

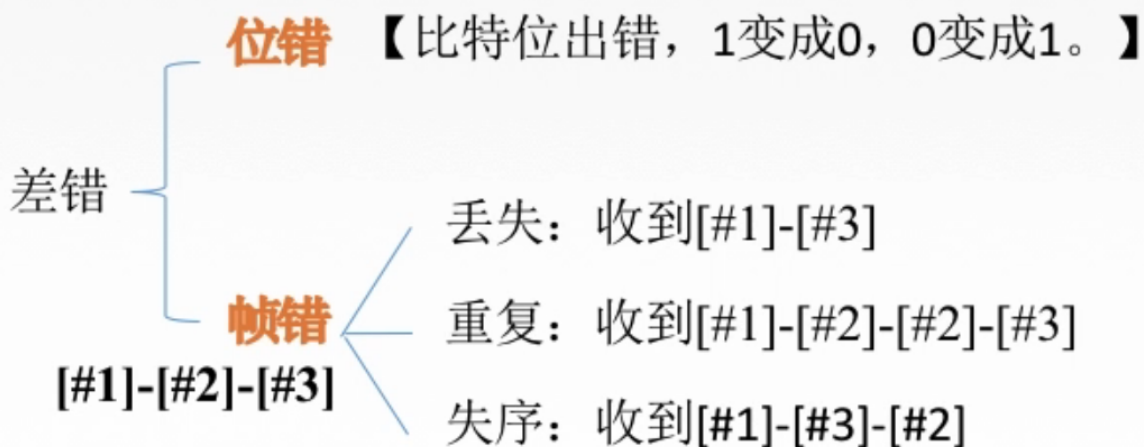


## 3.3 差错控制

Property

### 检错编码

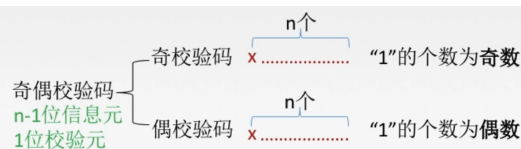
error caused by noise （全局性【hardware】，局部性【编码技术来解决】）



数据链路层主要强调【比特错】

- 检错编码

- 1. 奇偶校验码



如果一个字符S的ASCII编码从低到高依次为1100101，采用奇校验，在下述收到的传输后字符中，哪种错误不能检测？

- a. A. 11000011 B. 11001010 C. 11001100 D. 11010011

- b. 奇校验码：就是加上一个bit使得data的“1”个数是一个奇数
- c. 偶校验码：就是加上一个bit使得data的“1”个数是一个偶数
- d. 只能检查data发生奇数个bit错误的，检错能力50%

## 2. 循环冗余码CRC

- a. data / 生成多项式 = result ... 冗余码
- b. 冗余码+data, 传输
- c. 判断传输后 / 生成多项式 = new result ... 0?true:false
- d. 1101 0110 11 1110

例：要发送的数据是1101 0110 11，采用CRC校验，生成多项式是10011，那么最终发送的数据应该是？

**最终发送的数据：**  
**要发送的数据+帧检验序列FCS**

计算冗余码：

- (1) 加0 假设生成多项式G(x)的阶为r，则加r个0。
- (2) 模2除法 数据加0后除以多项式，余数为冗余码/FCS/CRC检验码的比特序列。

10011表示成多项式为  $X^4 + X^3 + X^1 + X^0$   
 $= X^4 + X^3 + 1$   
 阶为4

异或：同0异1

1 0 0 1 1

```

      1100 00 1
10011 1101 0110 11 0000
      1001 1
      ---
      100 11
      100 11
      ---
      000 0010 11 0
        10 01 1
        ---
        10 100
        10 011
        ---
        1110 余数—FCS
  
```

- e. 不是可靠传输！因为有差错的frame被丢弃！表述为“凡事接收端接受的frame都以非常接近于1的概率认为没有差错”

## 纠错编码

- 海明码（可以发现双bit错，只能纠正单bit错）

### 1. 确定校验码位数r

**海明不等式**

$$2^r \geq k+r+1$$

r为冗余信息位，k为信息位

**要发送的数据：D=101101**

数据的位数k=6，  
 满足不等式的最小r为4，  
 也就是D=101101的海明码应该有6+4=10位，  
 其中原数据6位，效验码4位。

## 2. 确定校验码和data的位置

**D=101101**

二进制	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010
数据位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
代码	$P_1$	$P_2$	$D_1$	$P_3$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$P_4$	$D_5$	$D_6$
实际值	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1

令所有要校验的位异或=0。

$$P_1 \oplus D_1 \oplus D_2 \oplus D_4 \oplus D_5 = 0 \Rightarrow P_1 = 0$$

$$P_2 \oplus D_1 \oplus D_3 \oplus D_4 \oplus D_6 = 0 \Rightarrow P_2 = 0$$

$$P_3 \oplus D_2 \oplus D_3 \oplus D_4 = 0 \Rightarrow P_3 = 0$$

$$P_4 \oplus D_5 \oplus D_6 = 0 \Rightarrow P_4 = 1$$

故101101的海明码为0010011101。

check code can only be at 2's 幂次位置

## 3. 检错纠错

**D=101101**

数据位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
代码	$P_1$	$P_2$	$D_1$	$P_3$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$P_4$	$D_5$	$D_6$
实际值	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1

故101101的海明码为0010011101。

假设第五位出错，因此接收到的数据位0010111101。

令所有要校验的位异或运算。

$$P_1 \oplus D_1 \oplus D_2 \oplus D_4 \oplus D_5 = 1$$

$$P_2 \oplus D_1 \oplus D_3 \oplus D_4 \oplus D_6 = 0$$

$$P_3 \oplus D_2 \oplus D_3 \oplus D_4 = 1$$

$$P_4 \oplus D_5 \oplus D_6 = 0$$

0101 → 5

二进制序列为0101，恰好对应十进制5，这样就找到了出错的位置，即出错位是第5位。