

○、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



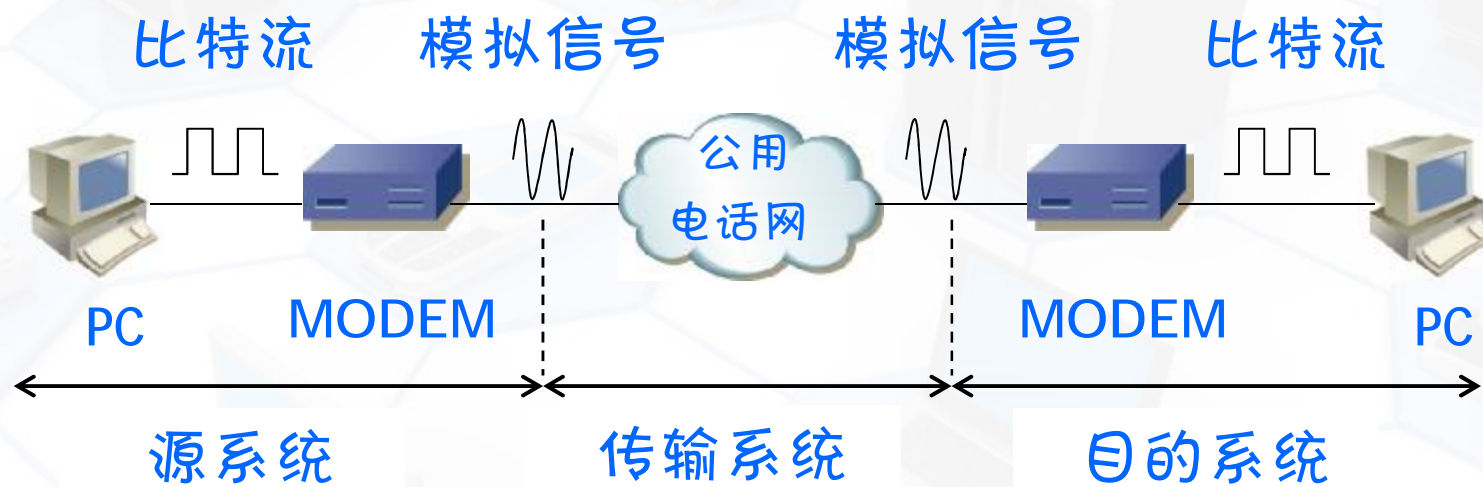
模拟信号的模拟信道直接传输



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

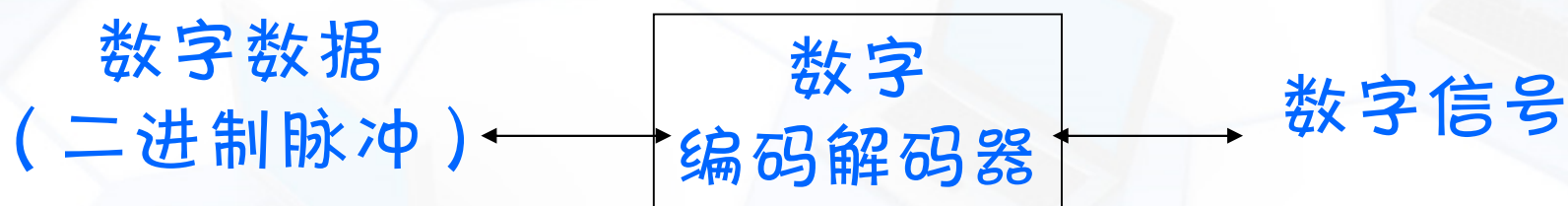


数字与模拟信号的关系

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

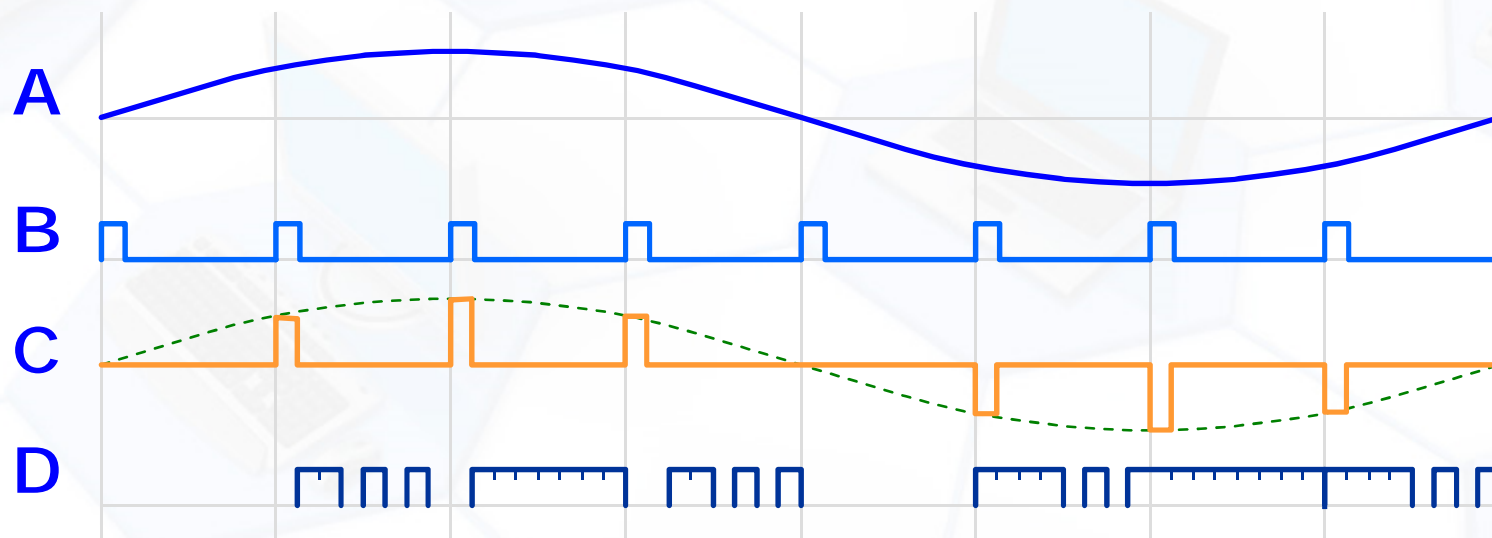
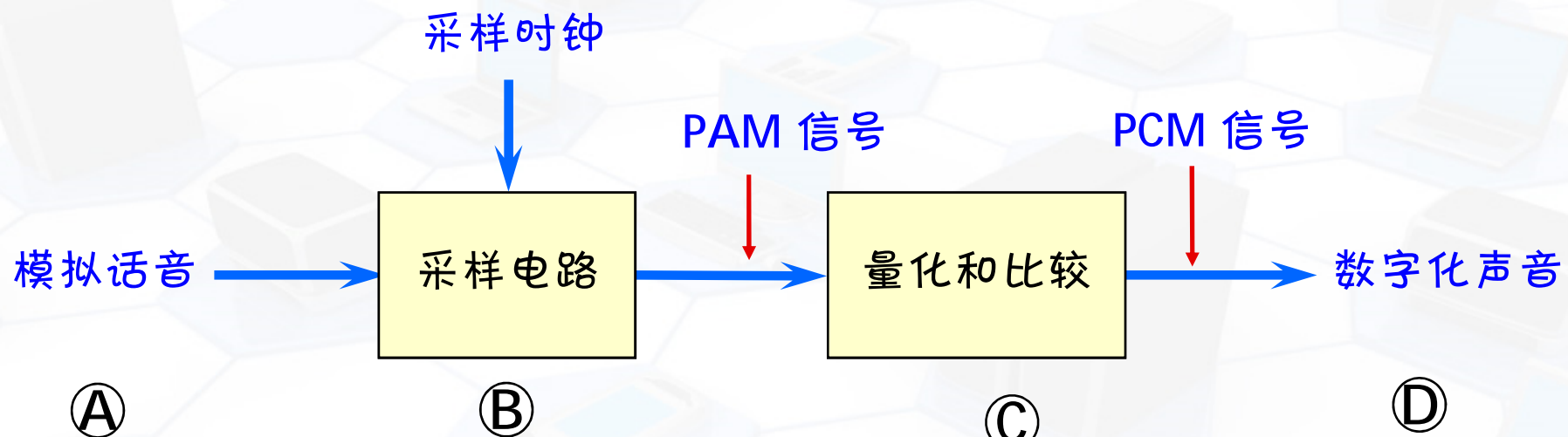
- p** 将模拟信号振幅分成多级（ 2^n ），每一级用 n 位表示。例如：电话系统的 T1 载波将模拟信号分成128级，每次采样用7位二进制数表示

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

δ 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

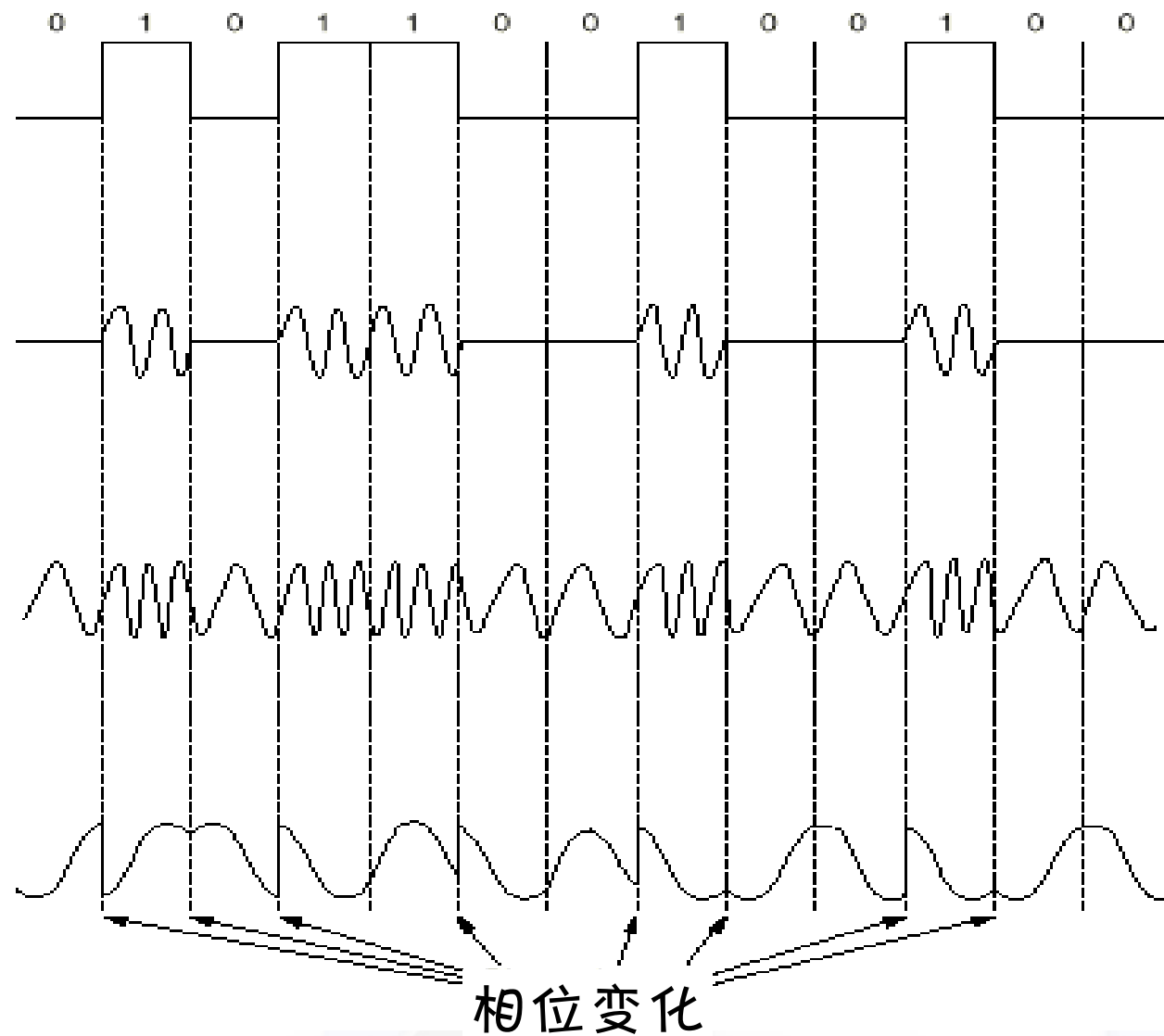
不同调制形式举例

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

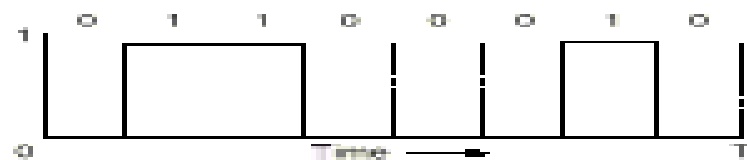
任何一个周期为T的有理周期性函数 $g(t)$ 可分解为若干项（可能无限多项）正弦和余弦函数之和：

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

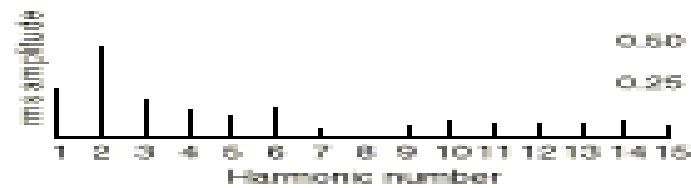
其中： $f = 1/T$ 基本频率；

a_n, b_n 为n次谐波项的正弦和余弦振幅值；

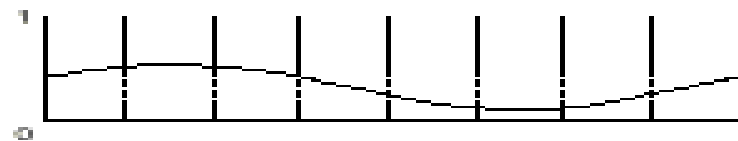
C 为常数；



(a)



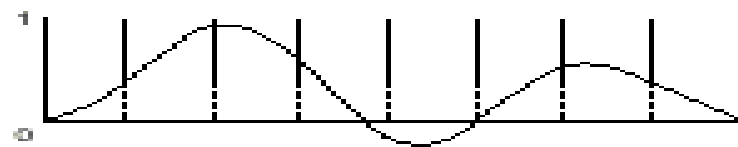
原始
数据



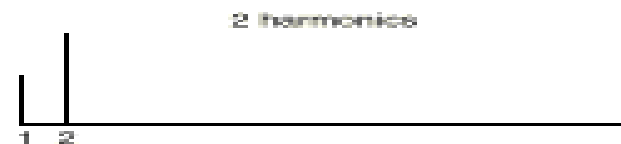
(b)



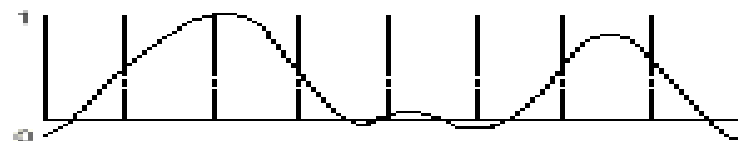
1次
谐波



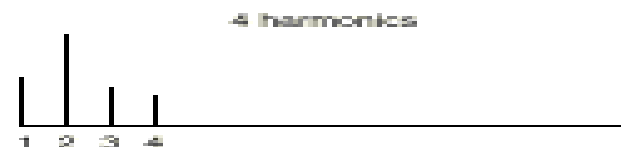
(c)



2次
谐波



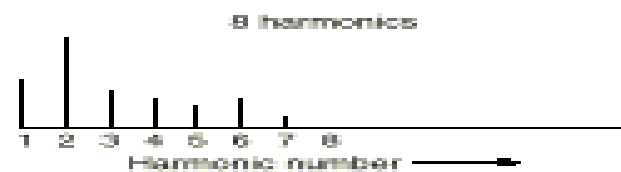
(d)



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。

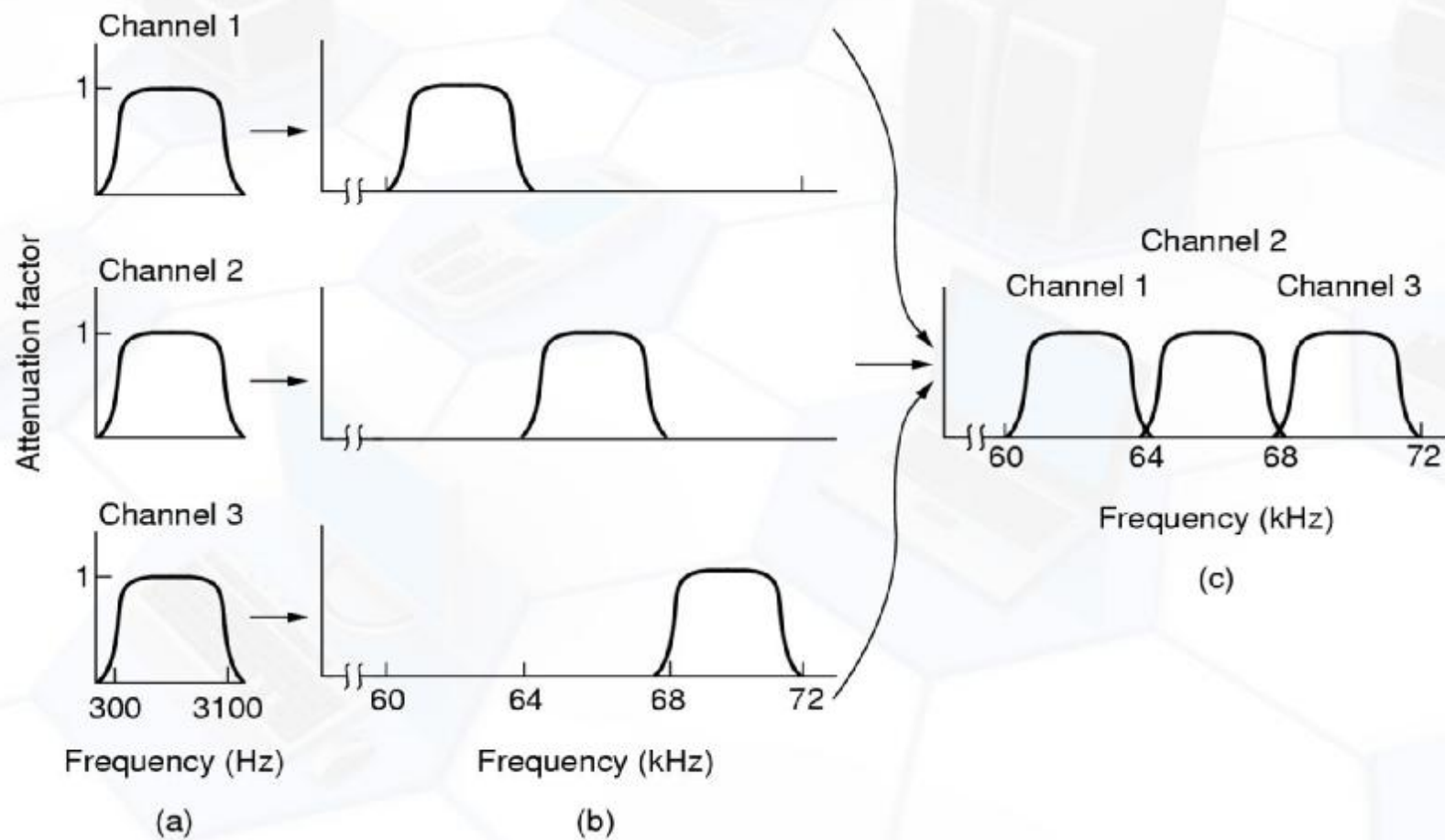
三、多路复用技术

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

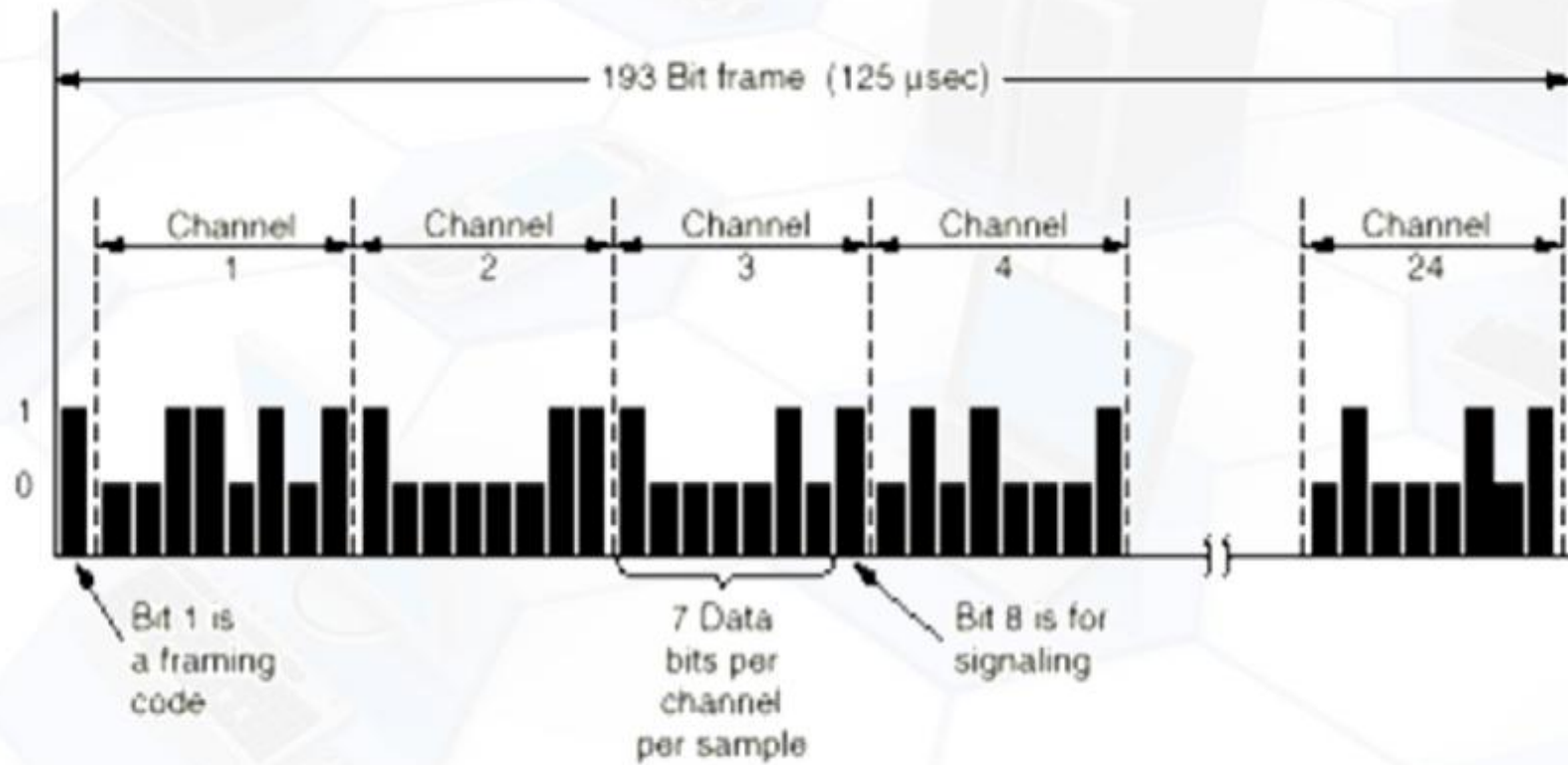
常用的有三种方法：

- 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

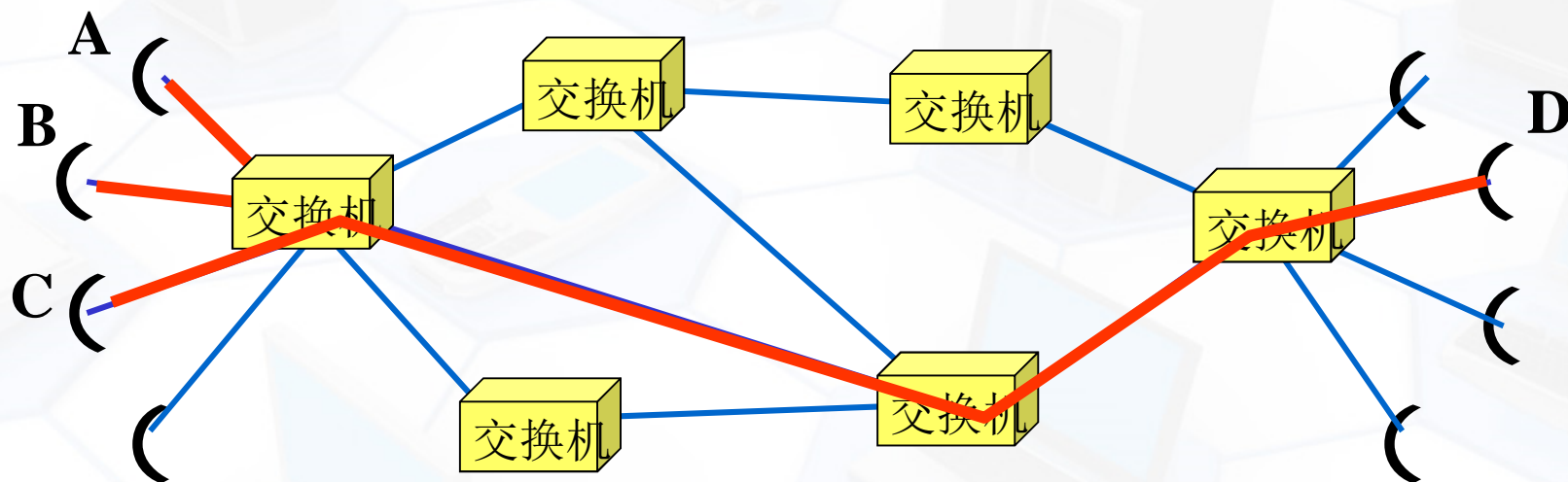
- Ø 建立电路
- Ø 传输数据
- Ø 拆除电路

§ 特点

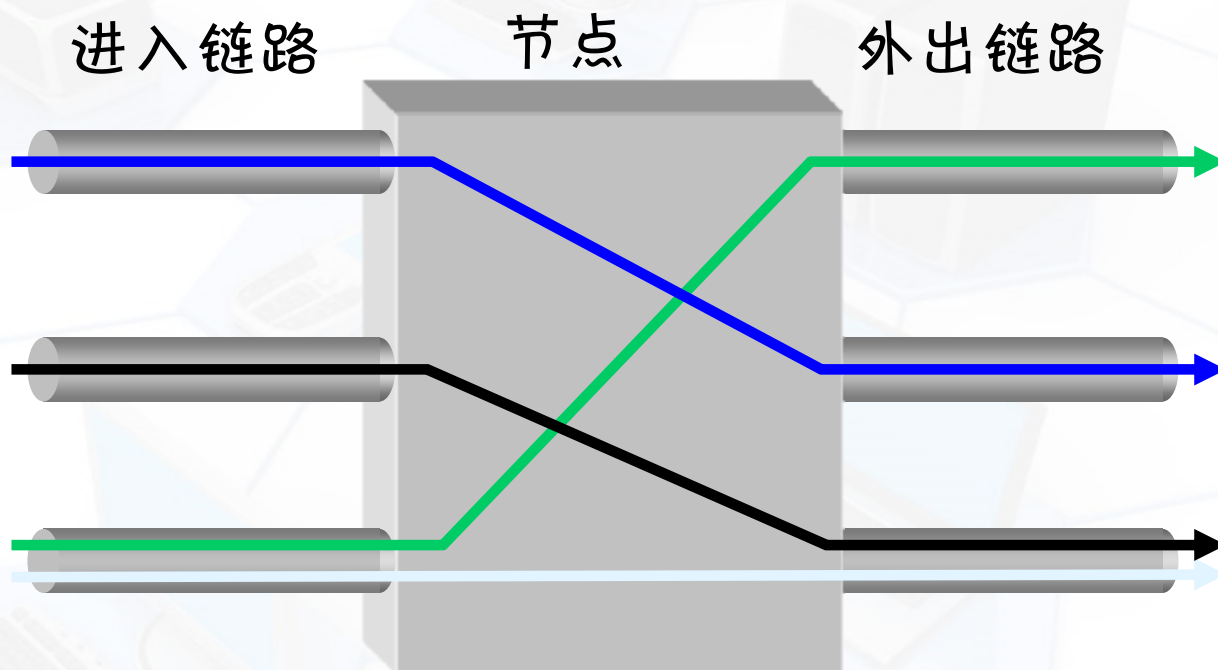
- Ø 在发送数据前，必须建立起点到点的物理通路
- Ø 建立物理通路时间较长，数据传送延迟较短

§ 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

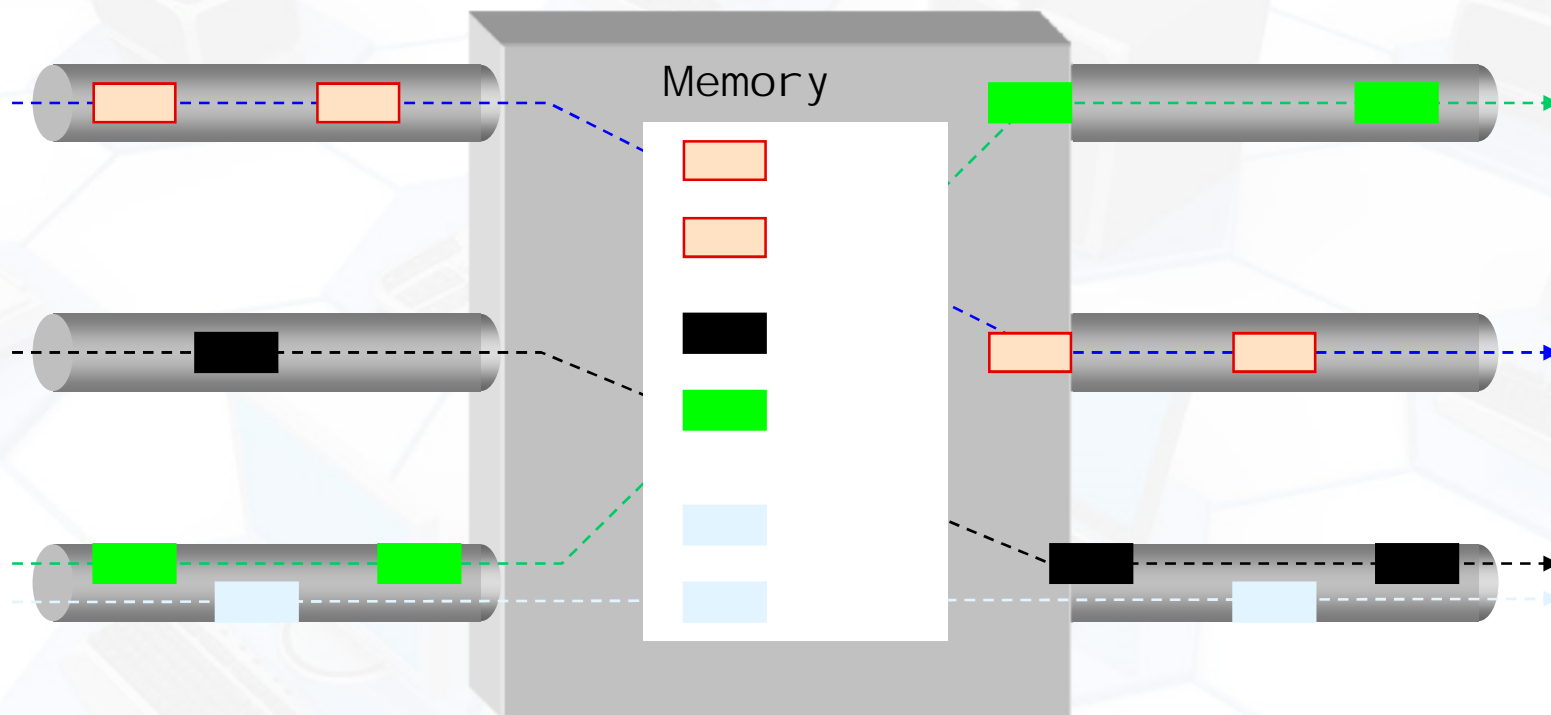
§ 分组交换特点

- 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。

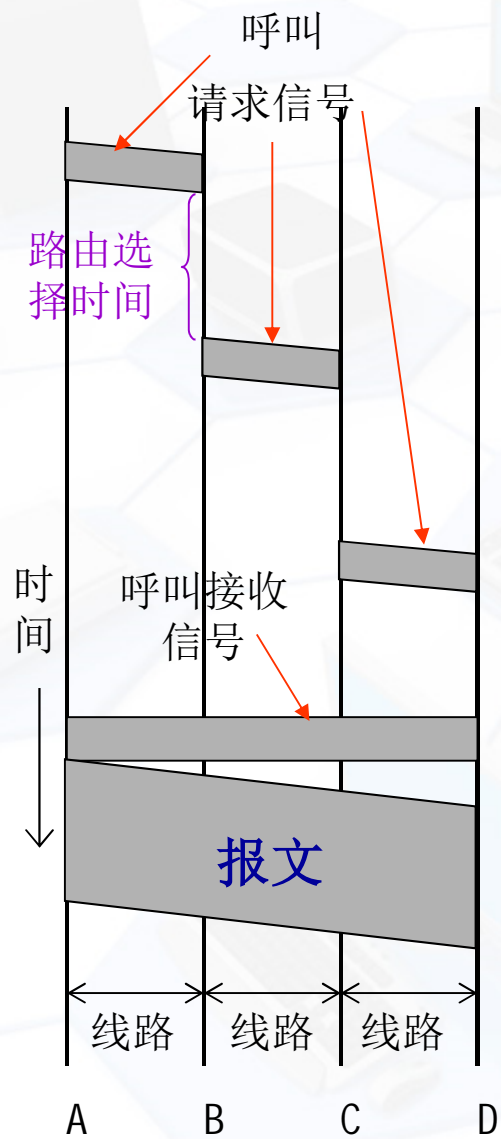
进入链路

节点

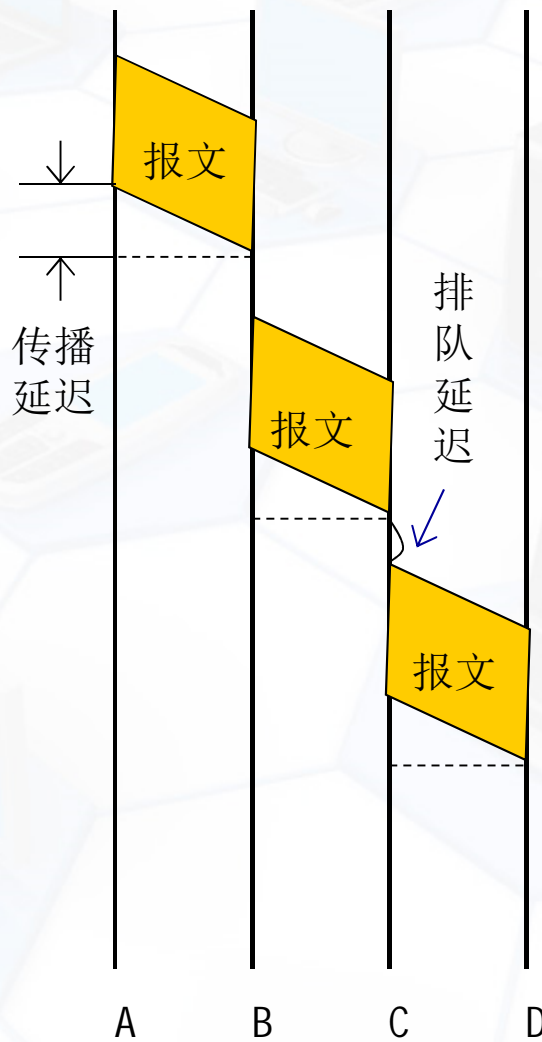
外出链路



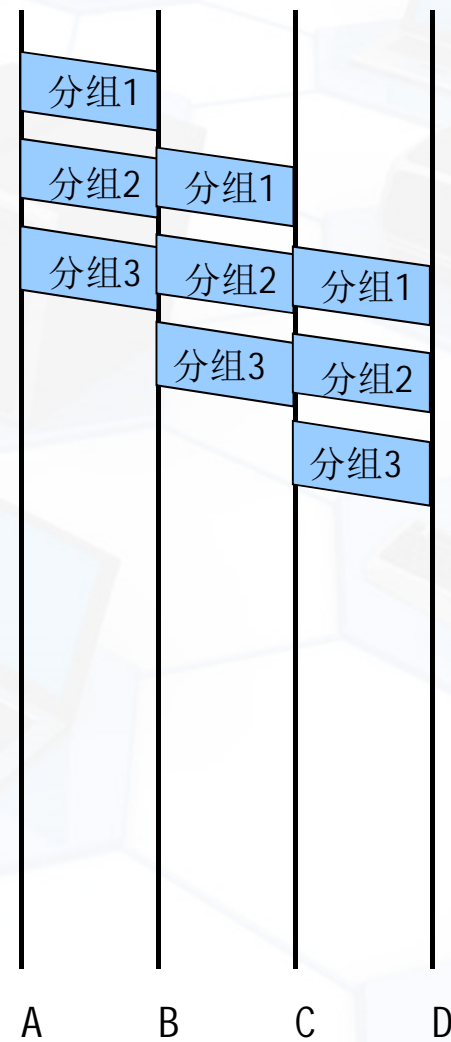
分组交换网中的一个节点



电路交换

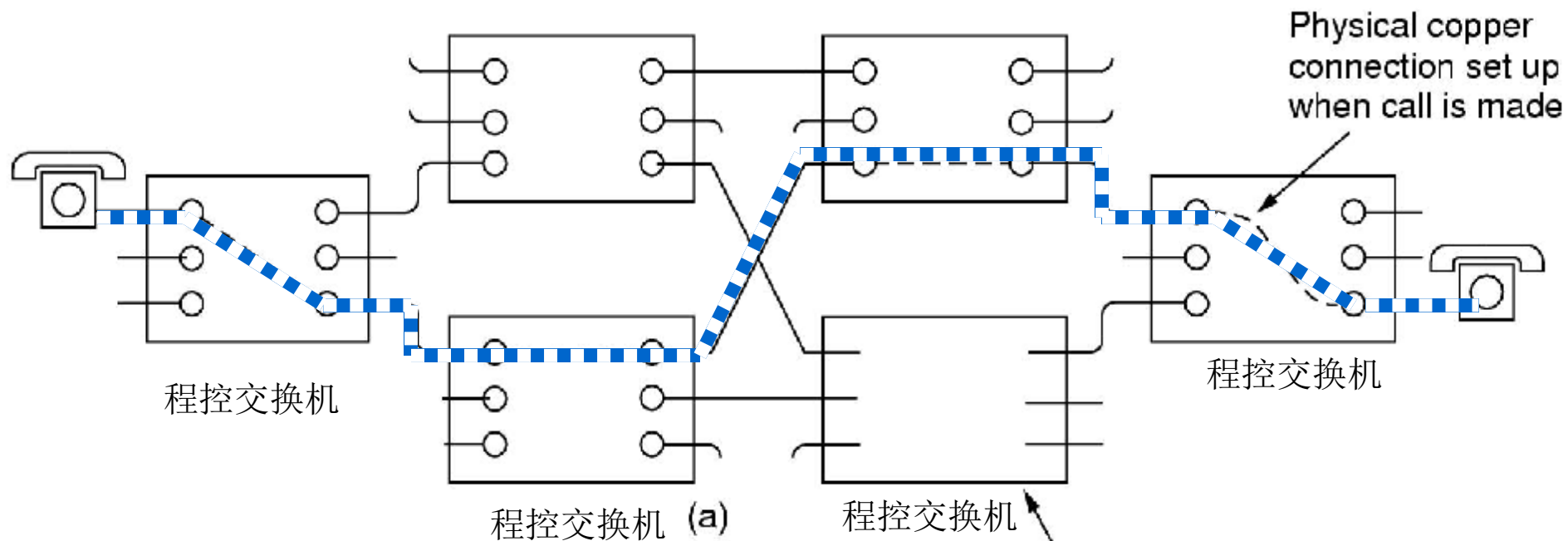


报文交换

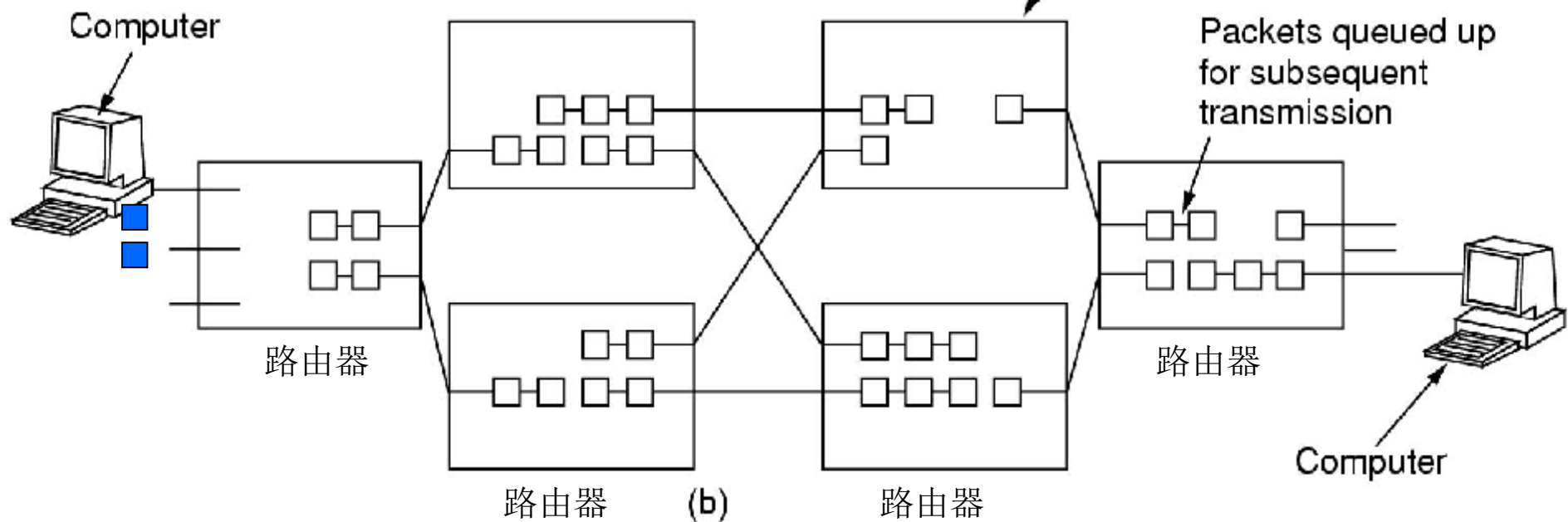


分组交换

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

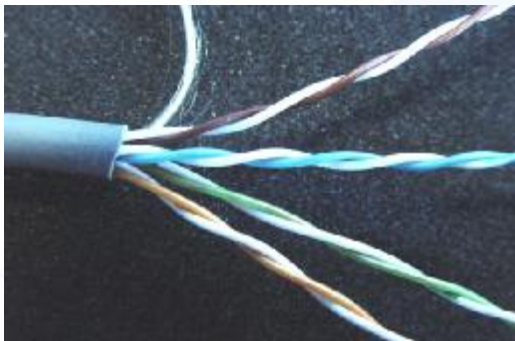


§ 由两条相互绝缘的铜线组成，其典型粗细约1mm，
两条象螺纹一样绞在一起

Ø Shielded Twisted Pair(STP) 屏蔽双绞线

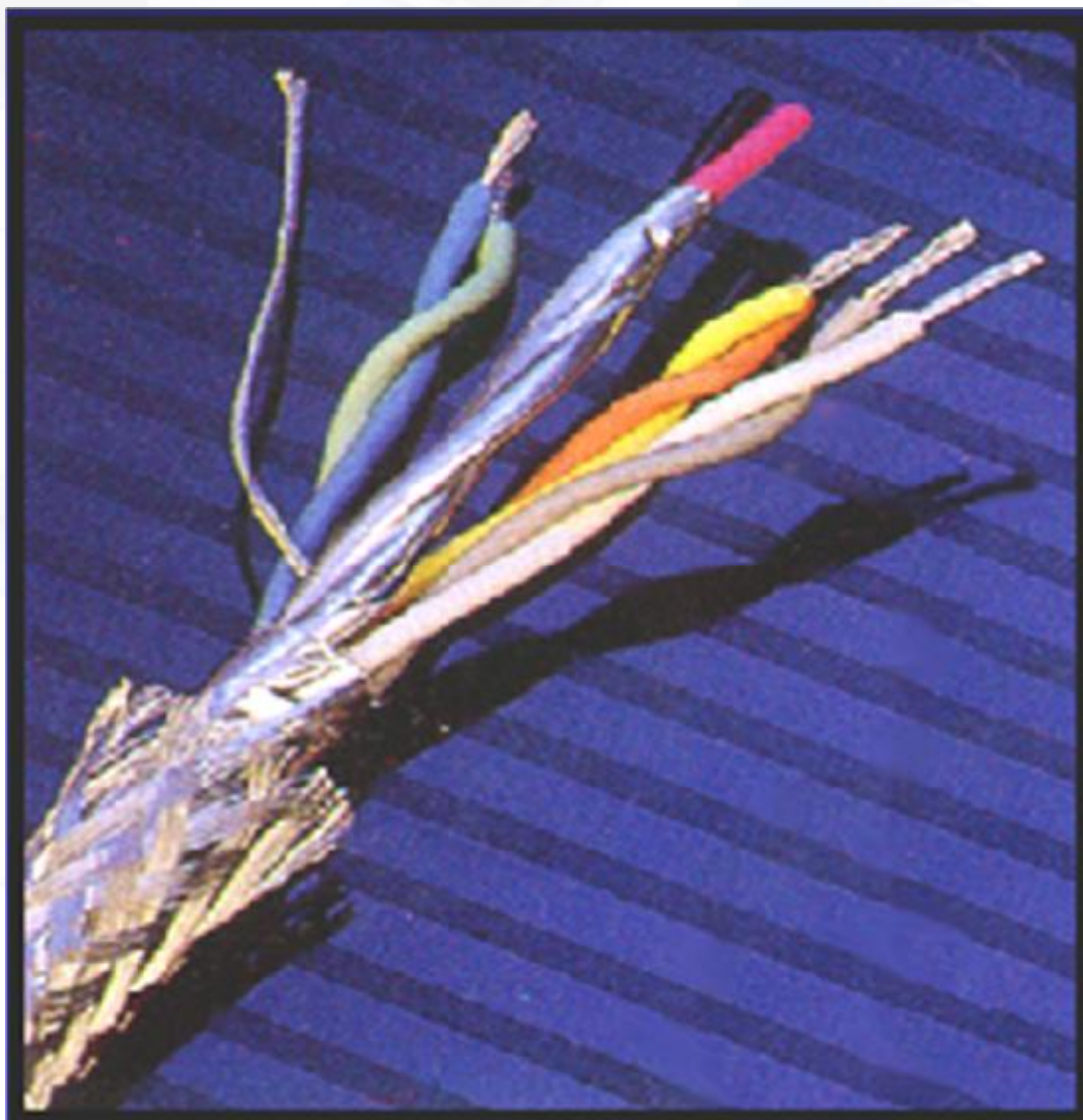
Ø Unshielded Twisted Pair(UTP)无屏蔽双绞线

§ 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

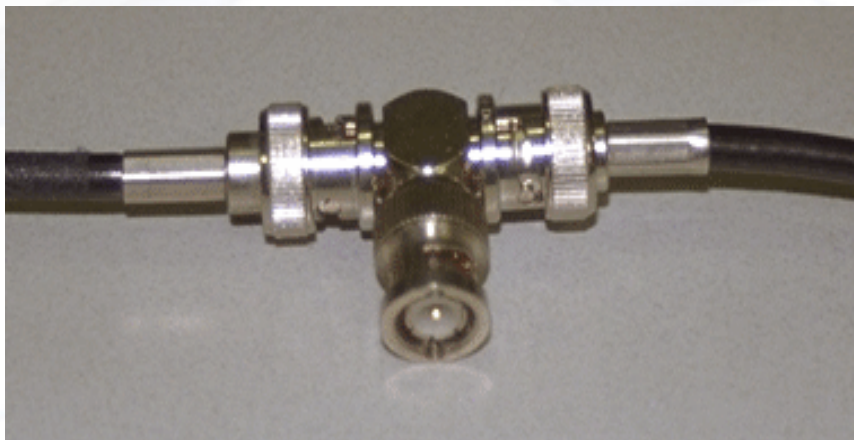
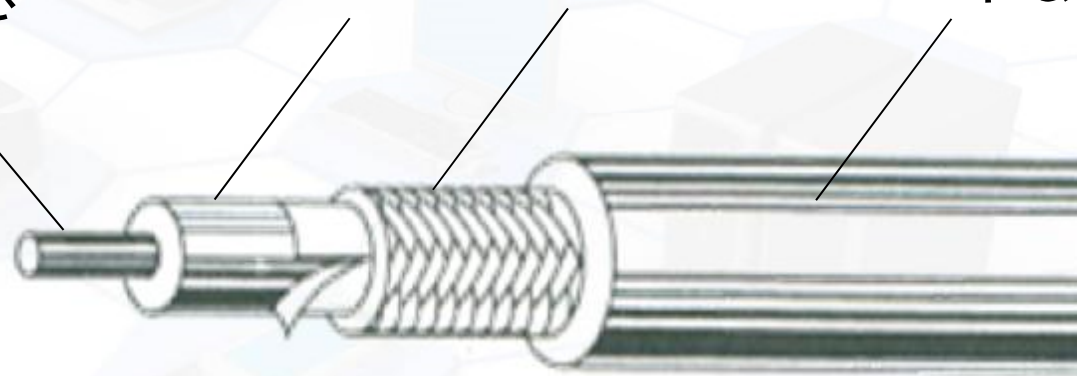
§ 基带同轴电缆 (Baseband Coax) : 阻抗匹配为 50Ω , 用于数字传输, 1公里电缆可达1~2Gbps的传输速率。又分为:

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

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

§ 宽带同轴电缆 (Broadband Coax) : 阻抗匹配为 75Ω , 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

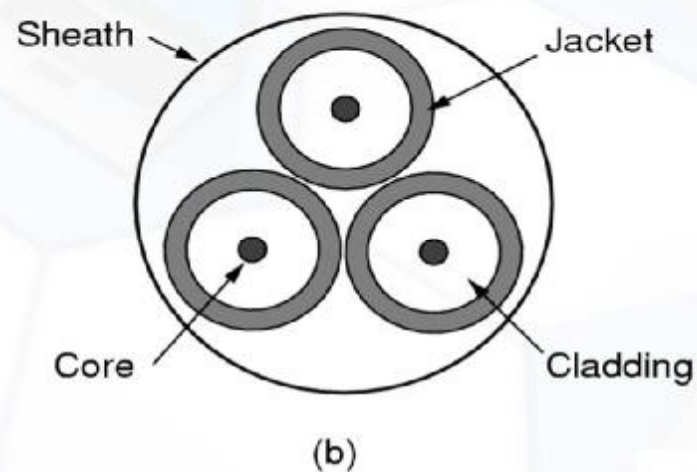
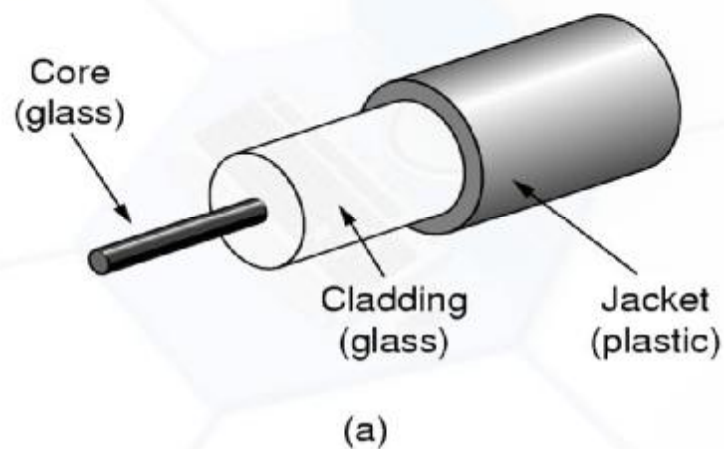




粗、细同轴电缆的比较

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 μm :衰减大，传输速率和距离受限制，价格便宜；

ü 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）；

ü 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）

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

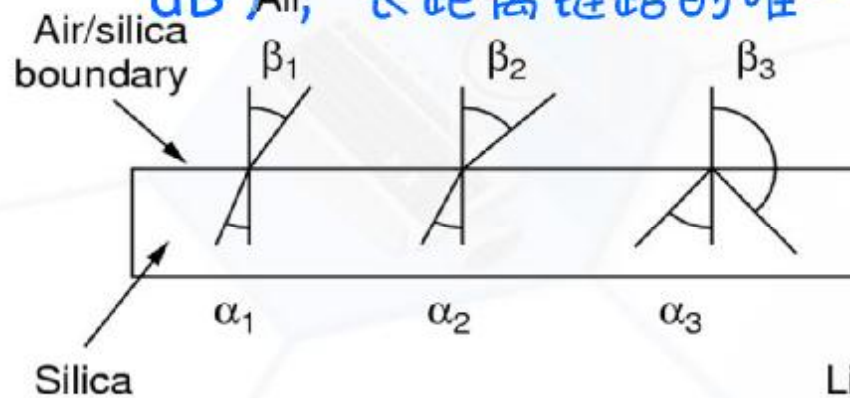
§ 有两种光源可用于信号源：LED（发光二极管）和ILD（注入型激光二极管）。以光信号的有和无来表示二进制的“1”和“0”

§ 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

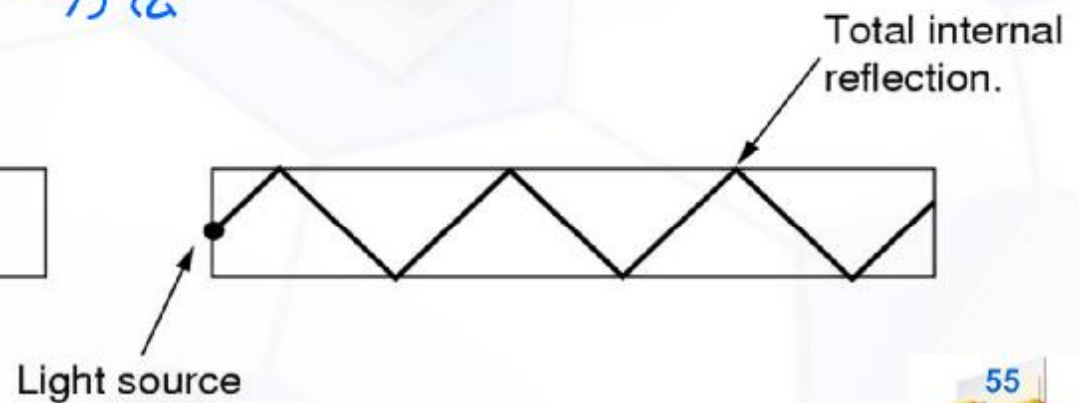
§ 光纤的连接：

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

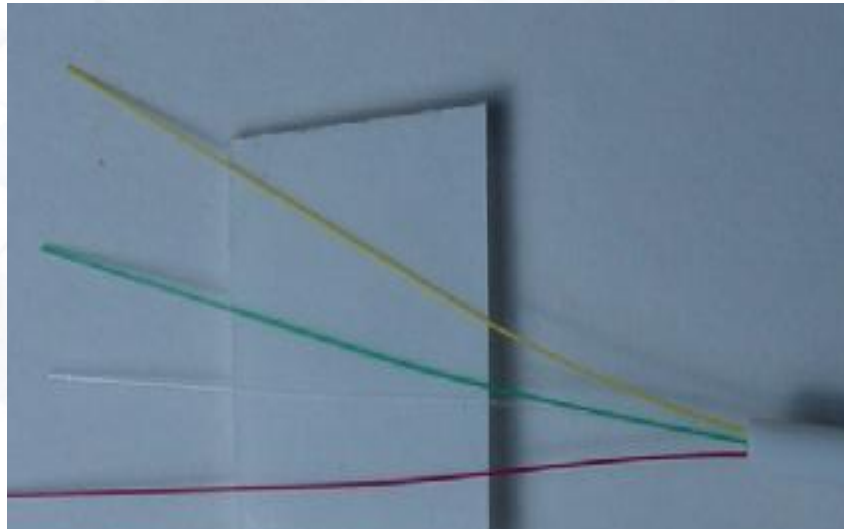
Ø 熔结：需要昂贵的特殊设备，极低的损耗（有的可达 $< 0.05 \text{ dB}$ ），长距离链路的唯一方法



(a)



(b)



实际的光纤



光缆的布线和连接



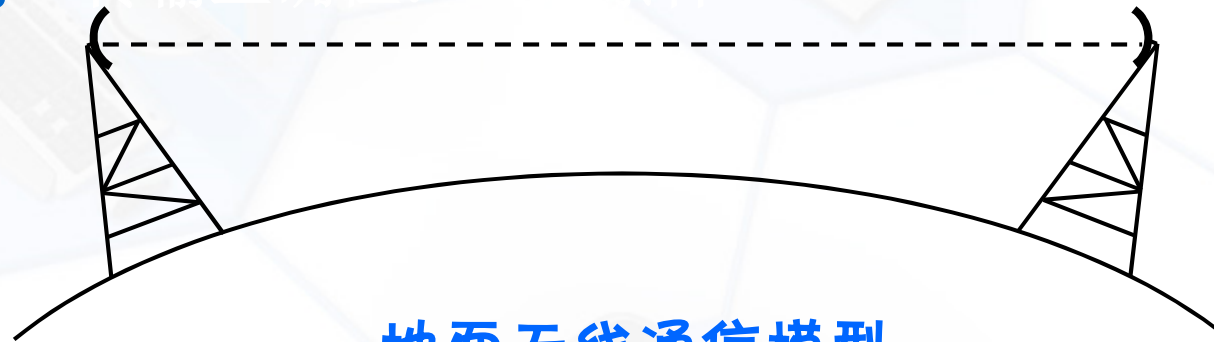


光纤及 光纤与计算机的连接

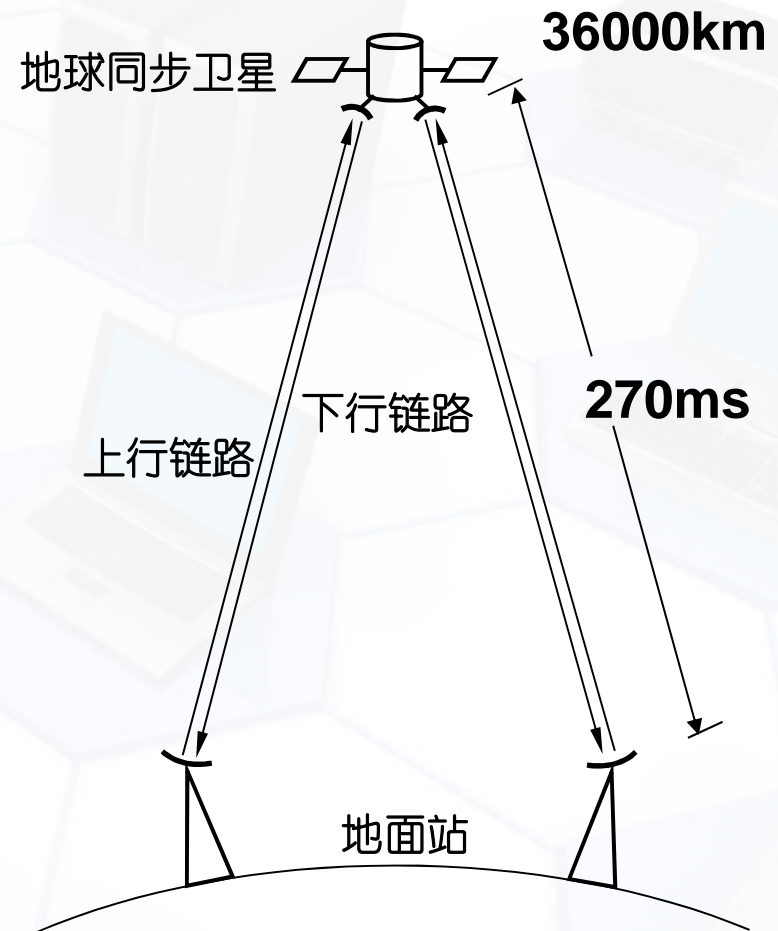
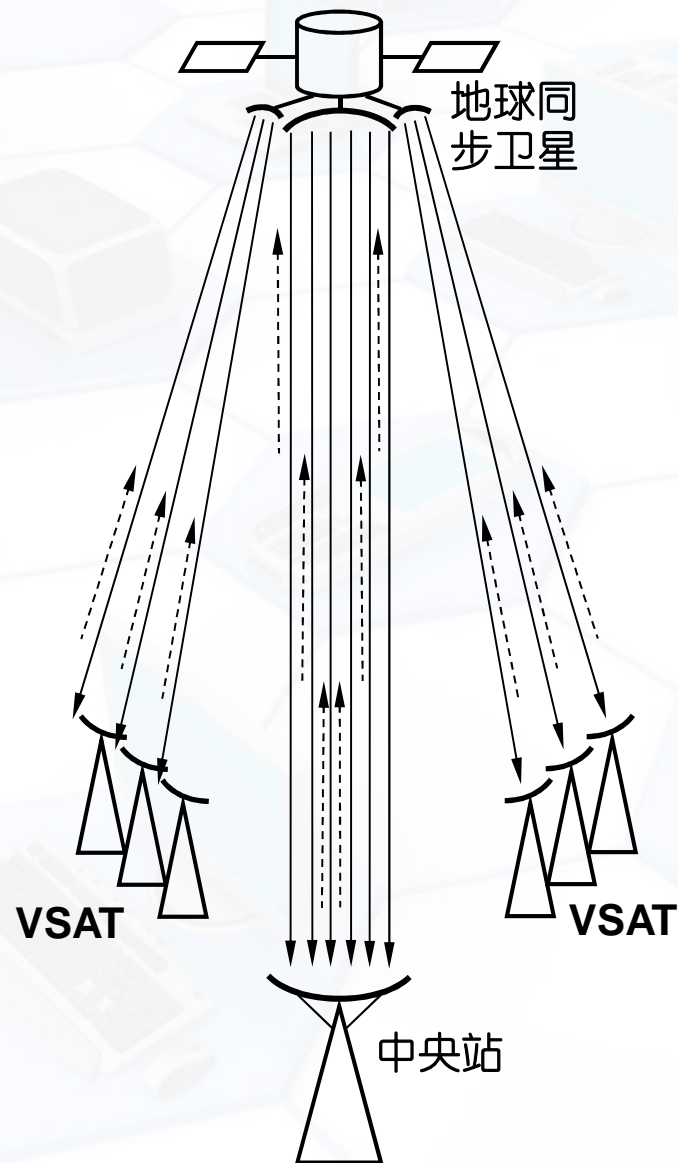
6) 无线传输 (Wireless Transmission)

- 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、类型和信道
- § 传输可靠性、障碍物
- § 传输正确性、干扰条件



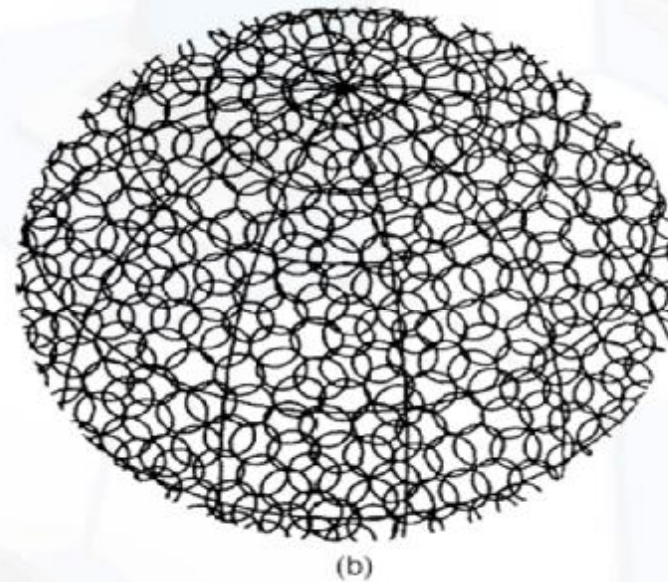
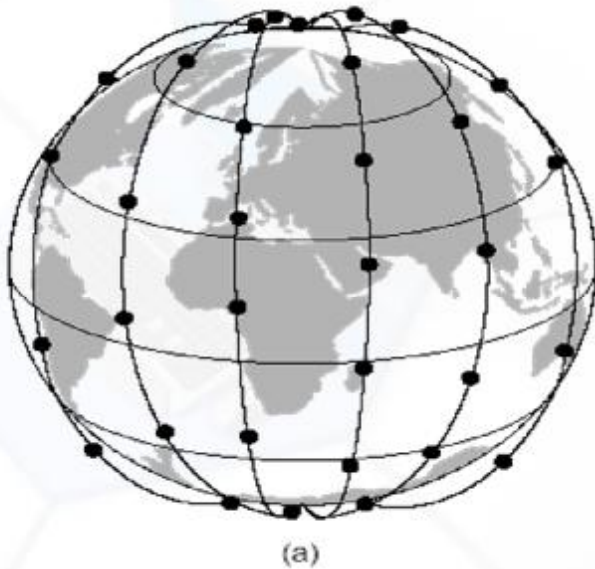
地面无线通信模型



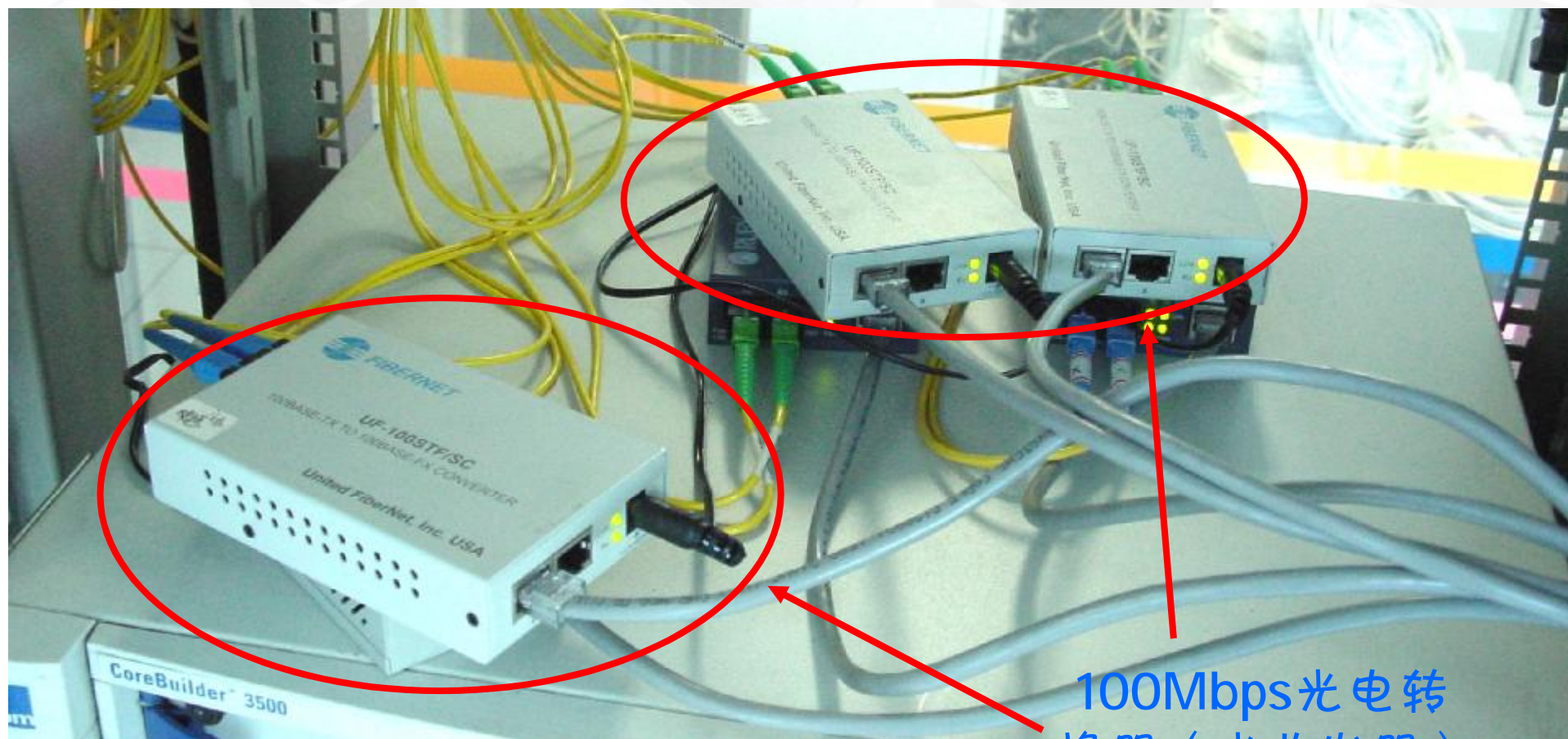
VSAT: 甚小孔径卫星终端
Very Small Aperture Satellite Terminals

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）



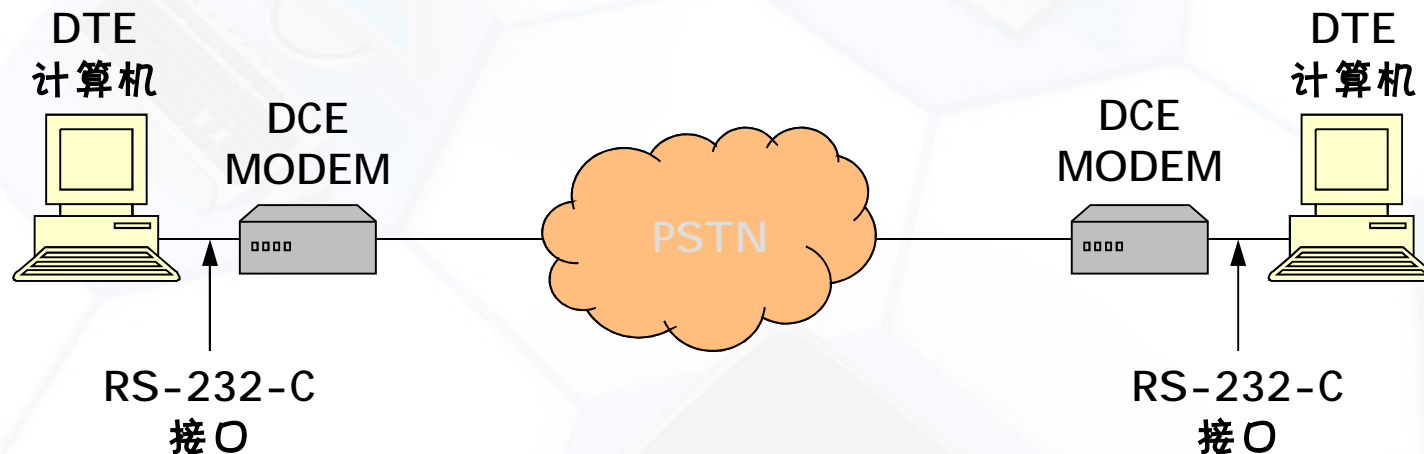
- § 无线电传输：在LF、MF沿着地面传播；在HF、VHF由电离层反射
- § 红外线与毫米波传输：不能穿透障碍物，适用于室内
- § 微波传输：能量集中，天线必须对准
- § 激光传输：不能穿透雨或浓雾



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)

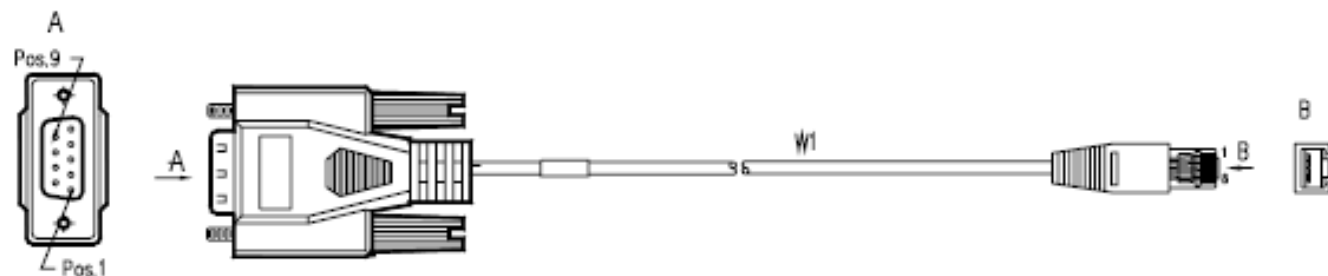


RS-232连接

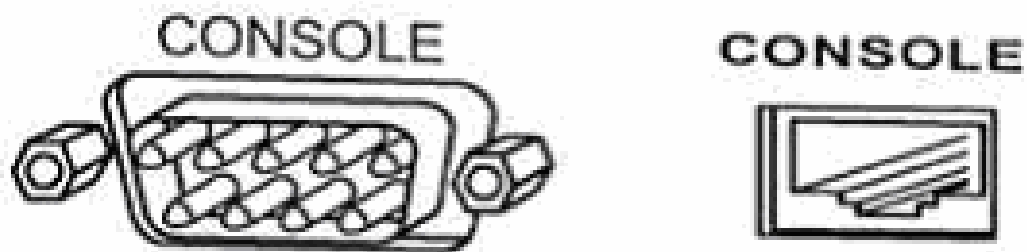


具备232接口的设备

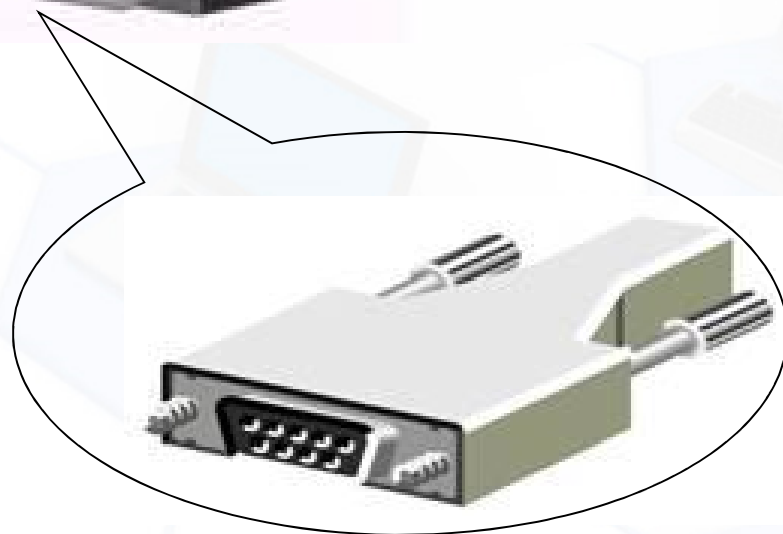
常见设备--交换机、路由器等



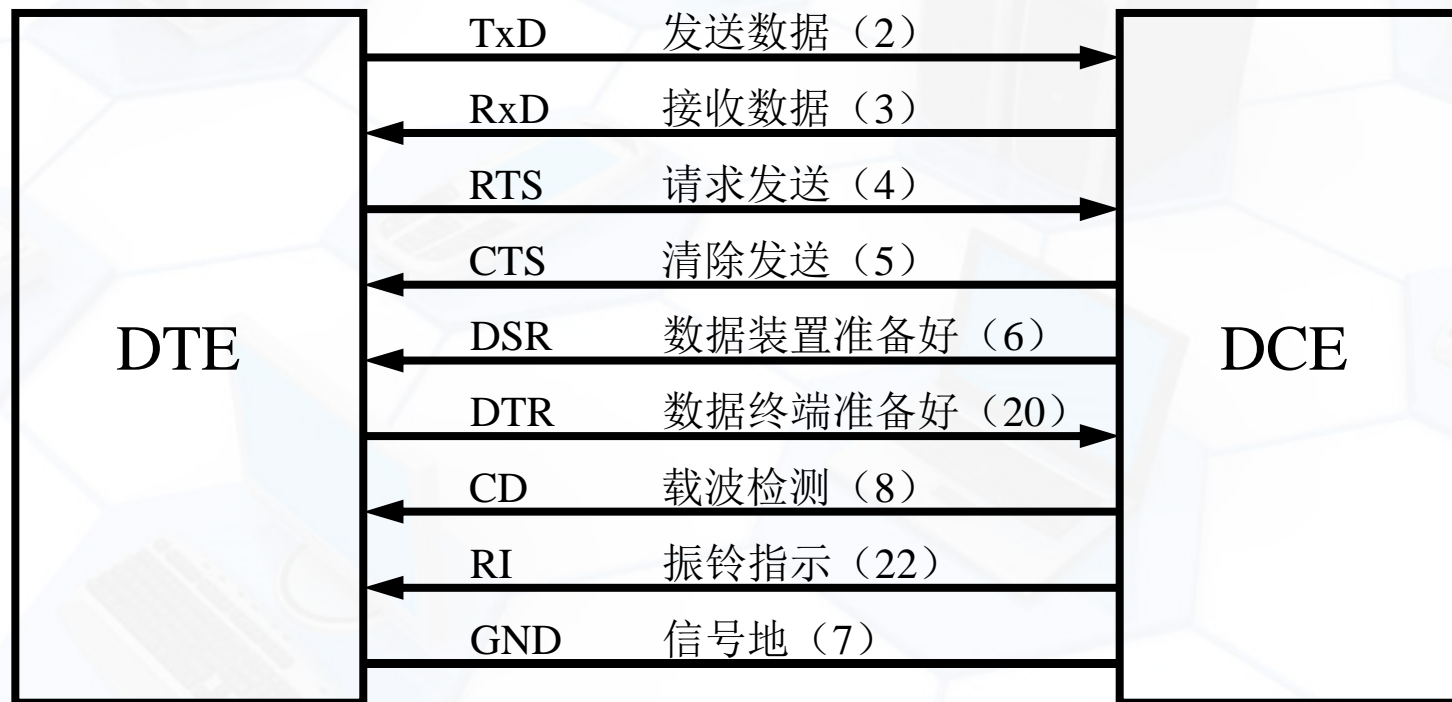
交换机、路由器等设备用的控制电缆
(一端DB9, 另一端为RJ45形式)



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