

<!--

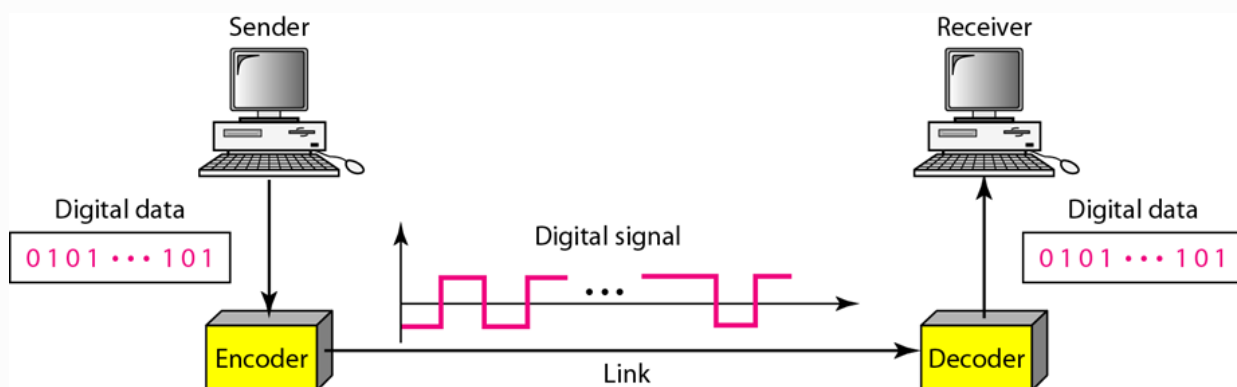
- @Title: 数字传输
- @Description:
- @Author: SoulCompiler/prinscarce
- @Email: [prinscarce@outlook.com](mailto:prinscarce@outlook.com)
- @Blog:
- @LastEditors: prinscarce

-->

## 第4章 数字传输

### 一. 线路编码

数据元素和信号元素的区别、数据速率和信号速率的区别、最小带宽、最大数据速率、直流分量、自同步



### 数据元素和信号元素

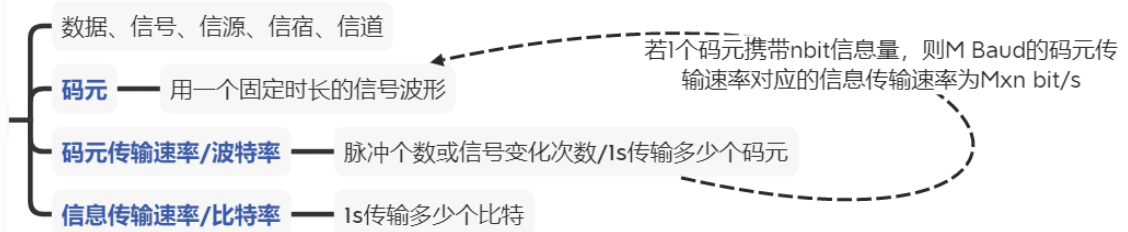
- 数据元素是表示一块信息的最小实体，即位。
- 信号元素是数字信号的最小单元。
- 区别：
  - 数据元素是我们需要发送的，而信号元素是我们能发送的。
  - 数据元素是被承载，而信号元素是载体。
  - 用比喻说明：每个数据元素是需要从一个地方运到另一个地方的人。运送人的车辆是信号元素。可以每个人驾驶一辆车，也可以多个人乘坐一辆车，还可以一个人驾驶一辆车和一辆拖车。

## 数据速率和信号速率

- 数据速率定义了1秒发送的数据元素(位)的数量，单位是每秒位(bps)。又称**比特率**。
- 信号速率是1秒发送的信号元素的数量，单位是波特(baud)。又称脉冲速率,调制速率或**波特率**。
- 数据通信中的一个目标是增加数据速率而降低信号速率。增加数据速率增加了传输速度，降低信号速率降低了带宽需求。
- 数据速率和信号速率之间的关系公式化：

$$S = c \times N \times \frac{1}{r}$$

- S是信号元素数量(单位baud)，c是情形因子，通常c=1/2，N是数据速率(单位bps)，会根据每种情形改变，比率r为每个信号元素承载的数据元素的数量。



## 带宽

- 虽然数字信号的真实带宽是无限的，但有效带宽是有限的。
- 是波特率而不是比特率决定了数字信号的带宽。如果我们使用运输作为类比，是 车辆数量影响了交通，而不是运输的人数。

## 最小带宽

$$B_{min} = c \times N \times \frac{1}{r}$$

- B带宽，N波特率，r比率
- 波特率和带宽是有关系的
- 平均信号速率S=c\* N \*1/r，带宽（频率范围）与信号速率（波特率）成正比。

## 最大数据速率

$$N_{max} = \frac{1}{c} \times B \times r = 2 \times B \times \log_2 L$$

- 与奈氏公式一致
- 若给定通道带宽，则可以得到最大数据速率

## 直流分量 DC Components

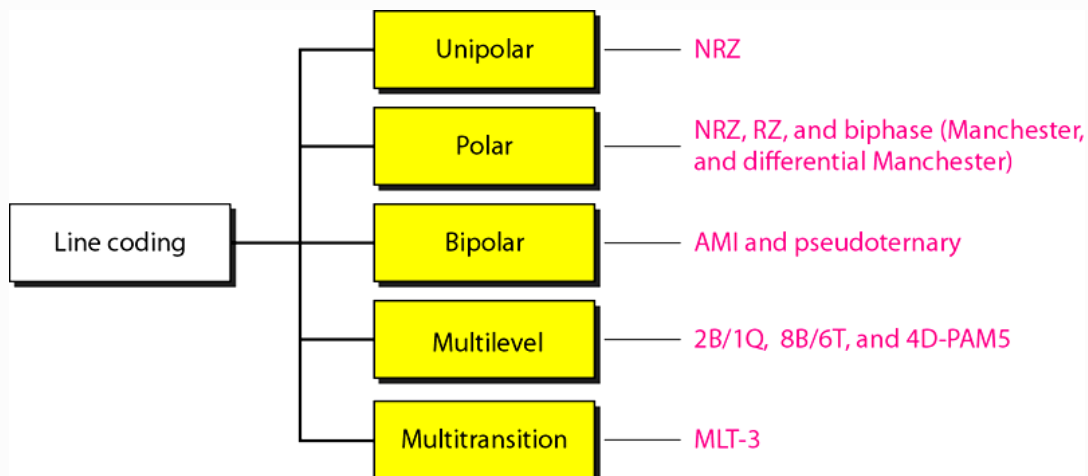
- 当数字信号中的电平保持一段时间的恒定时，频谱会产生很低的频率。这些接近于零的频率称为DC（直流）成分。

## 自同步

- 接收方的位间隔与发送方的位间隔严格对应与匹配。
- 为了正确地解释从发送方接收到的信号，接收方的位间隔必须与发送方的位间隔严格对应。
- 如果信号中包含有提示接收方起始、中间和结束位置的脉冲的跳变就可以完成自同步。

## 二. 线路编码方案

单极性编码（NRZ）、极性编码（NRZ-L 和 NRZ-I）、归零码（RZ）、双相码（Manchester 和 Differential Manchester）、双极性编码（AMI 和伪三进制码）、多电平编码（mBnL，2B1Q、8B6T、MLT-3 了解）

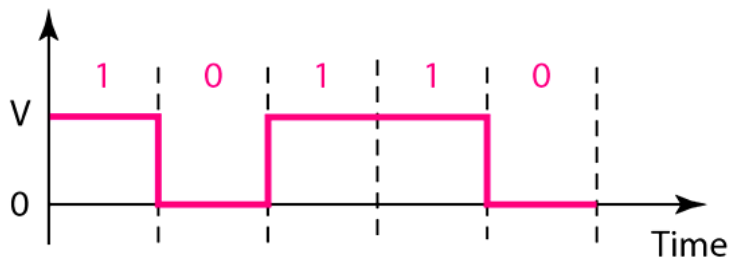


### 1.单极性编码

#### 不归零编码（NRZ）

- 所有的信号电平都在时间轴的一边，或者时间轴的上面/时间轴的下面。
- 单级编码方案设计成不归零(non-return-to-zero, NRZ)方案，不归零是指在为中间信号不会回零，在此方案中正电平定义成位1而零电平定义成位0。
- 缺点：这个方案成本很高,标准功率(每个单元线路阻抗发送1位所需的功率)是极性NRZ方案的两倍。

Amplitude



$$\frac{1}{2}V^2 + \frac{1}{2}(0)^2 = \frac{1}{2}V^2$$

Normalized power

## 2.极性编码方案

### NRZ-L(NRZ电平编码)

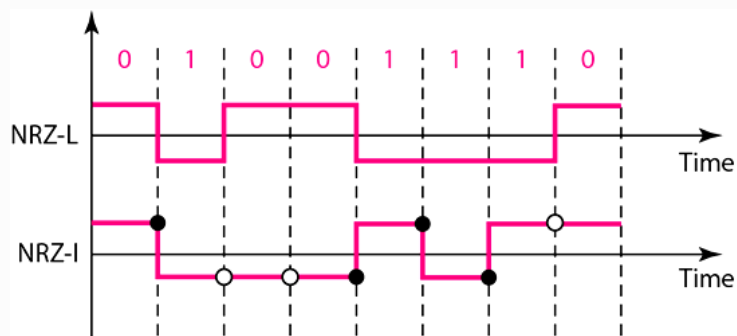
- NRZ-L (NRZ电平编码, NRZ-Level), 信号电平决定了位值。

### NRZ-I(NRZ反向编码)

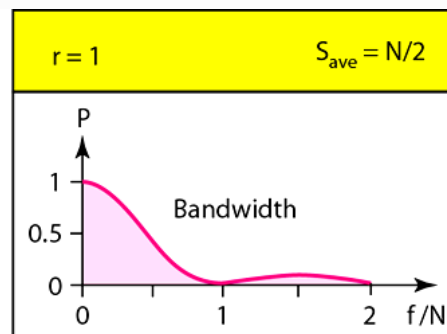
- NRZ-I (NRZ反相编码, NRZ-Invert), 信号电平是否反相或跳变决定了位值。如果没有跳变, 位值是0, 如果有跳变, 位值是1。

NRZ-L和NRZ-I都有 $N/2$  Baud的平均信号速率。来自 $S=c * N * 1/r$ ,  $c=1/2, r=1$

NRZ-L和NRZ-I都有DC成分问题。

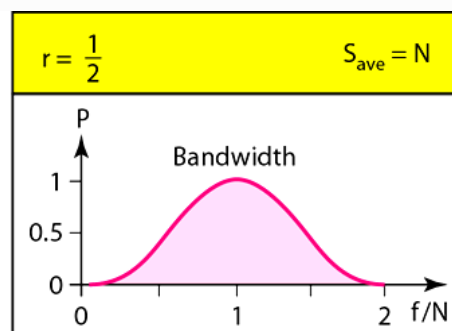
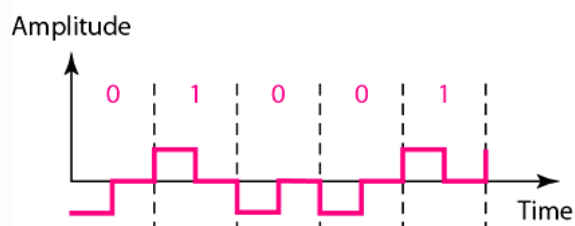


○ No inversion: Next bit is 0    ● Inversion: Next bit is 1



### 极性归零码(Polar RZ)

- 在每个位中间信号变为0
- 使用三个值: 正值、负值和零
- 缺点: 占用的带宽大, 三个电平的生成和辨别更加困难



## 曼彻斯特编码 (Manchester)

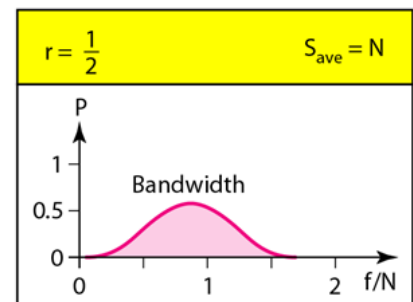
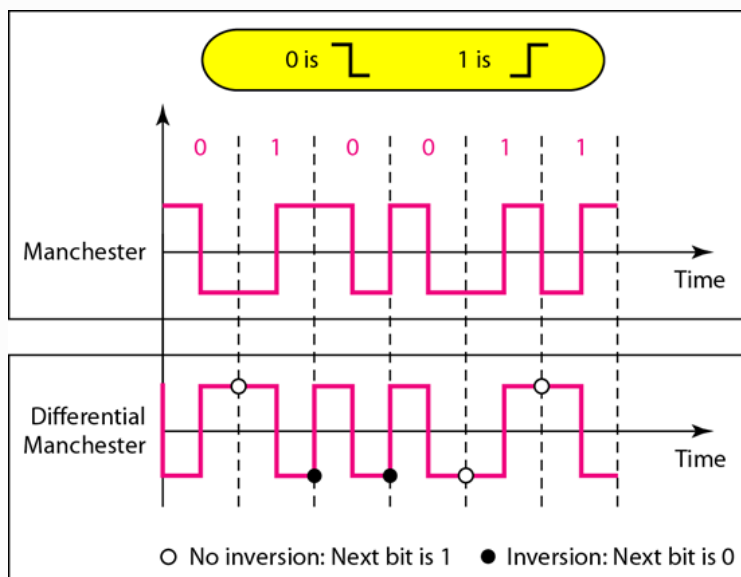
- RZ的位中间跳变+ NRZ-L
- 位的持续时间被二等分，在前半部分电平保持一个水平，后半部分变成另一个水平。
- 位中间的跳变提供了同步。
- 0: 高to低, 1: 低to高

## 差分曼彻斯特 (Differential Manchester)

- RZ + NRZ-I
- 中间总有跳变，值在位起始位置
- 下一个是1不跳变，下一个是0跳变

在曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码中，位中间的跳变用于同步，值要么在位中间，要么在位起始位置

曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码的最小带宽是NRZ的两倍



## 3.双极性方案(bipolar)

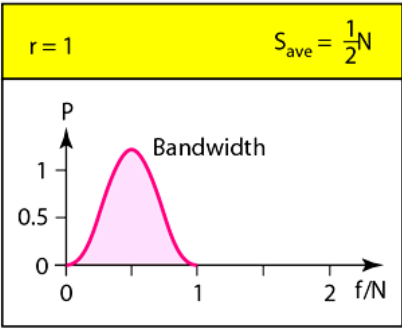
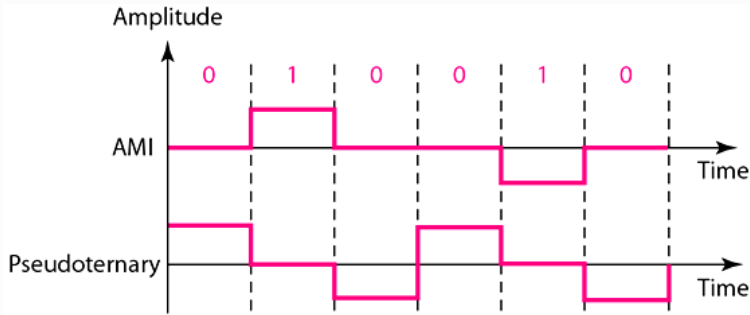
- 一个数据元素的电平是0，另一个数据元素的电平在正值和负值间交替。
- 在双极性编码中，使用三种电平：正电平，负电平，零

## 交替传号反转 (AMI)

- 0: 0电平, 1: 交替正负电平

# 伪三元编码

- 1编码成0电平，而位0编码成交替正负电平

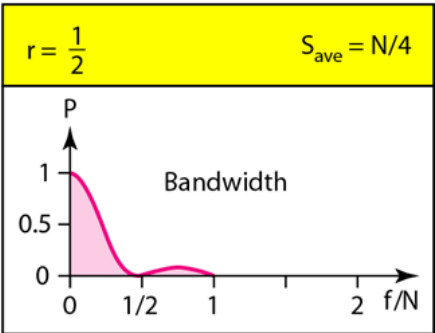
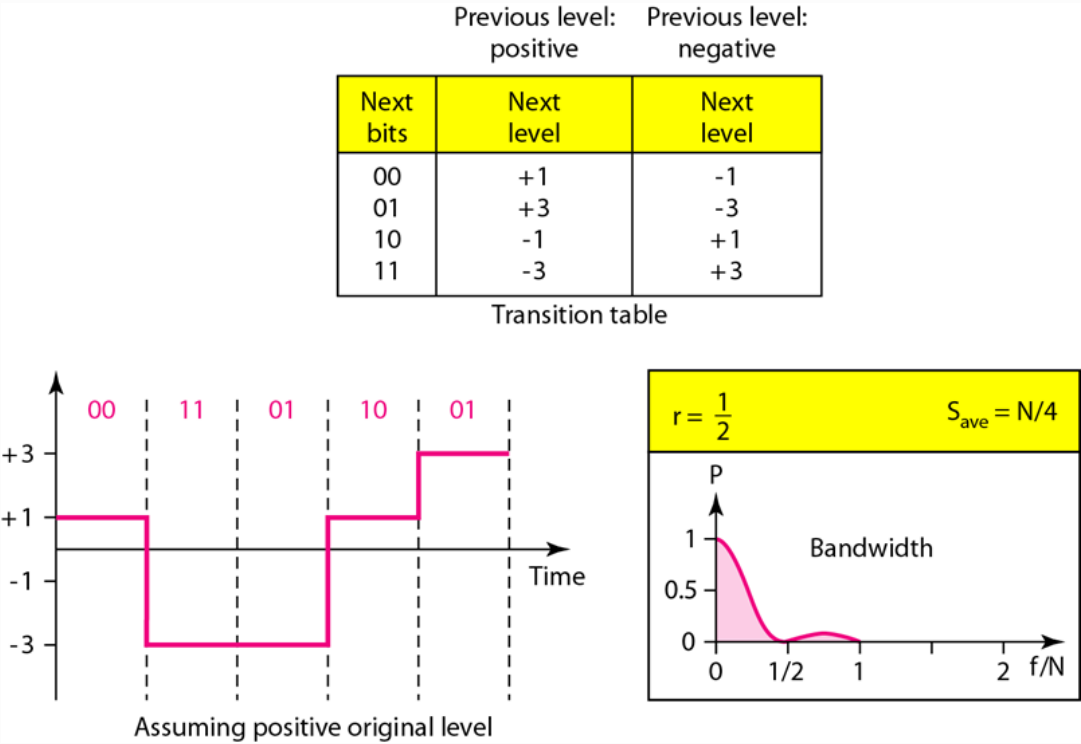


## 4.多电平方案(multilevel)了解

### mBnL

- m个数据元素模式编码成n个信号元素模式， $2^m \leq L^n$
- L是信号的电平数，若L=2，用B替换；若L=3，则用T替换；若L=4，则用Q替换
- 2B1Q
  - 使用长度为2的2位数据模式编码成一个4电平信号元素。
  - $m = 2$ 、 $n = 1$ 、 $L = 4$
  - 平均信号速率是

$$S = N/4$$

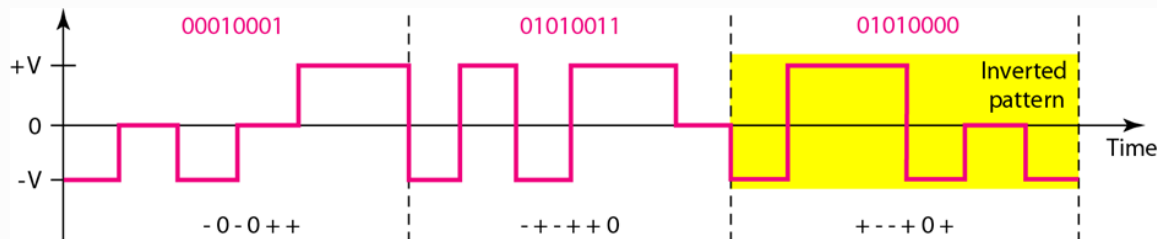


- 8B6T

。 8个二元、6个三元

。 平均信号速率是

$$S_{ave} = \frac{1}{2} \times N \times \frac{6}{8}$$



### MLT-3

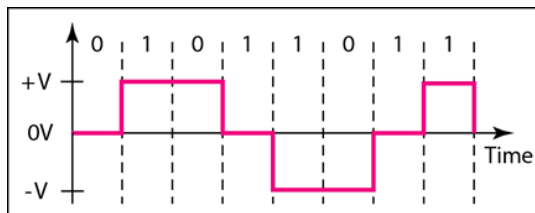
。 使用三个电平（+V、0、-V）和三个跳变规则在电平间变动。

。 规则：

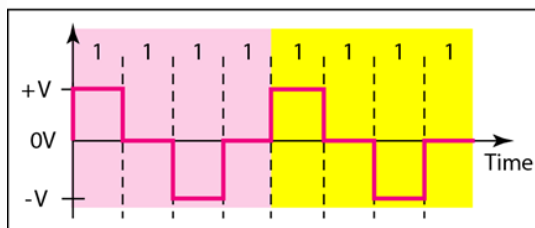
。 如果下一个位是0,没有跳变。

。 如果下一个位是1而且当前电平不是0,下一个电平是0。

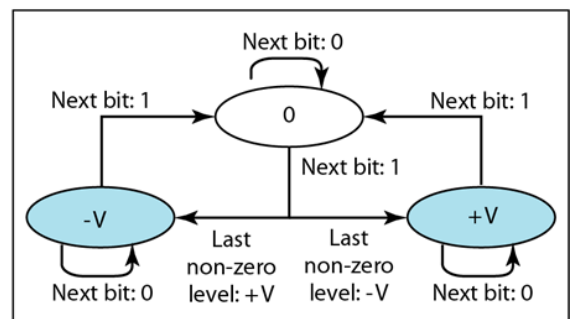
。 如果下一个位是1而且当前电平是0,下一个电平是最后一个非零电平的相反值。



a. Typical case



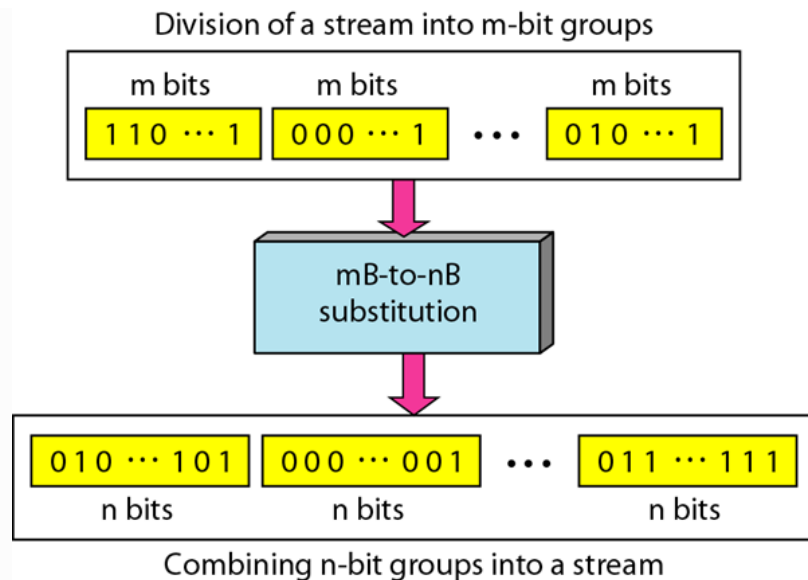
b. Worse case



c. Transition states

## 三. 块编码（了解）

块编码通常称为mB/nB 编码技术，用 n-bit位组替换m-bit.



## 4B/5B

- 4个二元/5个二元（four binary/five binary, 4B/5B）编码方案设计出来和NRZ-I组合使用。
- 4B/5B编码方案解决了同步问题，克服了NRZ-I的缺陷，但是它增加了NRZ-I的信号速率，冗余位增加20%的波特

## 8B/10B

- 8B/10B块编码实际上是5B/6B编码和3B/4B编码的组合。
- 比起4B/5B,它提供了更强的差错检测能力。

# 四. 扰码

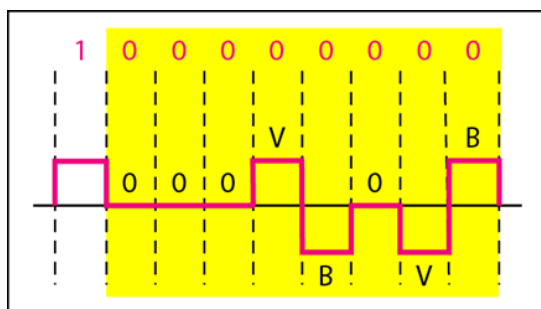
### B8ZS 和 HDB3

- 两相编码使用于LAN中间站的专用链路，不适用于长距离通信
- 块编码和NRZ编码的组合有DC分量，也不适合于长距离通信
- 双极性AMI有窄带宽，且没有DC分量，当连续0的长序列会失去同步。

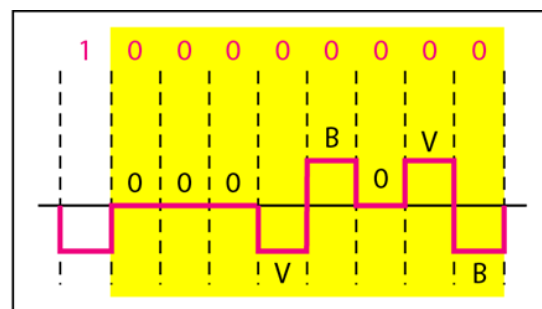
### B8ZS

- 8零置换的双极编码方案：
  - 把8个连续零置换成000VB0VB





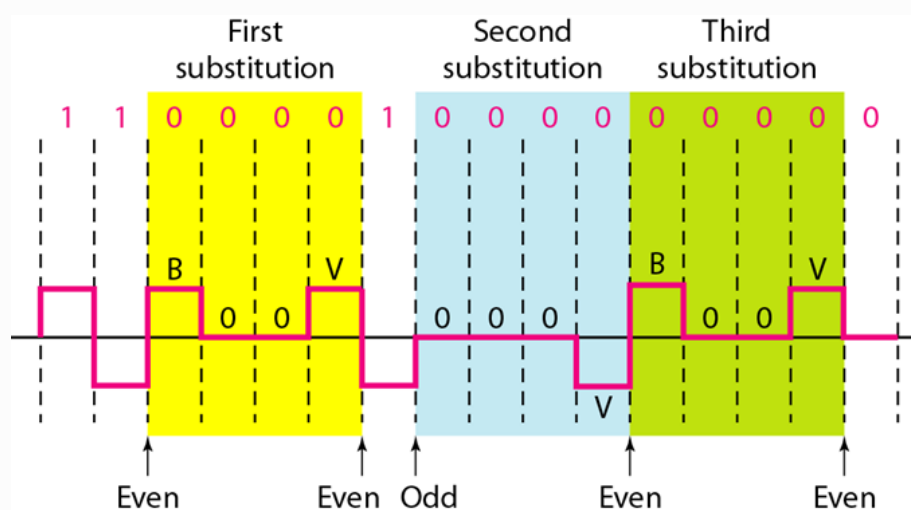
a. Previous level is positive.



b. Previous level is negative.

## HDB3

- 高密度双极3零方案：
  - 如果最后一次置换后的非零脉冲数是奇数， 置换模式是000V,这样使得非零脉冲总数为偶数。
  - 如果最后一次置换后的非零脉冲数是偶数， 置换模式是B00V,这样使得非零脉冲总数为偶数。
- HDB3技术根据最后一次置换后非零脉冲数把四个连续零置换成000V或B00V。



## 五. 脉码调制 PCM

### 采样、量化等级、量化误差

- PCM编码器有三个过程：
  - 对模拟信号进行采样；
  - 对采样后信号进行量化；
  - 量化后的值编码成位流。

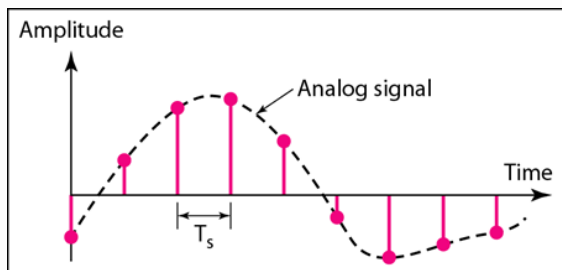
### 采样

- 每隔 $T_s$ 秒对模拟信号进行采样， $T_s$ 是样本间隔或周期。
- 采样间隔的倒数称为采样率或采样频率,定义成 $f_s$

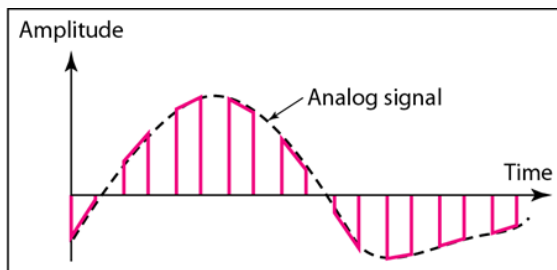
- $$f_s = \frac{1}{T_s}$$

- 三种采样方法：

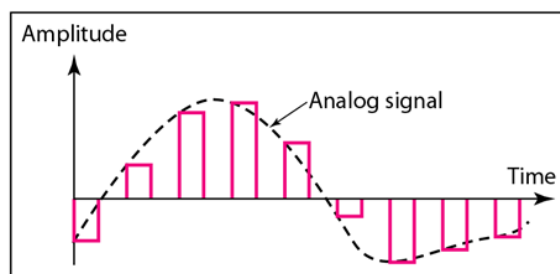
- 理想采样：对来自模拟信号的脉冲进行采样。
- 自然采样：当采样发生时高速开关开启很短的时间，样本序列保持了模拟信号的形状。
- 方顶采样：采样和保持技术，通过适用电路产生方顶样本。



a. Ideal sampling



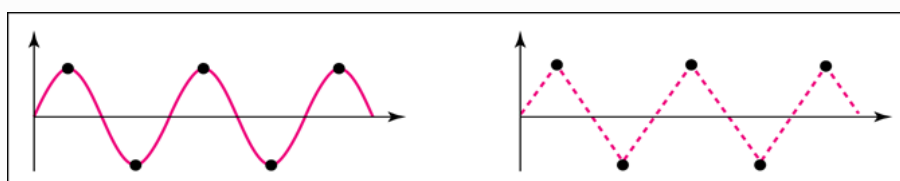
b. Natural sampling



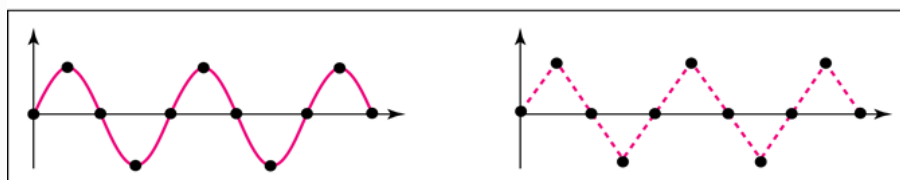
c. Flat-top sampling

- 采样速率：

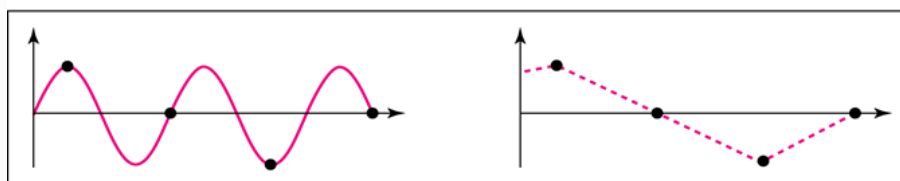
- 根据奈奎斯特定理，采样速率必须至少是信号所含最高频率的2倍。



a. Nyquist rate sampling:  $f_s = 2f$



b. Oversampling:  $f_s = 4f$



c. Undersampling:  $f_s = f$

## 量化

- 量化步骤：

1. 我们假定原始模拟信号有介于 $V_{\min}$ 和 $V_{\max}$ 的瞬时振幅。

2. 我们把范围分成 $L$ 个区间，每个区间高度为  $\Delta$ 。

$$\Delta = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{L}$$

3. 我们分配0到 $L-1$ 的量化值给每个区间的中点。

4. 样本振幅值近似为量化值。

- 量化等级：

- $L$ （等级数）的选择取决于模拟信号振幅范围以及我们需要准确恢复信号的程度。

- 量化误差：

- 量化误差改变了信号的信噪比，根据香农理论，这反过来减小了上限容量。

- 量化误差（quantization error）对信号 $SNR_{dB}$ 的影响取决于量化级别 $L$ 或每个样本位数 $n_b$ 。如下所示：

$$SNR_{dB} = 6.02n_b + 1.76$$

**结论：增加级别数就会增加SNR.**

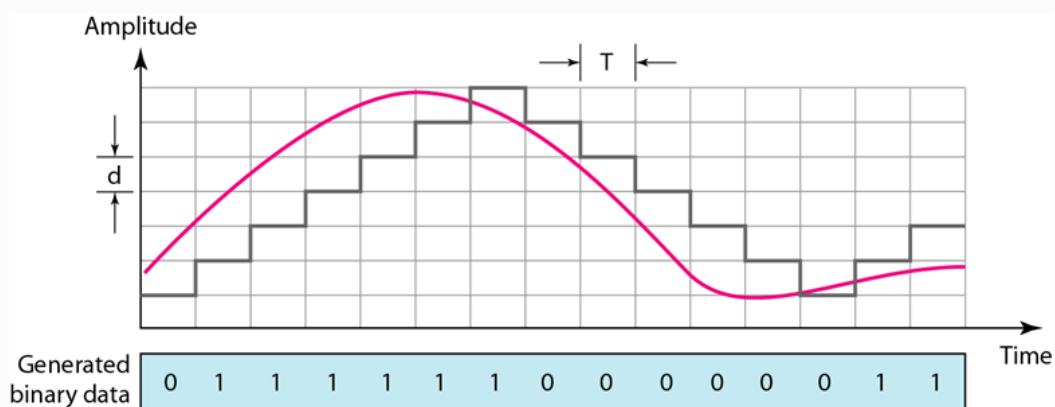
### PCM带宽

$$B_{min} = n_b + B_{analog}$$

数字信号的最小带宽是模拟信号带宽的 $n_b$ 倍

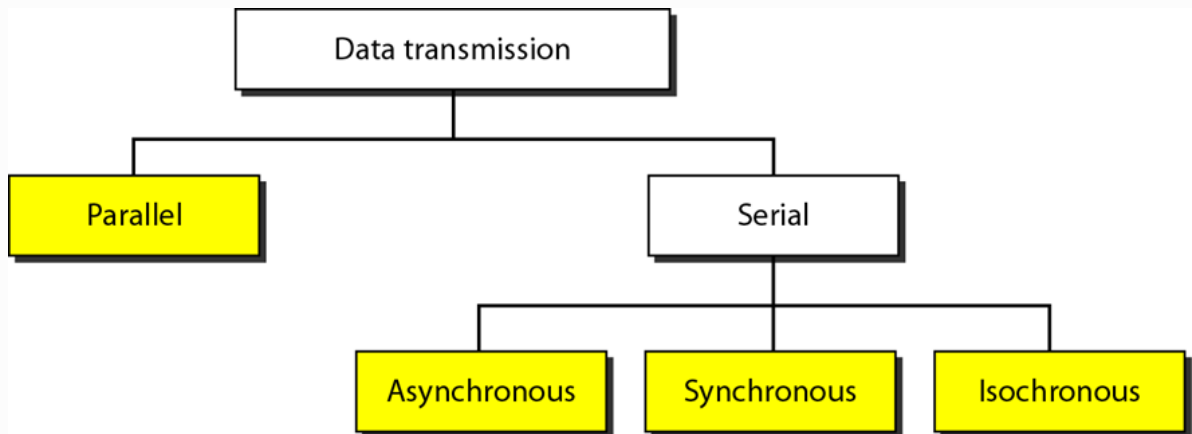
## Delta调制

- PCM得到每个样本的信号振幅值，DM 从前一个样本中得到变化。



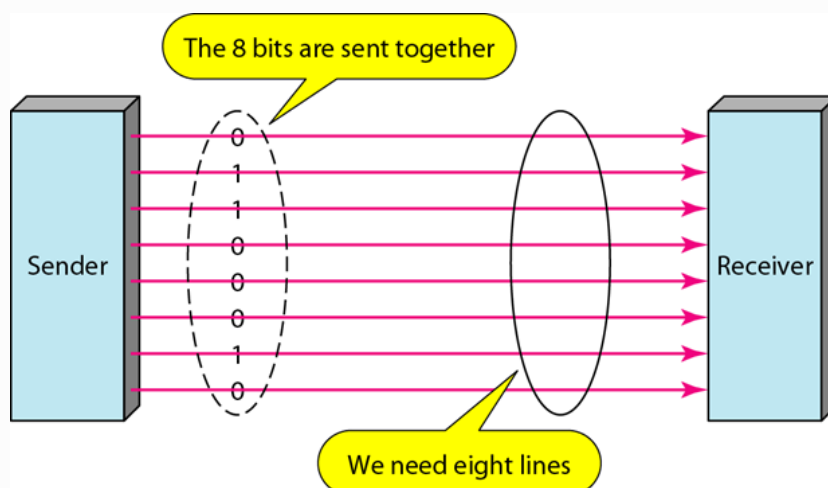
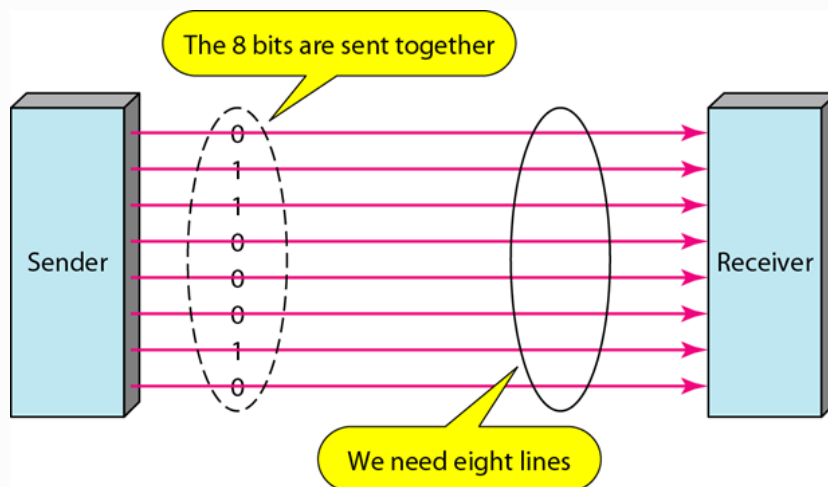
## 六. 传输模式

异步传输、同步传输、并行传输、串行传输的概念



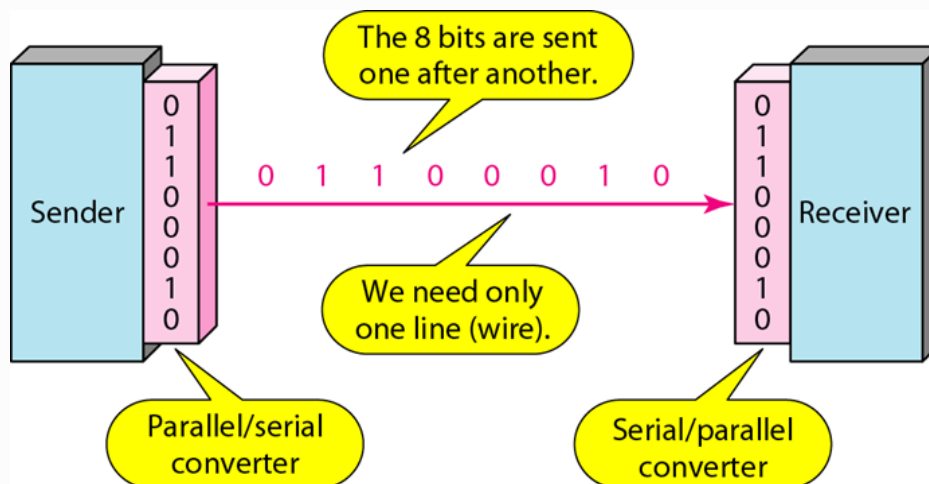
### 并行传输

- 每次使用n条线路传送n位
- 并行传输的优点是速度
- 缺点是成本高，需要n条线路



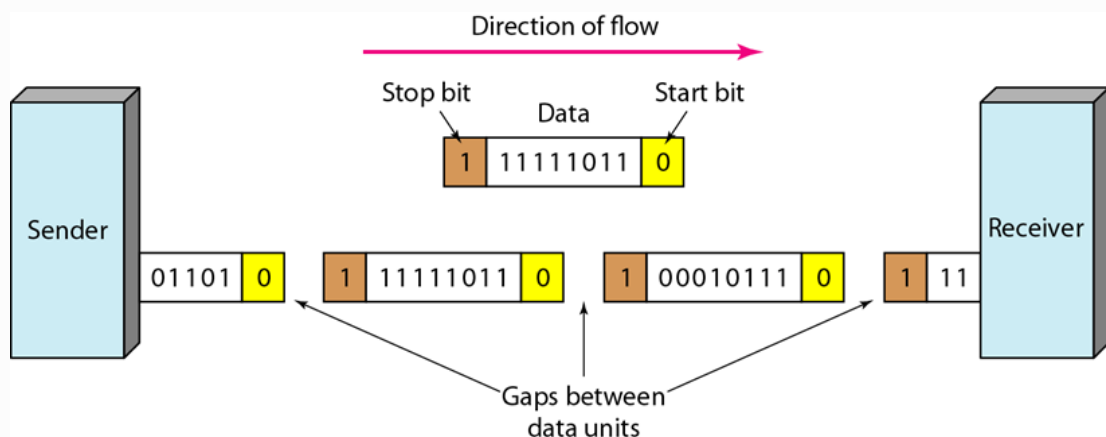
## 串行传输

- 位是一个一个依次传输的。
- 串行传输的成本大约只是并行传输的 $1/n$ 。
- 两个通信设备之间只需要一条通道
- 串行传输可以使用三种方式之一：异步、同步和等时。



## 异步传输

- 在传输中信号的时序并不重要，信息的接收和转换通过约定的模式进行。
- 约定模式基于将位流组成字节的方式建立，作为一个单位沿着链路传输
- 因为没有同步时钟，所以增加：
  - 起始位：在每一个字节的开始处增加一个位（通常是0）。通知接收方有一个新的组到达。
  - 停止位：在字节的结束位置会增加一个或者多个位（通常是1）。为了让接收方知道字节已经结束。
- 在异步传输过程中，需要在每个字节开始时发送1个起始位，结束时发送1个或者多个停止位。在每个字节之间会有一个时间间隔。
- 异步在这里是指在字节级上的异步，但是每位仍然要同步，它们的持续时间是相同的。



## 同步传输

- 数据以一种不间断的1和0位串进行传输，接收方将位流分割成重构信息所需的一个个字节。
- 在同步传输模式中，依次发送位流而不含起始位、停止位和间隙。接收方负责将位进行分组。
- 同步传输的优点是速度快
- 同步传输通常多用于传输大块二进制数据

