

# CHAPTER 2：物理层

笔记源文件：[Markdown](#)，[长图](#)，[PDF](#)，[HTML](#)

物理层定义了比特在信道上发送时的电气/时序接口

## 1. 通信基础

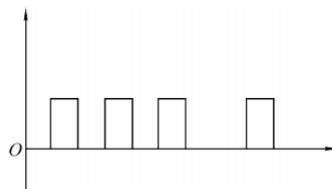
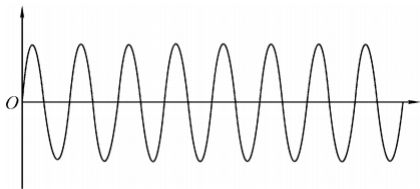
### 1.1. 基础概念

#### 1.1. 信号

##### 1 信号与数据

1. 信号：数据的电气/电磁表现
2. 数据：传送信号的实体
3. 数字调制：信号<sup>转化</sup>↔数据

##### 2 模拟&数字信号：对应左右，分别为连续的/离散的



##### 3 基带&宽带信号

类型	数据表示	传输的信道	传输方式
基带信号	转化成数字信号，用电压高低表示数据中的0/1	数字信道	基带传输
宽带信号	转化成模拟信号	模拟信道	宽带传输

#### 1.1.2. 信源/信道/信宿

组件	描述
信源	信息的源泉，产生和发送信息的设备
信道	信号的传输媒质，分为有线(双绞线)/无线(人造卫星)
信宿	信息的归宿地，接收和处理信息的设备

## 1.2. 其他概念

### 1.2.1. 带宽

1 模拟信号带宽(Hz): 允许通过信号的, 最高频率减最低频率

2 数字信号带宽(bit/s): 通道传数据的能力

### 1.2.2. 噪声

1 噪声: 干扰有效信号传输的其他信号

2 信噪比:

1. 噪声对信号的影响是相对的

2. 信噪比: 信号的平均功率/噪声平均功率  $SN = \frac{S}{N}$ , 取对数  $SNR = 10\lg(\frac{S}{N})(dB)$

## 1.3. 通讯/传输方式

### 1 数据传输方式

1. 串行传输: 一个一个比特按照时间顺序传输, 常用于远距传输

2. 并行传输: 多比特通过多信道同时传输, 常用于近距传输

### 2 通信方式

1. 同步通信: 接收/发送端时钟频率相等, 使接收端对收到比特流采样, 从而判决时间是准确的

2. 异步通信: 更便宜

- 传输单位: 字节, 但是字节的前/后可各塞一位

- 特点: 发送端发完一字节后, 下一字节什么时候发不知道

### 3 通信模式

1. 单工: 只能  $A \rightarrow B$ , 如广播电视

2. 半双工: 可以  $A \rightarrow B$  和  $A \leftarrow B$ , 如对讲机

3. 全双工: 可以  $A \overset{\text{同时}}{\longleftrightarrow} B$ , 如电话

## 1.4. 信息传输速率

参考这个[知乎回答](#)

1 速率概念的核心: 单位时间内传输的数据量

2 码元: 一个码元就是一个脉冲信号, 一个脉冲可携带一个/多个比特的数据

3 两种速率

1. 比特率: 一秒能传输多少个比特

2. 波特率: 一秒能传输多少个码元(脉冲), 单个码元含有n比特时, 比特率=n\*波特率

## 2. Nyquist定理&Shannon定理

### 2.1. 采样定理&码间干扰

- 1 原始信号最大频率为 $f_{max}$ ，则将模拟信号转为数字信号时，须有 $f_{\text{采样}} > 2f_{max}$ 信息才不会丢失
- 2 码间串扰：带宽存在→高频分量过不去→接收端信号由此失去了码元见的清晰界限
- 3 Nyquist定理由来：不出现码间串扰时，最大的码元传输速率 $C_{max}$

### 2.2. Nyquist定理

- 1 定理内容：无噪声情况下，基于码元最大速率的最大速率 $C_{max} = f_{\text{采样}} \log_2 N = 2f \log_2 N (\text{bit/s})$ 
  1.  $f$ 表示低通信号带宽， $2f$ 是码元最大传输速率
  2.  $N$ 表示码元的离散电平的数目，一码元表示 $n$ 比特时， $N = 2^n$
  3.  $2f \rightarrow 2f \log_2 N$ 后，才表示比特的最大传输速率，事实上 $N$ 可以无穷大
- 2 低通信道
  1. 低通信道：带宽从0开始，超过带宽范围的信号，无法不失真通过
  2. 带通信道：带宽从非0开始
- 3 举例
  1. 低通信道截止频率是2kHz→最高码元传输速率是4kHz
  2. 带通信道频率范围是3kHz-4kHz→有效带宽1kHz→最高码元传输速率是1kHz

### 2.3. Shannon定理

- 1 有噪声情况下，最大数据传输速率 $C_{Max} = W \cdot \log_2(1 + \frac{S}{N})$
- 2  $W$ 是信道带宽单位是Hz， $\log_2(1 + \frac{S}{N})$ 为信道比

### 2.4. 两个定理的比较

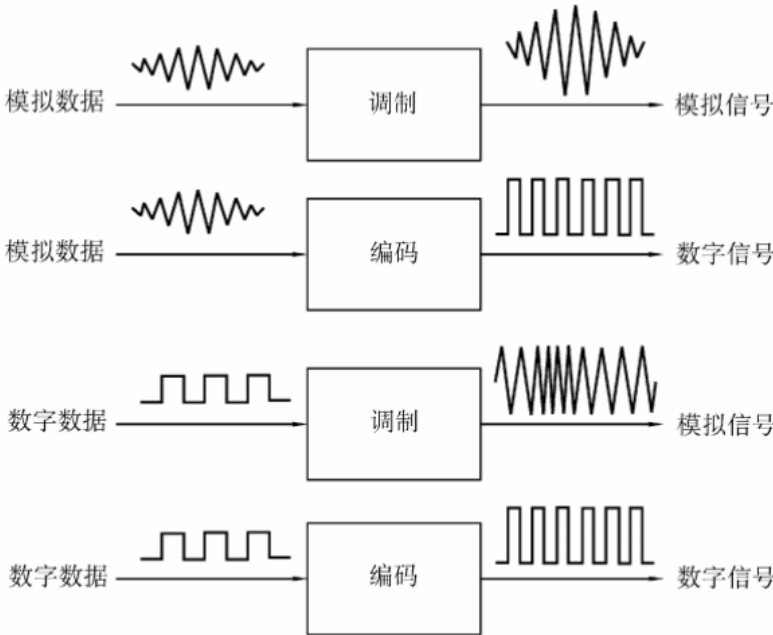
- 1 Nyquist定理：
  1. 说明码元传输速率有限，强行拔高会导致码元间干扰，接收端看不出0/1
  2. 没说明信息传送速率的极限，采用一定的编码(一码元含多比特)，可以使信息传送速率无穷大
  3. 这是理想情况下的，实际速率要小得多
- 2 Shannon定理：
  1. 给出的是信息传送速率的极限，当然也给出了提高速率的唯一方法
  2. 在给定极限内，一定能找到一种无差错传输方法
  3. Nyquist定理中，即使有可以使速率无穷大的编码，也不能超过Shannon定理的极限，因为信噪比

# 3. 编码与调制

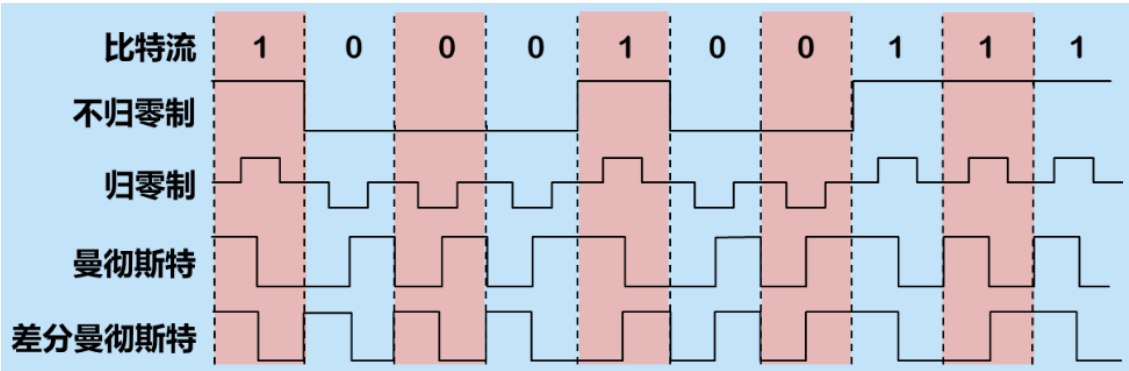
## 1 含义

- 1. 调制：转化成模拟信号
- 2. 编码：转化为数字信号

## 2 数据→信号的四种方式

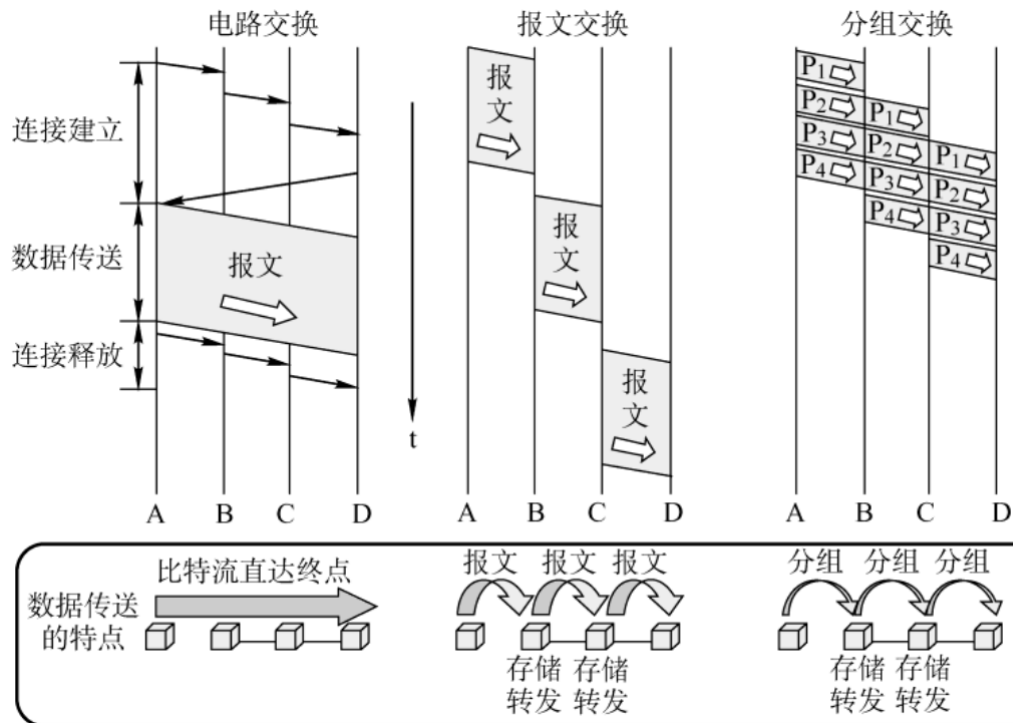


## 3 数字数据→数字信号，常见的编码方式



- 1. 不归零: 正电平  $\xrightarrow{\text{代表}}$  1, 负电平  $\xrightarrow{\text{代表}}$  0 (反之也行)
- 2. 归零制: 正脉冲  $\xrightarrow{\text{代表}}$  1, 负脉冲  $\xrightarrow{\text{代表}}$  0 (反之也行)
- 3. Manchester: 左半边正电平  $\xrightarrow{\text{代表}}$  1, 左半边负电平  $\xrightarrow{\text{代表}}$  0 (反之也行), 但是右半边必须翻转一下
- 4. 差分Manchester: 如果当前比特 = 0 则跳转一次, 比特 = 1 则维持以前电平, 然后中间还是跳转一次

# 4. 数据传输方式



## 4.1. 电路交换：数据量大时适用

- 1 含义：通信前在双方间建立一条被**双方独占**的物理通路
- 2 优点：延时小/实时强/传输有序/适用广(数据/模拟信号都适用)/控制简单/避免冲突
- 3 缺点：建立连接耗时长/霸着连线效率低/无统一标准/灵活性差(断开就要重新拨号)

## 4.2. 报文交换

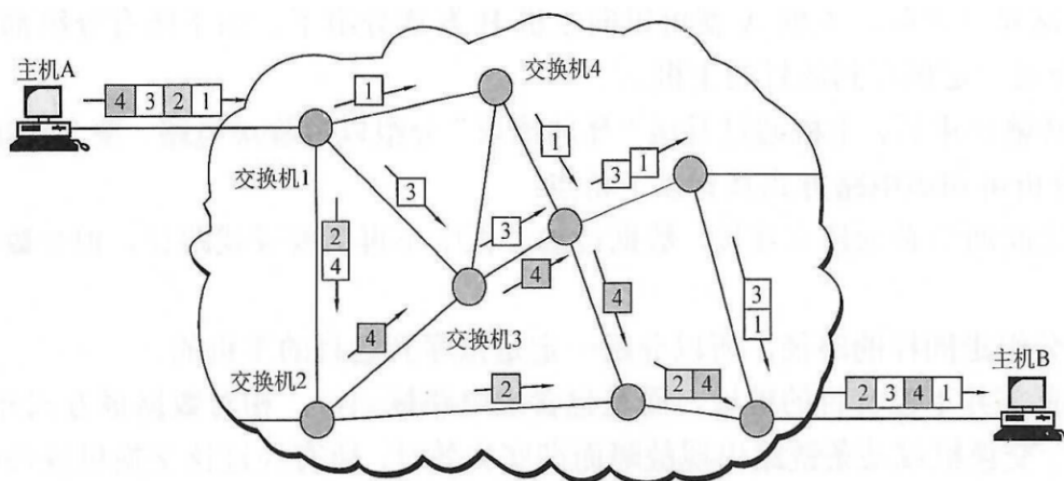
- 1 报文：报文交换的传输单位，携带有源地址/目标地址信息
- 2 报文交换：让报文在交换结点不断存储转发
- 3 优点：无连接/动态分配路线/可靠/效率高/多目标(一个报文多个目标地址)
- 4 缺点：延时大，结点需要缓存

## 4.3. 分组交换(当今主流)

- 1 分组：就是报文分割，每个分组包含原地址&目标地址
- 2 分组交换：  
报文  $\xrightarrow{\text{分组}}$   $n$  个分组  $\xrightarrow{\text{套上首部(源/目的地址)}}$  传输  $\xrightarrow{\text{摘下首部}}$   $n$  个乱序分组  $\xrightarrow{\text{排序}}$  接收到报文
- 3 优点
  - 1. 加速传输：一个报文的分组可并行发送
  - 2. 存储管理更简单：不用缓存整个报文，只用缓存一部分分组
  - 3. 出错率小：重传的也更小了
- 4 缺点：有延时，可能丢失/失序/重复，接收端还需重排

## 5. 两种分组交换：数据报&虚电路

### 5.1. 数据报(无连接)



1 过程：分割报文为分组→主机1缓存→主机1按照转发表转发→重复缓存转发→接收端收到信息

2 统计复用：多用户并行传输，在此处体现为例如A发送时，B也可以发送

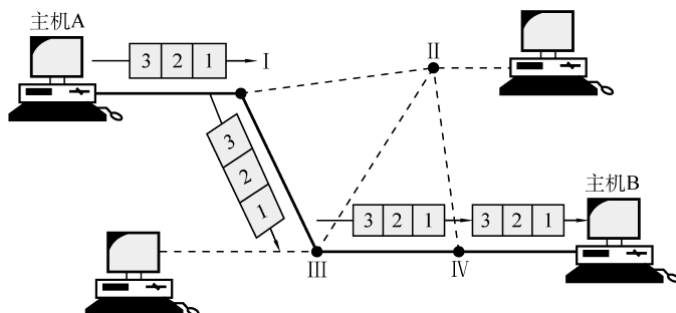
3 特点

1. 尽最大努力交付：不靠性，可能会送丢，送达的是乱序的
2. 降低了延时：分组可并行传输
3. 能有效应对故障：一条路线崩了，交换机换一个交换表就行了
4. 资源利用高：收发方谁都不独占一条路线

### 5.2. 虚电路(面向连接)

1 含义：发数据前，在收发两端建立一条虚连接，通讯完后释放

2 过程：A→B



1. A发出**呼叫请求**特殊分组，分组转发给B
2. B回送**呼叫应答**ACK表示同意建立虚电路，虚电路就建立好了
3. A向B发送分组，B按照顺序接收
4. 传送完后，释放连接

3 特点

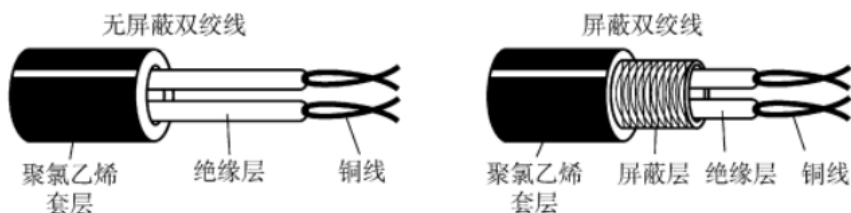
1. 延时低
2. 首部并不包含目的地址，但包含虚电路标识符，相对数据报方式开销小

## 6. 传输介质

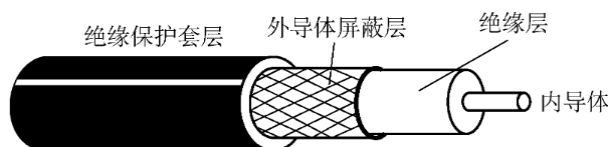
### 6.1. 介质分类

#### 6.1.1. 导向型介质：实实在在的线

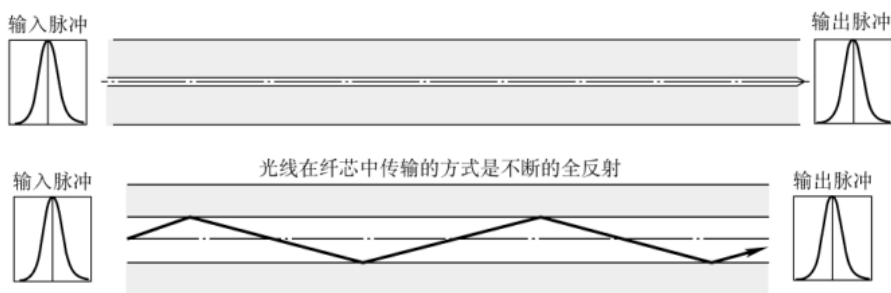
1 双绞线：两根互相绝缘的铜导线绞合起来，贵，效果还差



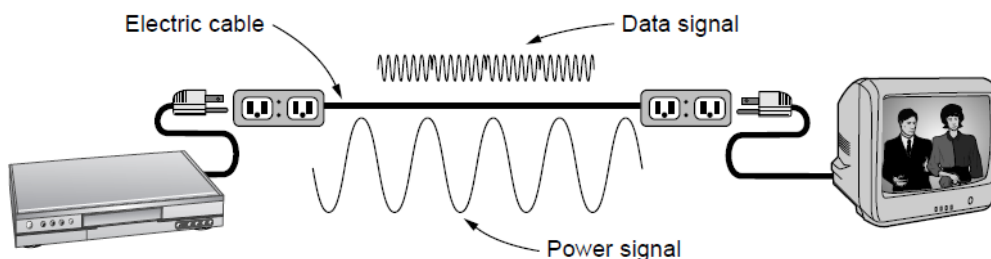
2 同轴电缆：抗干扰更强



3 光纤：分为单模(上图，只能直线传播)，多模(下图，可反射)，缺点是太娇贵了



4 电线：这是一个雷人的想法，缺点在于



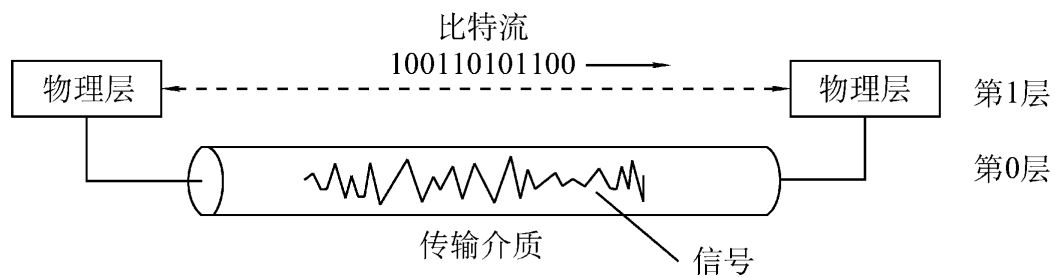
1. 高速传输还需更高频率
2. 电器开关的噪声大
3. 电线和网线电气特性不一致

#### 6.1.2. 非导向型介质：在自由空间中自由传播

短波(通讯)，微波(通讯)，红外线，可见光，激光(通讯)

### 6.2. 物理层接口特性

1 介质是第0层：物理层规定介质如何传输比特流，确定介质接口特性



## 2 接口特性

1. **机械特性**: 接口形状/尺寸/引线数目/排列
2. **电气特性**: 电压范围, 何种信号表示0/1
3. **功能特性**: 接口部件的信号线(数据/控制/定时线等)的用途
4. **规程特性(过程特性)**: 物理线路上对不同功能的各种可能事件的出现顺序(时序关系)

# 7. 物理层设备: 中继器+集线器

## 2.3.1. 中继器

- 1 信号传输过长→信号衰减→加个中继器→衰减到不完整的信号重新完整
- 2 放大器放大模拟信号, 中继器放大数字信号

## 2.3.1. 集线器: 多端口中继器

- 1 A发信给B过程: A将信息送到集线器→集线器将信息放大后广播→收到广播后B匹配成功→B接收
- 2 通过中继器或集线器连接起来的几个网段, 仍然是一个局域网