



哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



计算机网络之探赜索隐

主讲人：李全龙

本讲主题

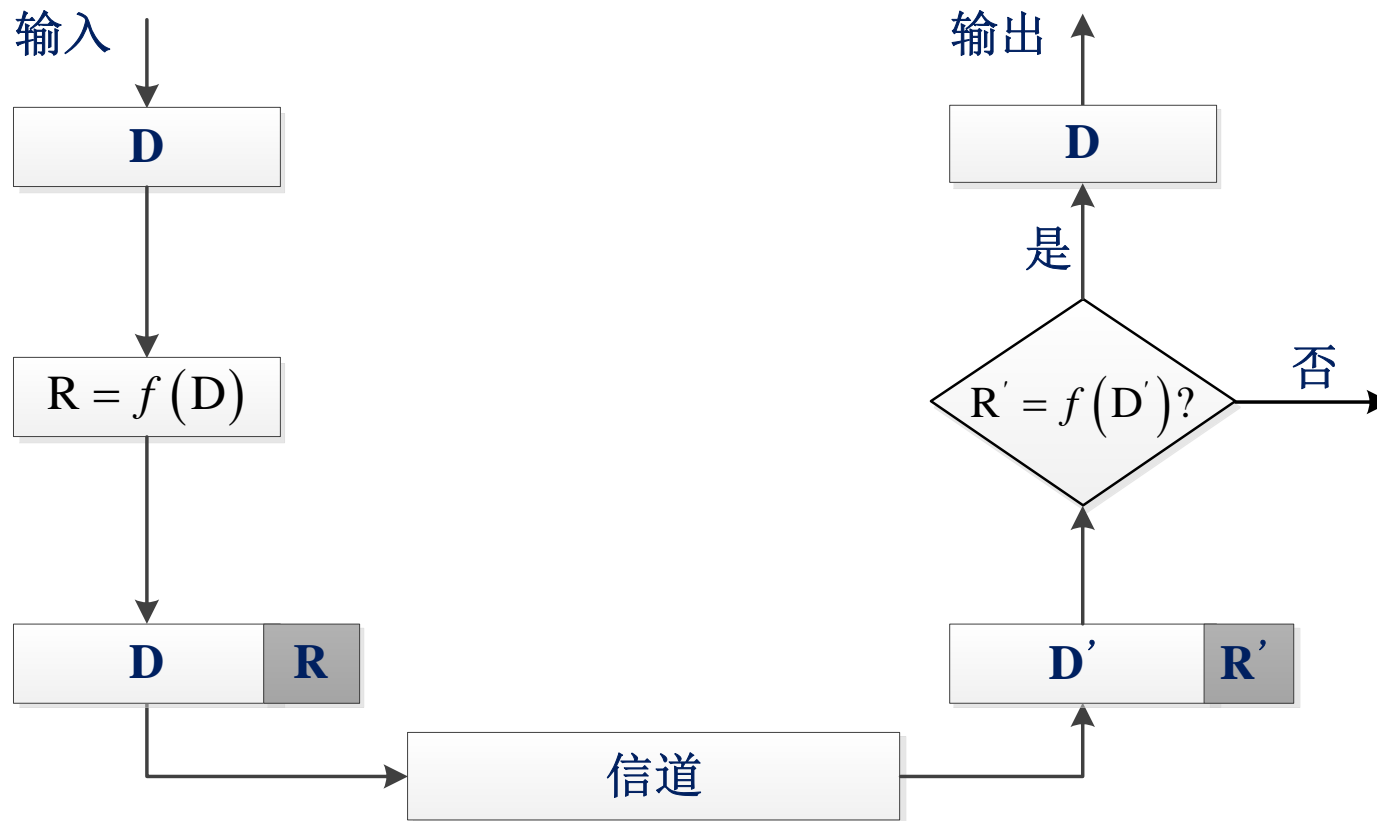
差错编码



差错检测：差错编码

差错编码基本原理：

$D \rightarrow DR$ ，其中R为差错检测与纠正比特（冗余比特）

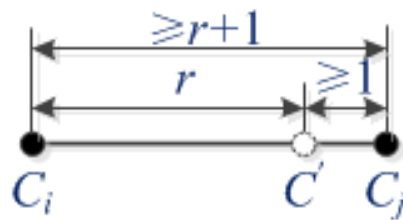


差错编码不能保证100%可靠！

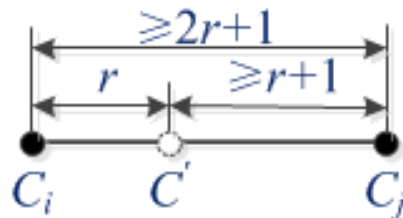


差错编码的检错能力

- ❖ 差错编码可分为检错码与纠错码
- ❖ 对于检错码，如果编码集的汉明距离 $d_s=r+1$ ，则该差错编码可以检测 r 位的差错



- 例如，编码集 $\{00\underline{00}, 01\underline{01}, 10\underline{10}, 11\underline{11}\}$ 的汉明距离 $d_s=2$ ，可以 100% 检测 1 比特差错
- ❖ 对于纠错码，如果编码集的汉明距离 $d_s=2r+1$ ，则该差错编码可以纠正 r 位的差错

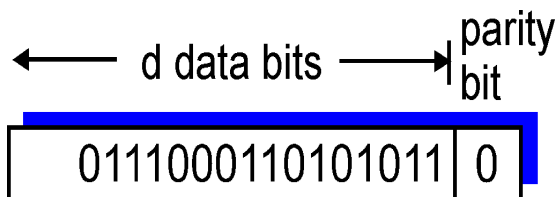


- 例如，编码集 $\{00\underline{0000}, 01\underline{0101}, 10\underline{1010}, 11\underline{1111}\}$ 的汉明距离 $d_s=3$ ，可以纠正 1 比特差错，如 100010 纠正为 101010。

奇偶校验码

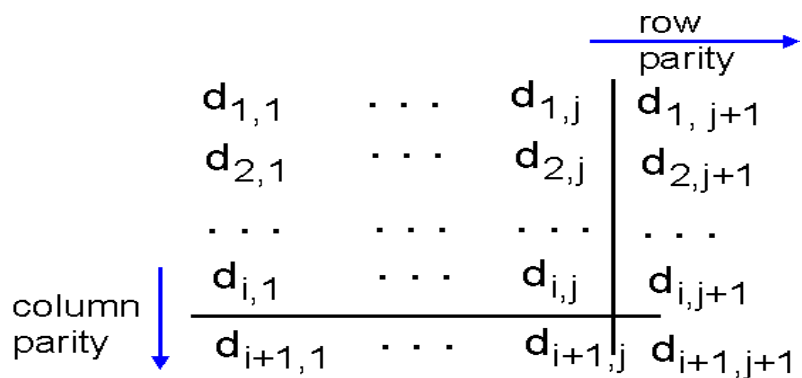
1 比特校验位:

- ❖ 检测奇数位差错



二维奇偶校验:

- ❖ 检测奇数位差错、部分偶数位差错
- ❖ 纠正同一行/列的奇数位错



1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

no errors

1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

parity error

*correctable
single bit error*



Internet校验和(Checksum)

发送端:

- ❖ 将“数据”(校验内容)划分为16位的二进制“整数”序列
- ❖ 求和(sum): 补码求和(最高位进位的“1”, 返回最低位继续加)
- ❖ 校验和(Checksum): sum的反码
- ❖ 放入分组(UDP、TCP、IP)的校验和字段

接收端:

- ❖ 与发送端相同算法计算
- ❖ 计算得到的"checksum":
 - 为16位全0(或sum为16位全1): 无错
 - 否则: 有错



循环冗余校验码(CRC)

- ❖ 检错能力更强大的差错编码
- ❖ 将数据比特, D , 视为一个二进制数
- ❖ 选择一个 $r+1$ 位的比特模式 (生成比特模式), G
- ❖ 目标: 选择 r 位的CRC比特, R , 满足
 - $\langle D, R \rangle$ 刚好可以被 G 整除(模2)
 - 接收端检错: 利用 G 除 $\langle D, R \rangle$, 余式全0, 无错; 否则, 有错!
 - 可以检测所有突发长度小于 $r+1$ 位差错。
- ❖ 广泛应用于实际网络 (以太网, 802.11 WiFi, ATM)



CRC举例

期望:

$$D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$$

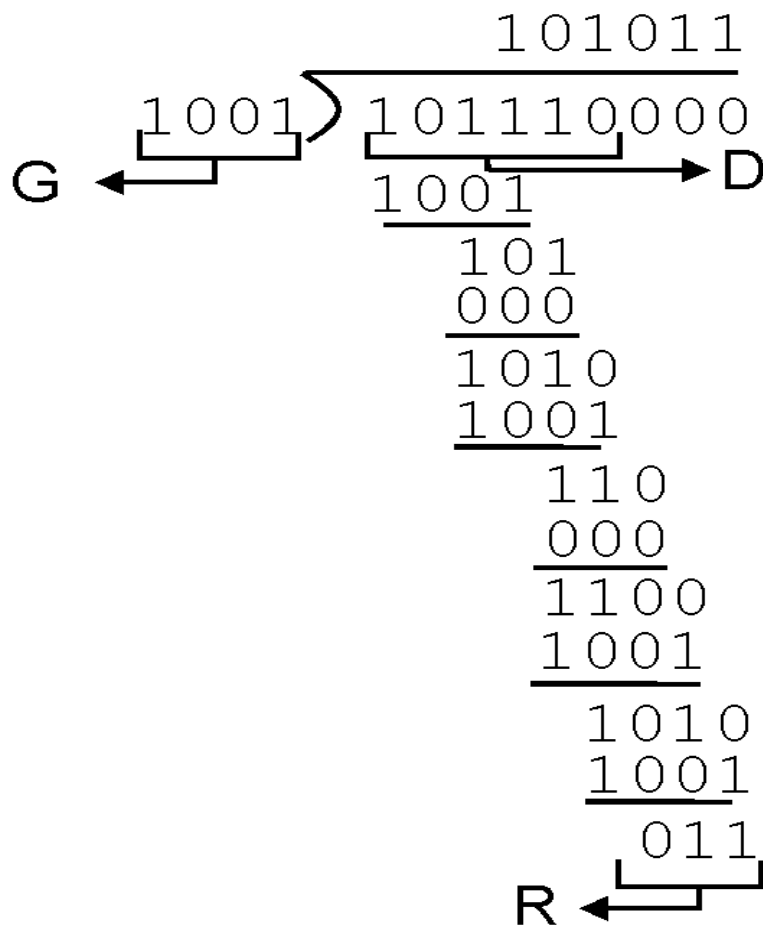
相当于:

$$D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$$

相当于:

如果利用G去除 $D \cdot 2^r$, 则
余式即为R:

$$R = \text{余式} \left[\frac{D \cdot 2^r}{G} \right]$$





哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY



立足航天，服务国防，面向国民经济主战场

谢谢!