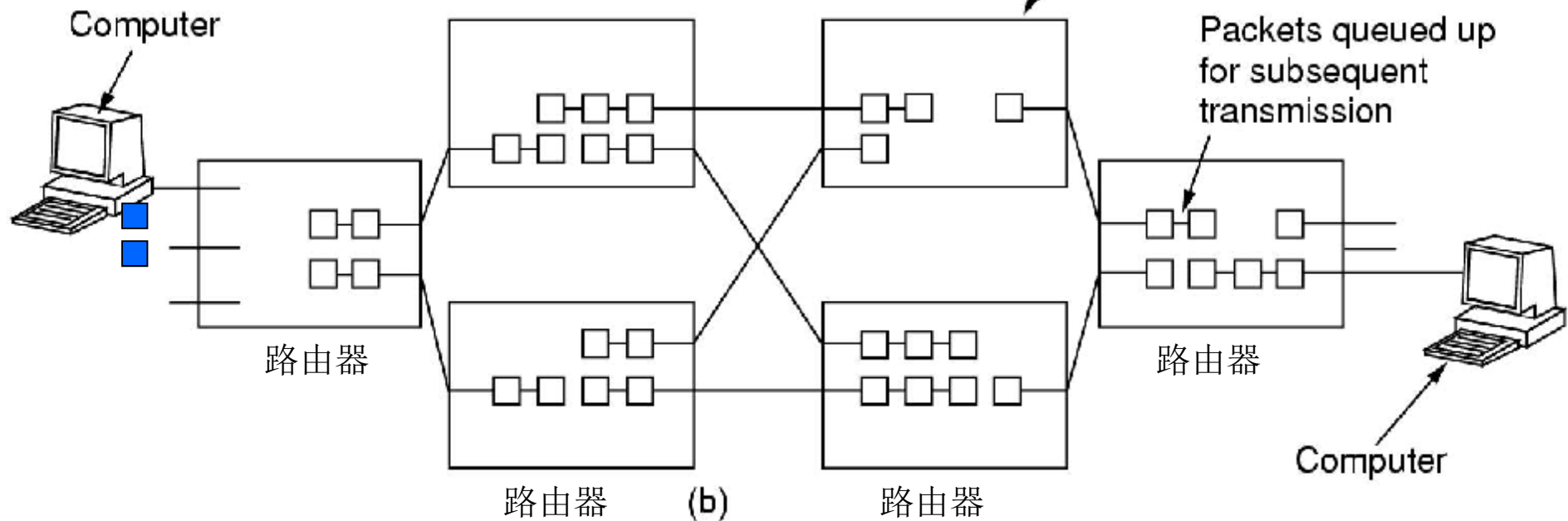


分组交换

## 交换方式对比



## 交换方式对比



## 电路交换与分组交换的比较

- § 电路交换预先静态地保留所要带宽；而分组交换却是根据需要动态地获得和释放带宽
- § 在电路交换中，已分配给线路上未用的带宽只能浪费掉；而分组交换中，未用的带宽可以被别的传输所利用
- § 电路交换对数据传输是完全透明的，而分组交换则要利用分组所携带的参数进行路由转发
- § 分组交换是存储转发的，会增加传输延时；电路交换则是连续的通过物理线路传输
- § 分组交换中，分组到达目的地可能不按原顺序；在电路交换中，不会发生乱序现象
- § 分组交换可以按传输的字节或连接时间计费；电路交换按时间、距离计费

	电路交换	分组交换
建立连接	需要	不需要
专用物理链路	需要	不需要
可用带宽	固定	动态
潜在的带宽浪费	有	没有
存储转发方式	不是	是
每个数据包经过相同路线	是	不是
数据包按序到达	是	不是
一台交换机崩溃的影响	严重	轻微
可能拥塞的时间点	建立连接时	每个分组传递时
透明性	好	差
收费方式	每分钟	每分组

电路交换与分组交换对比表



## § 结论:

- Ø 电路交换适用于实时信息和模拟信号传送，在线路带宽比较低的情况下使用比较经济
- Ø 报文交换适用于线路带宽比较高的情况，可靠灵活，但延迟大
- Ø 分组交换缩短了延迟，也能满足一般的实时信息传送。在高带宽的通信中更为经济、合理、可靠。是目前公认较（最）好的一种交换技术



## 五、物理层和物理介质

### § 物理层的定义

Ø ISO/OSI 关于物理层的定义：物理层提供机械的、电气的、功能的和规程的特性，目的是启动、维护和关闭数据链路实体之间进行比特传输的物理连接。这种连接可能通过中继系统，在中继系统内的传输也是在物理层的

### § 物理层的功能

Ø 在两个网络设备之间提供透明的比特流传输

## § 需要规定

- Ø 连接方式（点到点，点到多点）
- Ø 通信方式（单工，半双工，全双工）
- Ø 位传输方式（串行，并行）

## § 物理层的四个重要特性

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

# 1. 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

- ü ISO 2110, 25芯连接器, EIA RS-232-C, EIA RS-366-A

- ü ISO 2593, 34芯连接器, V.35宽带MODEM

- ü ISO 4902, 37芯和9芯连接器, EIA RS-449

- ü ISO 4903, 15芯连接器, X.20、X.21、X.22

## 2. 电气特性

Ø 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

Ø 早期的标准是在边界点定义电气特性，例如EIA RS-232-C；新的标准则说明了发送器和接受器的电气特性，而且给出了有关对连接电缆的控制

Ø CCITT 标准化的电气特性标准

ü CCITT V.10/X.26：新的非平衡型电气特性，EIA RS-423-A

ü CCITT V.11/X.27：新的平衡型电气特性，EIA RS-422-A

ü CCITT V.28：非平衡型电气特性，EIA RS-232-C

ü CCITT X.21/EIA RS-449

### 3. 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
- 接地

### 4. 规程特性

主要定义各条物理线路的工作规程和时序关系

## 5. 传输介质

### 1) 磁介质

Ø 磁带，软盘，硬盘

### 2) 双绞线

Ø 既可用于模拟传输，也可用于数据传输；

Ø 带宽依赖于线的粗细和传输距离；

Ø 3类线，5类线

Ø 非屏蔽双绞线UTP（Unshielded Twisted Pair），屏蔽双绞线STP



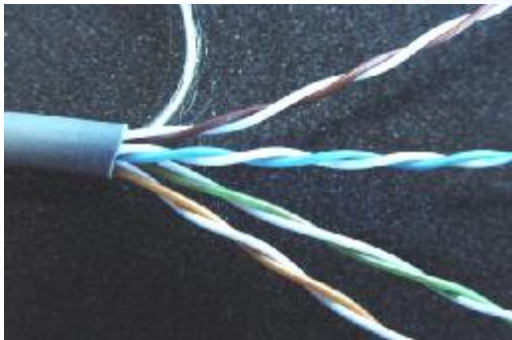


§ 由两条相互绝缘的铜线组成，其典型粗细约1mm，  
两条象螺纹一样绞在一起

Ø Shielded Twisted Pair(STP) 屏蔽双绞线

Ø Unshielded Twisted Pair(UTP)无屏蔽双绞线

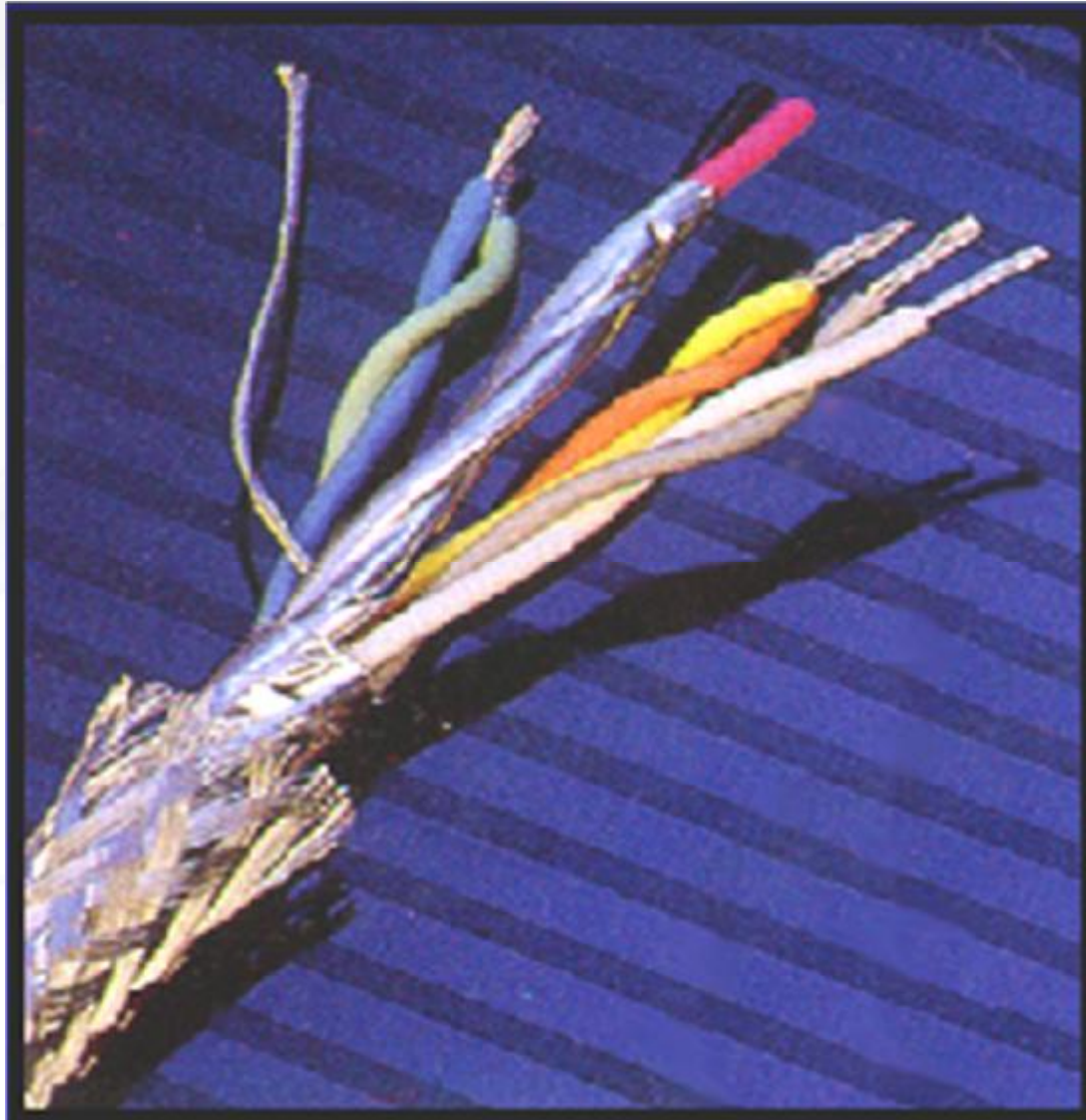
§ 双绞线的传输距离一般为100M，既可传输模拟信号，也可传输数字信号







带有RJ45接头的双绞线及与计算机的连接



STP  
屏蔽双绞线

### 3) 同轴电缆

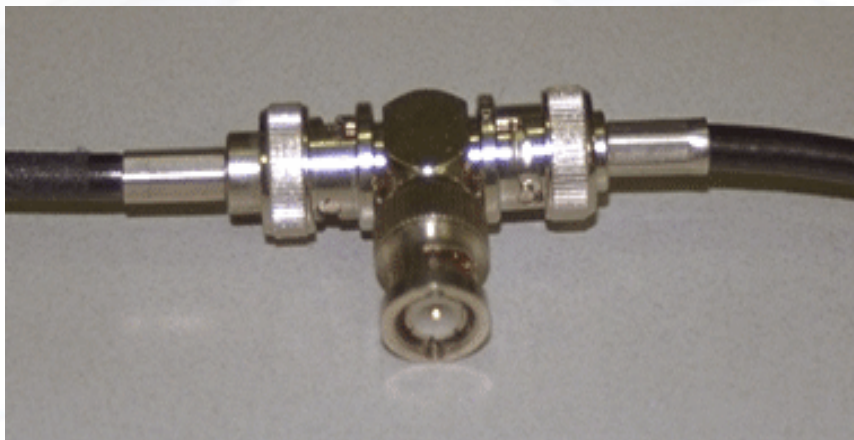
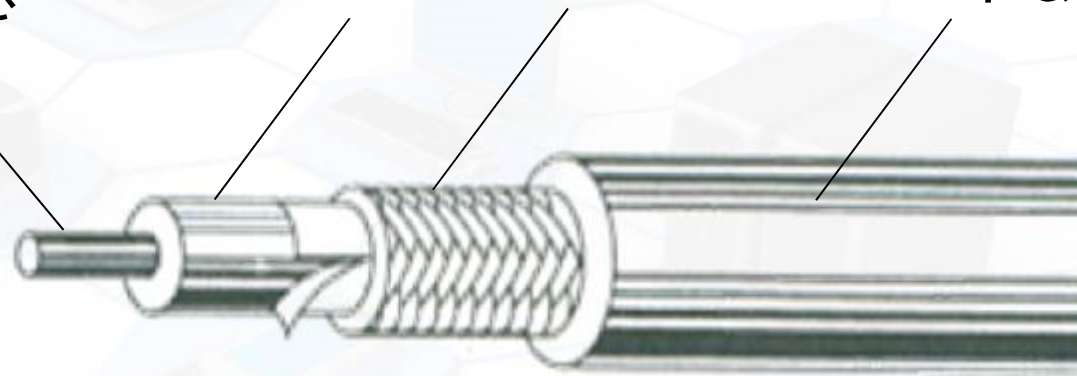
§ 基带同轴电缆 ( Baseband Coax ) : 阻抗匹配为  $50\Omega$ , 用于数字传输, 1公里电缆可达1~2Gbps的传输速率。又分为:

Ø 粗缆 ( Thick ) : 10Base-5, 单段长度 $\leq 500$ 米, 最长5段达2.5公里

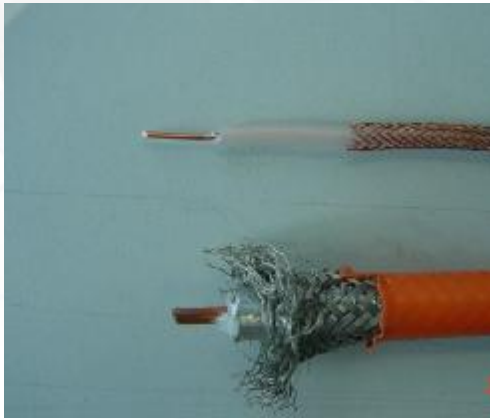
Ø 细缆 ( Thin ) : 10Base-2, 单段长度 $\leq 185$ 米, 最长5段达925米

§ 宽带同轴电缆 ( Broadband Coax ) : 阻抗匹配为  $75\Omega$ , 用于电视信号的模拟传输 ( CATV ), 带宽可达800MHz以上, 采用FDM技术。传输数字信号时, 要使用Cable MODEM这样的特殊设备, 现在综合有线电视网络已成为MAN的一种形式

内芯      绝缘层      编织外导体      外层护套



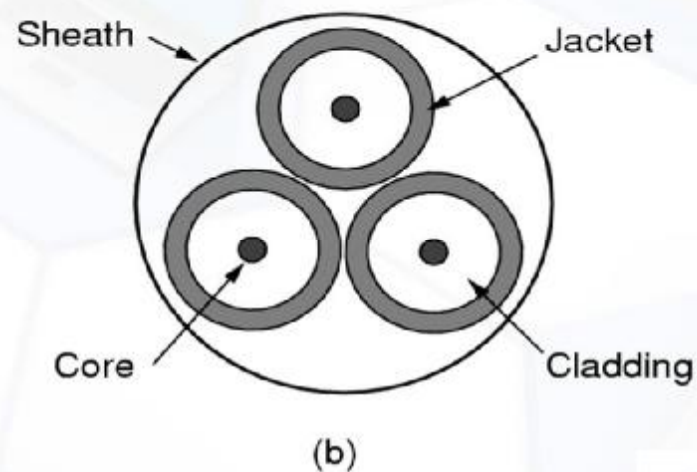
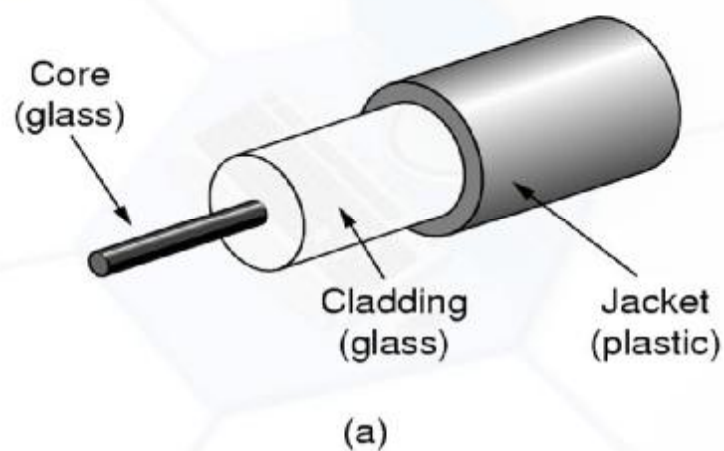




## 粗、细同轴电缆的比较

## 5) 光纤

- § 光纤由传导光波的高纯石英玻璃纤维和保护层（jacket）构成，其中纤芯（core）的折射率大于包裹着它的包层（cladding）折射率，这样光信号就被保持在纤芯中不会散播出去
- § 经常将多根光纤封装在坚固的外壳（sheath）中，形成所谓的多芯光缆



## 光纤分类：单模光纤和多模光纤

Ø 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。

Ø 常用的三个波长窗口（光纤波段）

ü 0.85 $\mu$ m:衰减大，传输速率和距离受限制，价格便宜；

ü 1.30 $\mu$ m:衰减小，无色散补偿、功率放大情况下，最大传40km（最坏情况）；

ü 1.55 $\mu$ m:衰减小，无色散补偿、功率放大情况下，最大传80km（最坏情况）



Ø 多模光缆：通过光的反射在光纤中无损传输。距离2 km

Ø 单模光缆：直线传输。距离10 km

Ø 光传输系统包括：光源、传输介质、检测器

Ø 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，光因特网论坛 OIF

§ 光发射系统：光源、传输介质、检测器

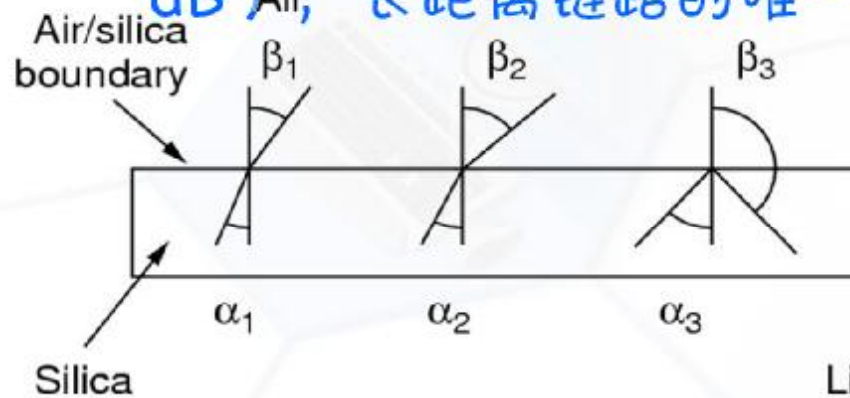
§ 有两种光源可用于信号源：LED（发光二极管）和ILD（注入型激光二极管）。以光信号的有和无来表示二进制的“1”和“0”

§ 接收端由光电二极管构成的光检测器将光信号转换成电信号

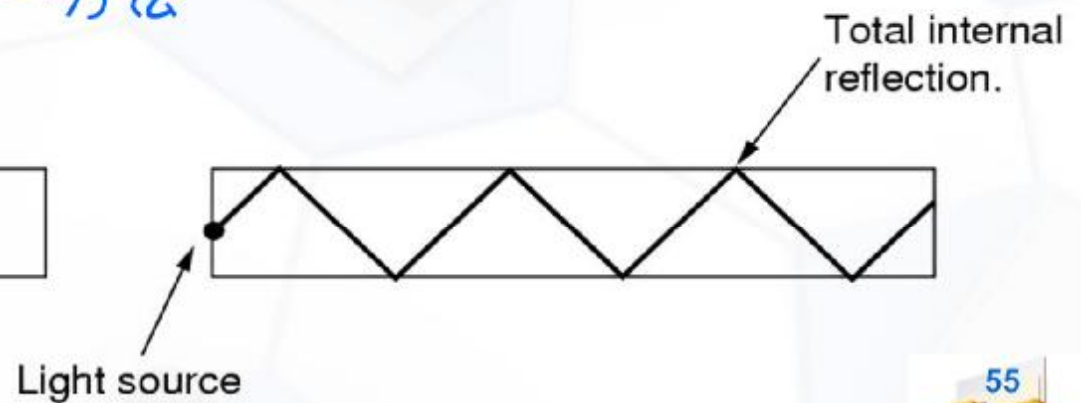
§ 光纤的连接：

Ø 机械式：快速，一般不需特殊设备，新技术和连接器改善了接合的损耗（有些  $< 0.1 \text{ dB}$ ），适合于小数量和应急的应用

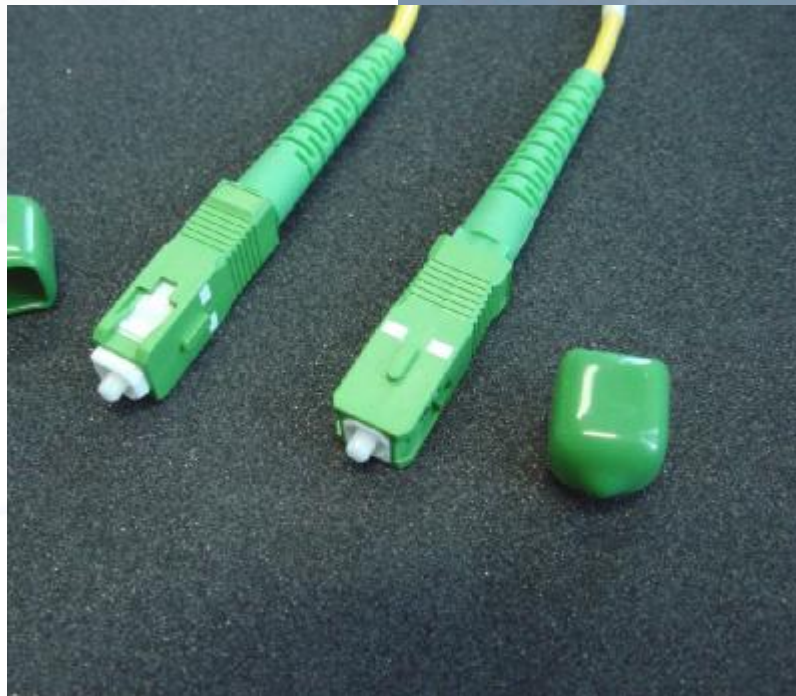
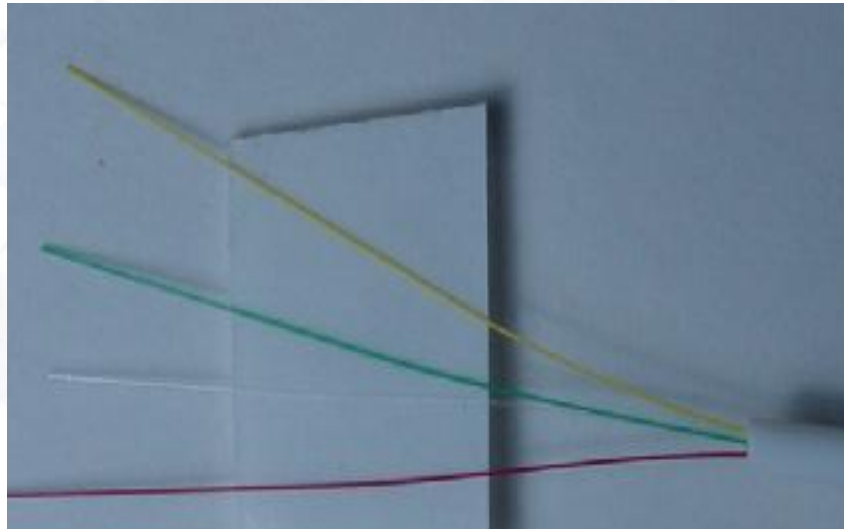
Ø 熔结：需要昂贵的特殊设备，极低的损耗（有的可达  $< 0.05 \text{ dB}$ ），长距离链路的唯一方法



(a)



(b)



实际的光纤





## 光缆的布线和连接



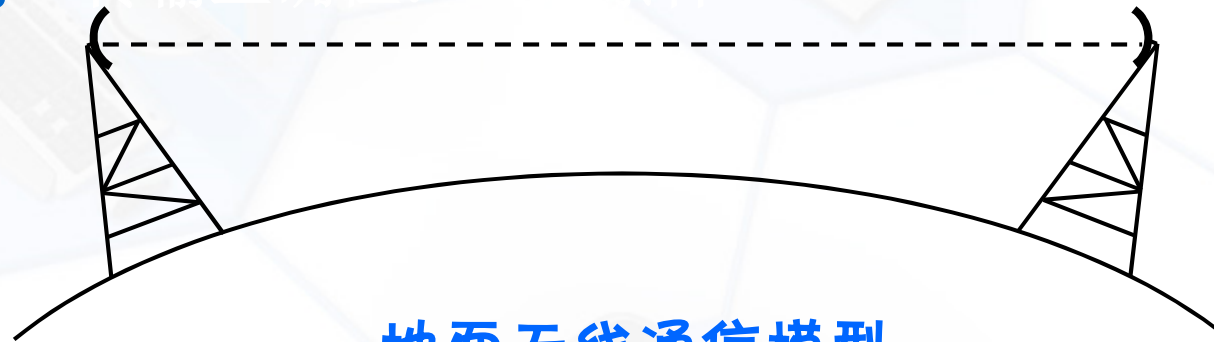


## 光纤及 光纤与计算机的连接

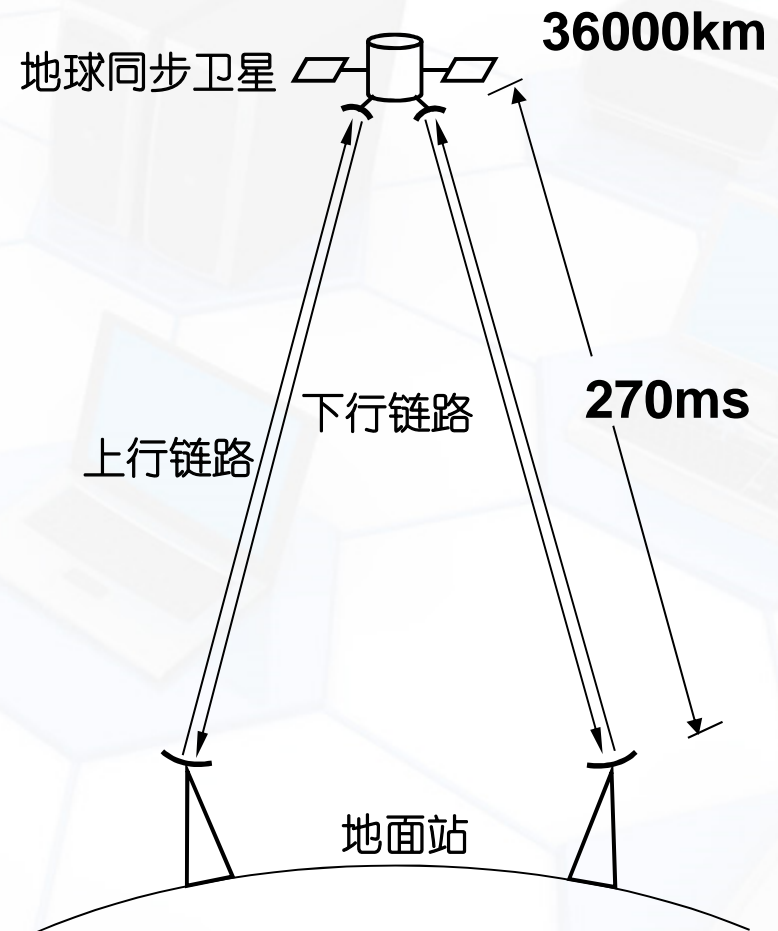
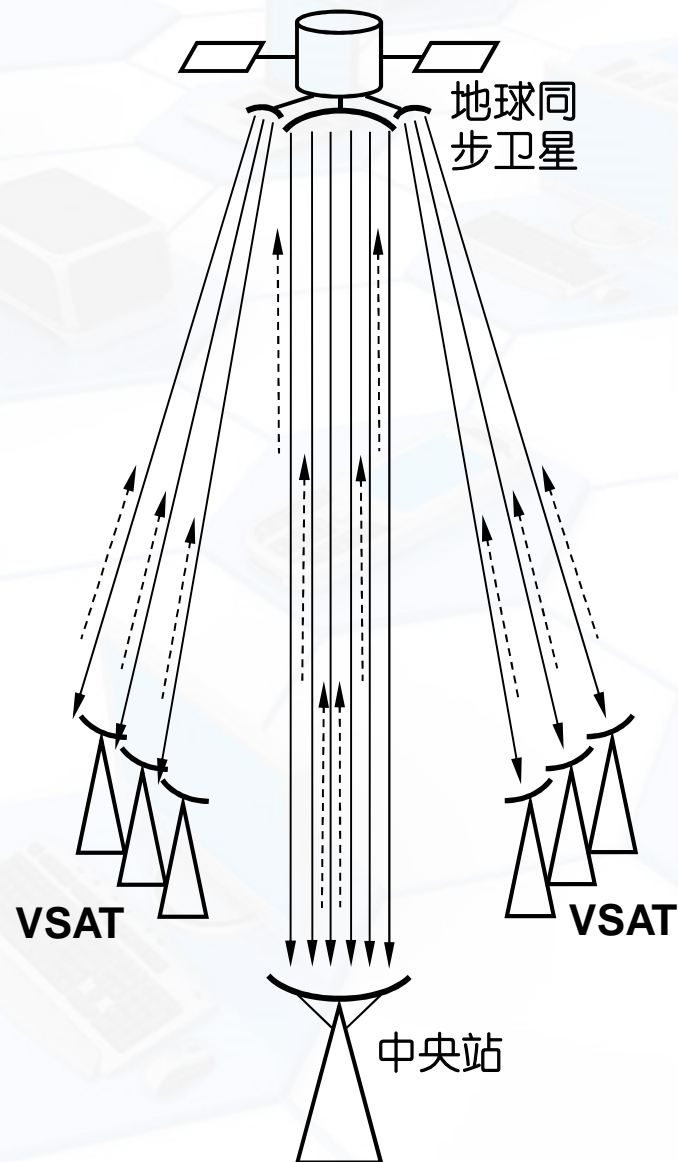
## 6) 无线传输 (Wireless Transmission)

- Ø 电磁频谱
- Ø 无线电传输
- Ø 微波传输
- Ø 红外线和毫米波
- Ø 光波传输

- § 传输距离、传输高度、类型和信号
- § 传输可靠性、障碍物
- § 传输正确性、干扰条件



地面无线通信模型

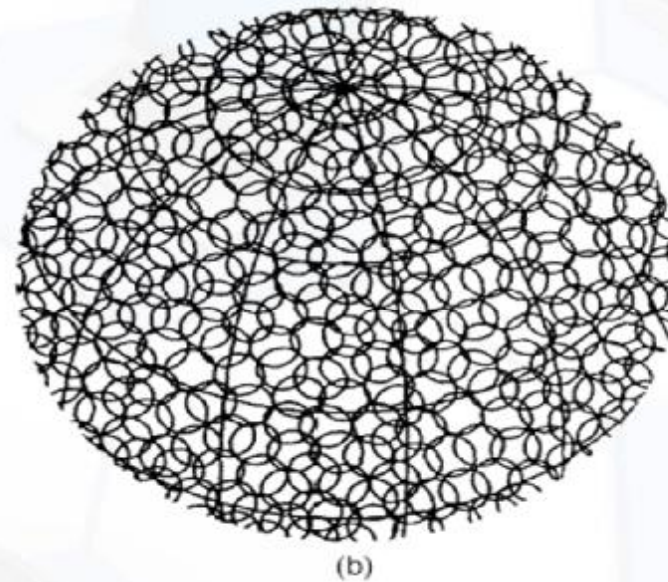
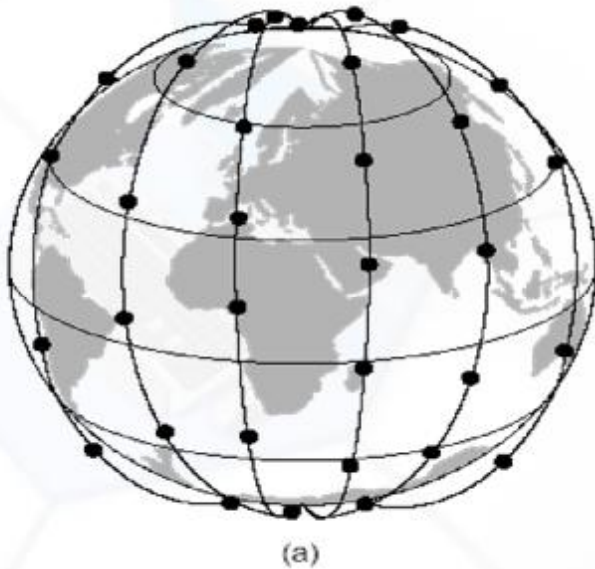


**VSAT: 甚小孔径卫星终端**  
**Very Small Aperture Satellite Terminals**

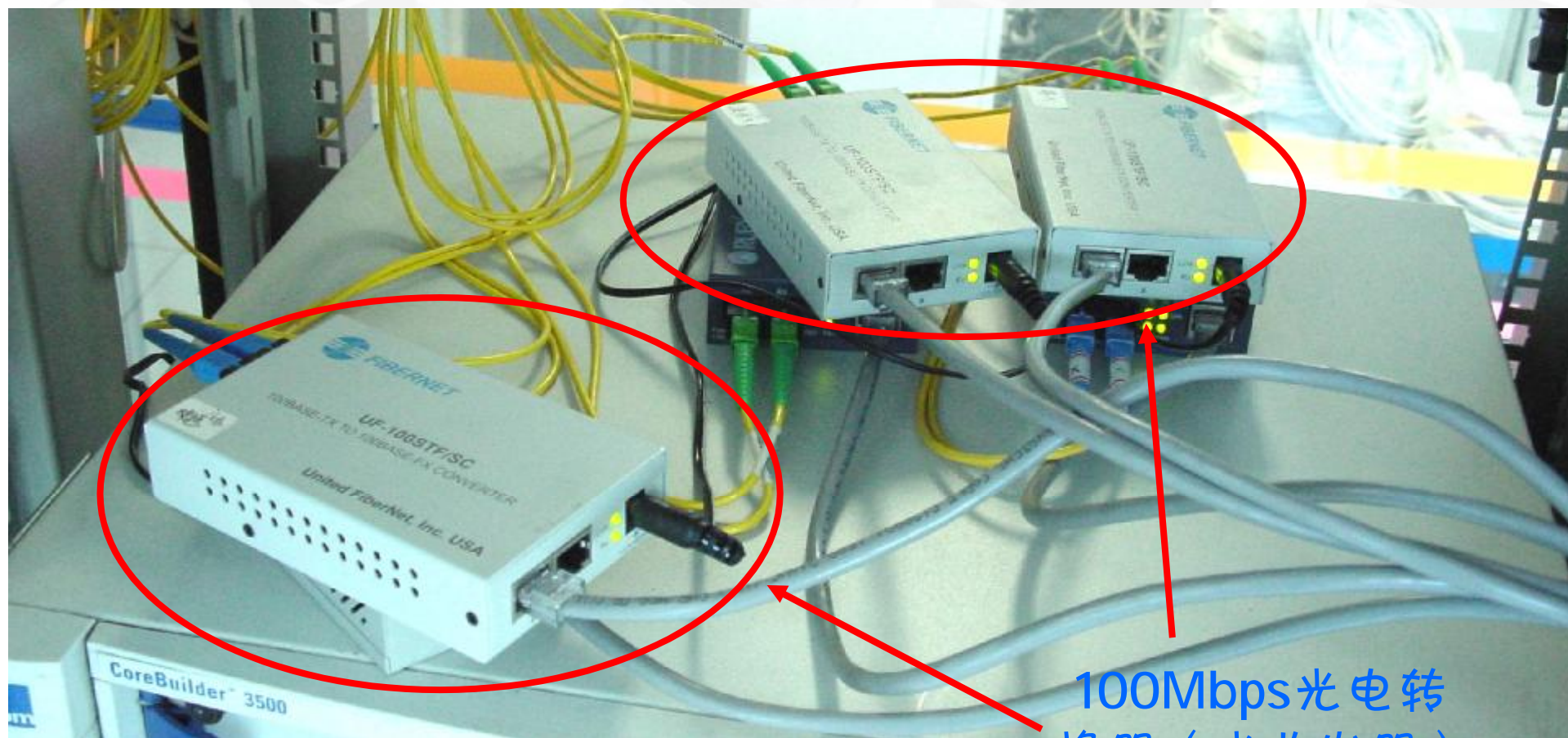


## 低轨卫星

铱星：66颗，卫星高度750km，采用圆形极地轨道，上下行链路运行在L波段（1.6GHz）



- § 无线电传输：在LF、MF沿着地面传播；在HF、VHF由电离层反射
- § 红外线与毫米波传输：不能穿透障碍物，适用于室内
- § 微波传输：能量集中，天线必须对准
- § 激光传输：不能穿透雨或浓雾

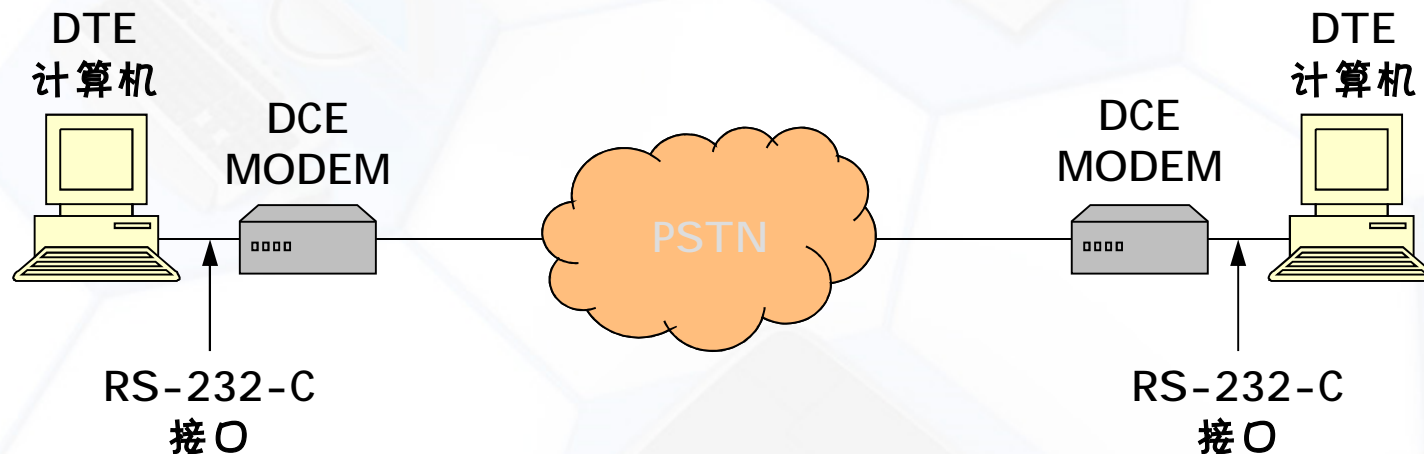


100Mbps光电转换  
器（光收发器）



## 六、RS-232标准

- § RS-232-C是物理层协议的一个实例，它规范了计算机与调制解调器间的一个串行物理接口标准
- § 是电子工业协会EIA (Electronic Industries Association)1969年制定的标准
- § 在该标准中，计算机被称为数据终端设备DTE (Data Terminal Equipment)，调制解调器被称为数据电路端接设备DCE(Data Circuit-Terminating Equipment)



使用25针D型连接器(DB25)，现在主要使用9针型(DB9)。DTE侧为插针，DCE侧为插孔，目前主要用于对设备实施控制一类的通信场合

25芯的RS-232-C



9芯的RS-232-C



RS-232-C的机械特性

RS-232常用于对设备进行控制

- u DTE与DCE的连接(常规连接, 常见于计算机与外置“猫”的连接)

- u DTE与DTE的连接(Null-Modem, 常见于两个计算机的直接连接)

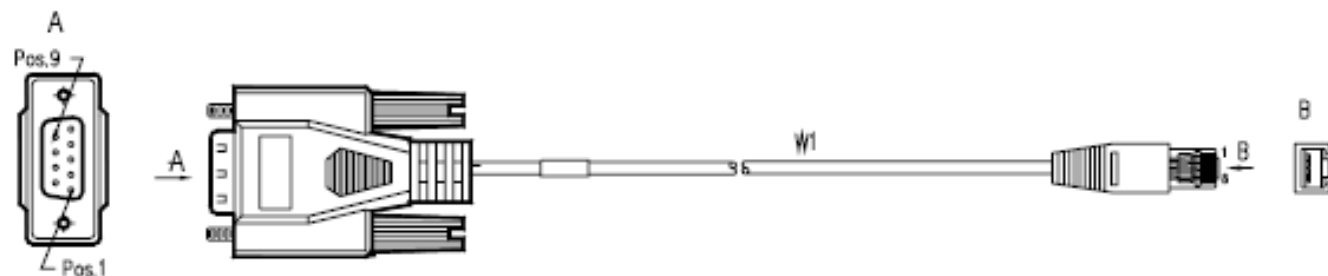


RS-232连接

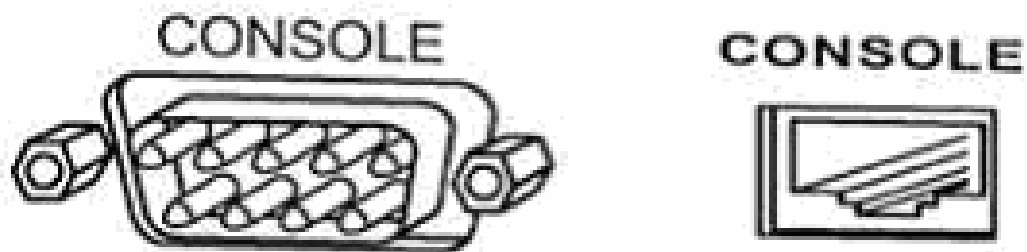


具备232接口的设备

常见设备--交换机、路由器等

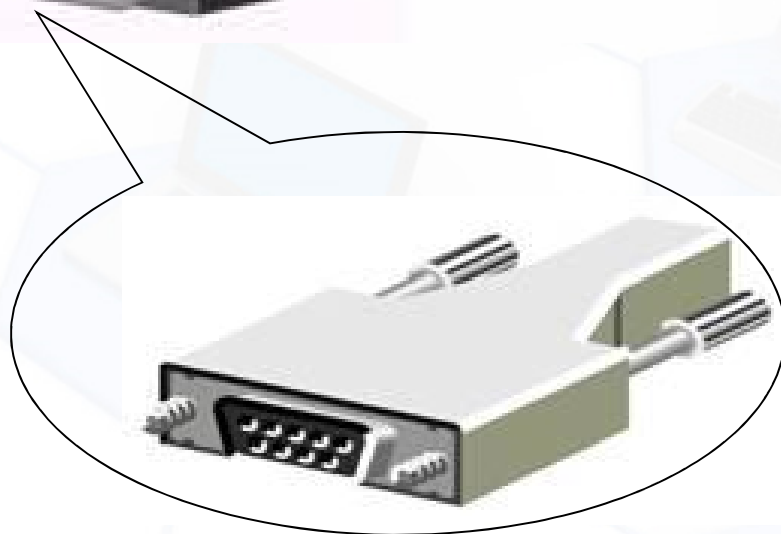


交换机、路由器等设备用的控制电缆  
(一端DB9, 另一端为RJ45形式)

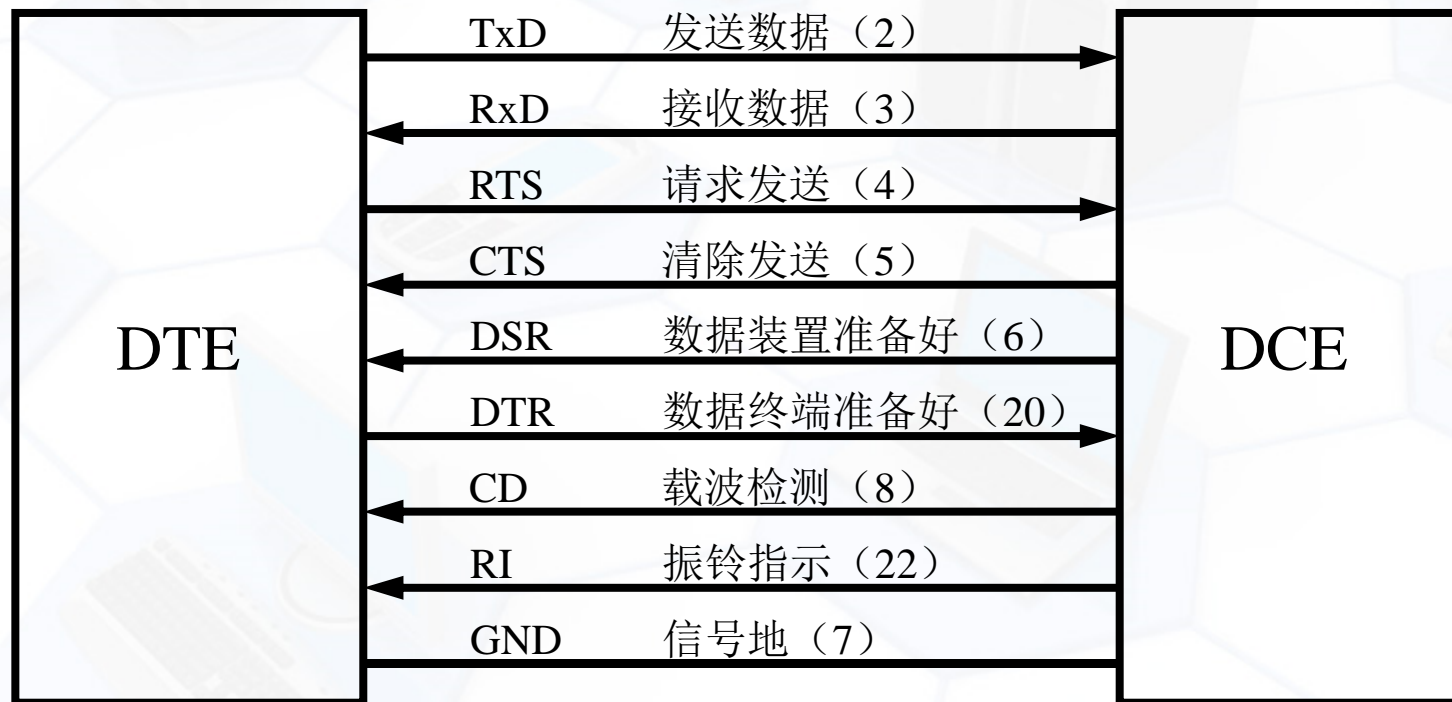


交换机、路由器等设备上的CONSOLE端口  
(DB9或RJ45形式的RS232接口)





设置交换机或路由器时的链路方法



## RS-232-C的功能特性



图 1



图 4

## DB25及DB9 接口图

## u RS-422/485规范

- ü 数据信号采用差分传输（或平衡传输）方式
- ü 弥补了RS-232的不足，更适合嘈杂的工业环境
- ü 允许单个驱动器与多个接收器通信
- ü 信号采用差分传输方式，速率最高可达10Mb/s
- ü 最大传输距离超过1000m
- ü 最大传输速率为10Mb/s