



第三章 数据链路层

第2讲 错误检测和纠正

东南大学仪器科学与工程学院

主讲：陈熙源





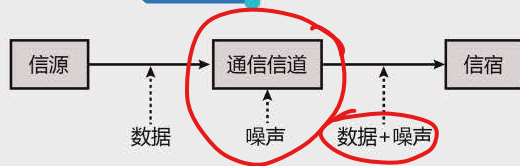
错误检测

- ① 在传输过程中可能会产生比特差错：1可能会变成0而0也可能变成1
- ② 在一段时间内，传输错误的比特占所传输比特总数的比率称为误码率BER (Bit Error Rate)
- ③ 误码率与信噪比有很大的关系
- ④ 为了保证数据传输的可靠性，在计算机网络传输数据时，必须采用各种**错误检测措施**

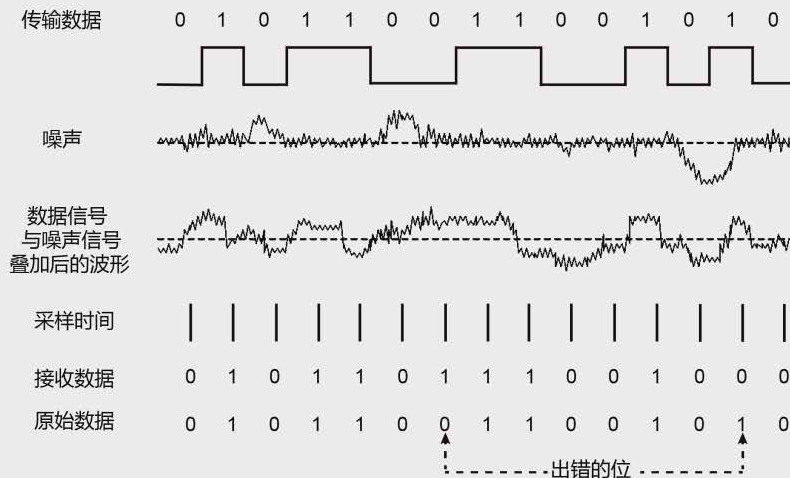




错误出现



(a) 数据通过通信信道的过程

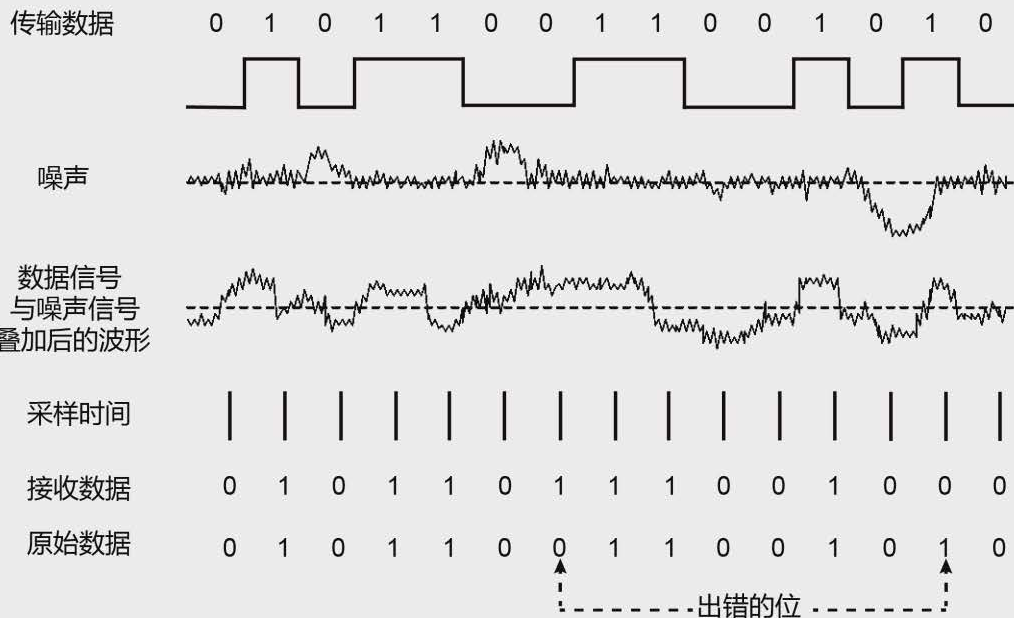


(b) 数据传输过程中噪声的影响





错误出现



(b) 数据传输过程中噪声的影响





奇偶校验码

- ▶ **定义**：它是一种通过增加冗余位使得码字中“1”的个数为奇数或偶数的编码方法，它是一种检错码。
- ▶ **奇性**：一个二进制码字，如果它的码元有奇数个1，就称之为具有奇性。
- ▶ **注**：单个的奇偶检验码仅能检出奇数个码元的错误。仅当出现错误的概率和错误的危害足够大时，才采用奇偶校验码，在实际应用中，按码字的形成方向可以分为垂直奇偶校验、水平奇偶校验和垂直水平奇偶校验三种奇偶校验方式。

偶数个0→1/1→0时测不出来！





垂直奇偶校验



垂直奇偶校验(纵向奇偶校验)：能检测出每列中所有奇数个错，但检测不出偶数个错。

垂直奇偶校验方式→

位\数字		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1		0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
C2		0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
C3		0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
C4		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
C5		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C6		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C7		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
偶	C0	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0									
奇		1 0 0 1 0 1 1 0 0 1									

补1奇化

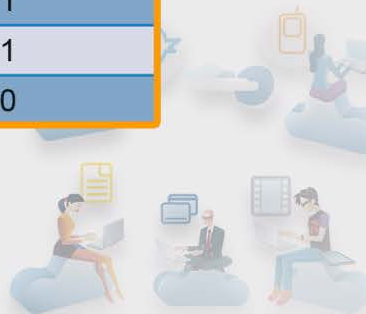


水平奇偶校验

▶ **水平奇偶校验(横向奇偶校验)**：其漏检率要比垂直奇偶校验方法低，但实际水平奇偶校验时，一定要用数据缓冲器。

水平奇偶校验方式→

位\数字	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	偶校验
C1	0 1 0 1 0 1 0 1 0 1	1
C2	0 0 1 1 0 0 1 1 0 0	0
C3	0 0 0 0 1 1 1 1 0 0	0
C4	0 0 0 0 0 0 0 0 1 1	0
C5	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1
C6	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1
C7	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0





水平垂直校验

▶ **水平垂直校验LRC(报文检验、方块检验)**：这种方法是在奇偶校验的基础上，为了提高奇偶校验码对突发错误的检测能力，将若干奇偶校验码排成若干行，然后对每列进行奇偶检验，放在最后一行。

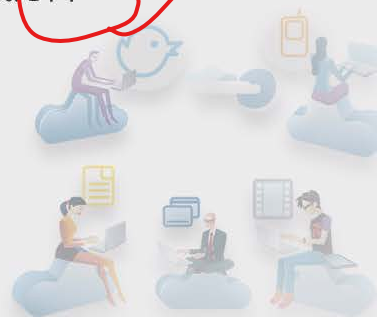
水平垂直
奇偶校验方式 →

字符编码 (7 位)							
1	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	1
1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	1
1	1	0	0	0	1	1	0
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
0	0	0	0	1	1	0	0

奇偶位

形成检验字符

若干字符组成一数据块，
形成方阵





奇偶校验方法优缺点：

使用简单，但检错能力差，一般只用于通信要求较低的环境。





循环冗余检验

在数据链路层传送的帧中，广泛使用了循环冗余检验（CRC）的检测技术。

▶ **优点**：检错能力强且易实现。

▶ **过程**：在发送端，先把数据划分为组。假定每组K个比特，假设待传送的一组数据 $M=101001$ （现在 $K=6$ ）。我们在M的后面再添加供差错检测用的n位冗余码一起发送。





冗余码的计算

- ① 用二进制的**模2运算**进行 2^n 乘M的运算，这相当于在M后面添加n个0
- ② 得到的 $(k+n)$ 位的数除以事先选定好的长度为 $(n+1)$ 位的**除数P**，得出商是Q而余数是R，**余数R**比除数P少一位，即R是n位。





冗余码的计算举例

- 现在 $k=6$, $M=101001$
- 设 $n=3$, 除数 $P=1101$ 事先选好
- 被除数是 $2^n M = 101001000$ (k+n) (m+1)
- 模2运算的结果：商 $Q=110101$ $= M/P$
余数 $R=001$

把余数R作为冗余码添加在数据M的后面发送出去。

发送的数据是 $2^n M + R$, 即：101001001 , 共 $(k+n)$ 位。





循环冗余检验的原理说明

$$\begin{array}{r} 110101 \leftarrow Q \text{ (商)} \\ P \text{ (除数)} \rightarrow 1101 \overline{) 101001000} \leftarrow 2^n M \text{ (被除数)} \\ \underline{1101} \\ 1110 \\ \underline{1101} \\ 0111 \\ \underline{0000} \\ 1110 \\ \underline{1101} \\ 0110 \\ \underline{0000} \\ 1100 \\ \underline{1101} \\ 001 \leftarrow R \text{ (除数)}, \text{ 作为FCS} \end{array}$$





帧检验序列FCS

▶ **定义**：在数据后面添加上的冗余码称为**帧检验序列FCS**
(Frame Check Sequence)

▶ **注意**：循环冗余检验CRC和帧检验序列FCS并不等同

CRC和FCS的区别

CRC

常用的检错方法，可以用来得出FCS。

FCS

添加在数据后面的冗余码，并不是由CRC唯一获得。

CRC \rightarrow FCS





错误检测——每一帧都由接收端进行CRC检验

▶ 结果判定：

- ① 若得出的余数 $R=0$ ，则判定这个帧没有差错，就**接收**这个帧。
- ② 若得出的余数 $R \neq 0$ ，则判定这个帧有差错，就**舍弃**这个帧。

只要经过严格挑选，并使用位数足够多的除数P，可以使得检测不到的差错的概率很小。

▶ 方法缺陷：不能确定是哪一个或者哪几个比特出现了差错。





补充说明

单单使用循环冗余检验CRC这种检测技术只能做到无差错接受这个帧。

▶ **无差错接受**的概念：凡是没有丢弃而接受了帧，都能以非常接近于1的概率认为这些帧在传输过程中没有产生差错。

要做到真正意义上的**可靠传输**，必须还要加上**确认**和**重传**机制。





作业



检测错误的一种方法是按 n 行，每行 k 位来传输数据，并且在每行和每列加上奇偶位。其中右下角是一个检查它所在行和所在列的奇偶位。**这种方法能够检测出所有的单个错吗？2位错误呢？3位错误呢？**

