

# 第5章 信道编码(差错控制编码)

5.1 概 述

5.2 常用检错码

5.3 线性分组码

5.4 卷 积 码

5.5 网格编码(TCM)

# 5.1 概 述

5.1.1 差错控制的方式

5.1.2 差错控制编码的分类

5.1.3 差错控制编码基本原理

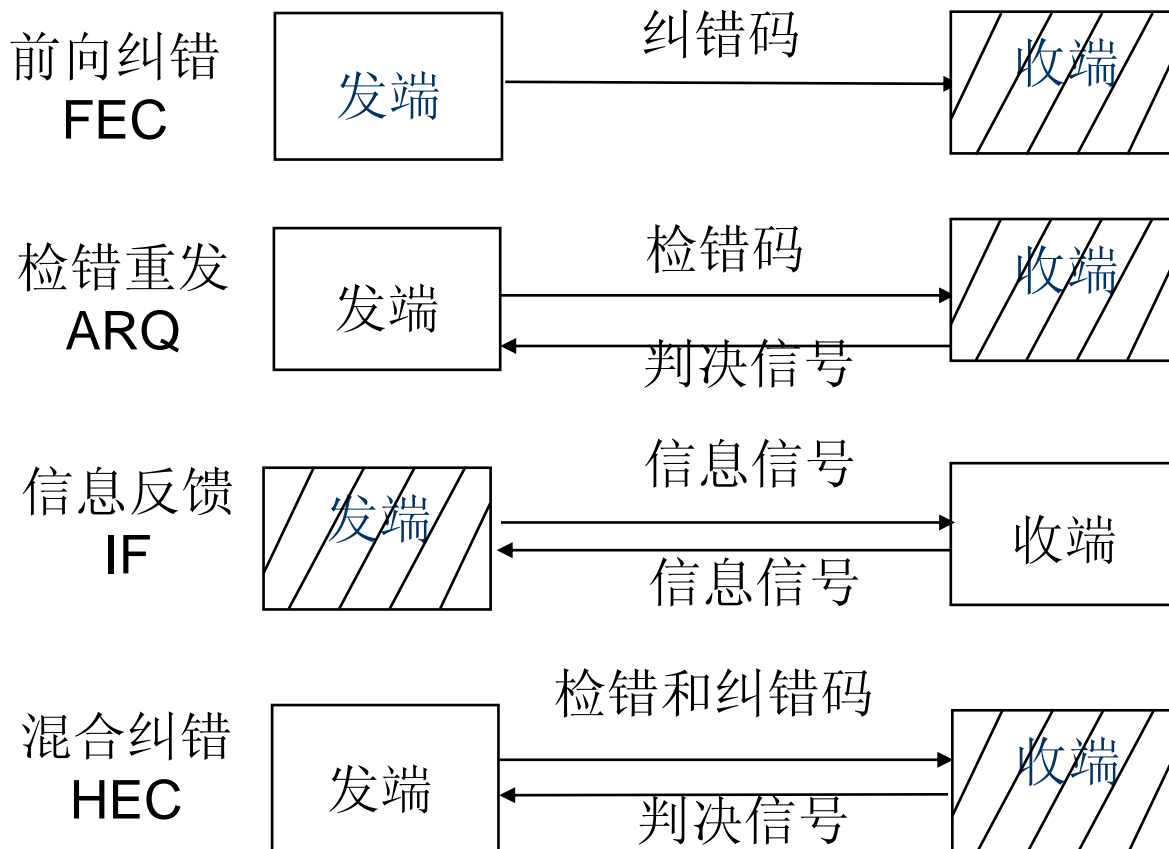
5.1.4 香农有扰信道编码定理

## 5.1.1 差错控制的方式

### 图5.1 差错控制的基本工作方式

- 前向纠错记作FEC，又叫自动纠错。
- 检错重发记作ARQ，又叫反馈重发或判决反馈。
- 信息反馈记作IF，又称反馈检验。
- 混合纠错记作HEC，是FEC与ARQ的混合。

# 图5.1 差错控制的基本工作方式



## 5.1.2 差错控制编码的分类

- 根据纠错码各码组信息元和监督元的函数关系，可分为线性码和非线性码。
- 根据上述关系涉及的范围，可分为分组码和卷积码。
- 根据码的用途，可分为检错码和纠错码。
- 根据纠错码码组中信息元是否隐蔽，可分为系统码和非系统码。

## 5.1.3 差错控制编码基本原理

1. 分组码
2. 检错和纠错能力
3. 编码效率

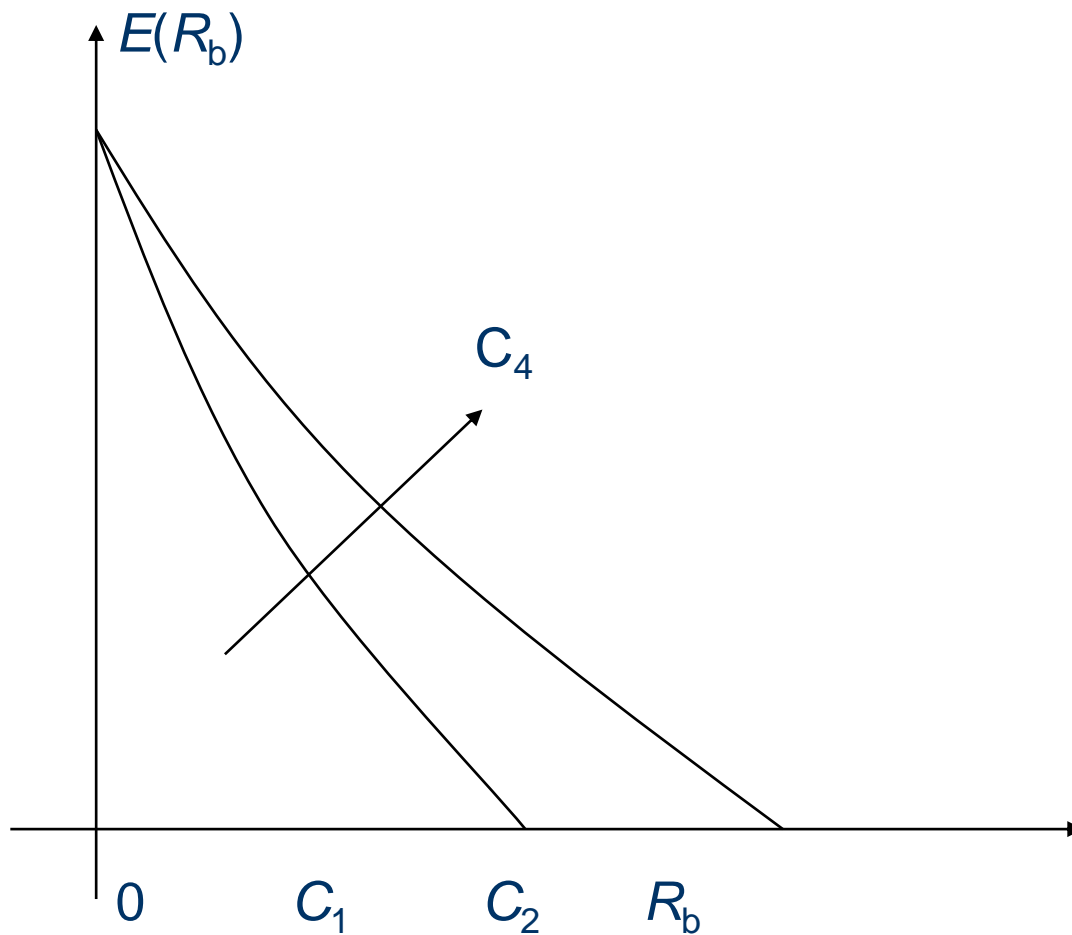
## 5.1.4 香农有扰信道编码定理

香农有扰信道下的编码定理指出：每个信道都有一定的信道容量 $C$ ，对于给定的数据传输速率 $R_b$  ( $R_b < C$ )及码长 $n$ ，存在一种编、译码方法，使得编码错误概率 $P$ 满足下式：

$$P \leq A e^{-nE(R_b)}$$

其中 $A$ 为一系数，它随 $n$ 、 $R_b$ 、 $C$ 变化很慢； $R_b$ 为编译器的输入二进制码元速率； $E(R_b)$ 称为误差指数，它与 $R_b$ 和 $C$ 的关系如图5.2所示。

## 图5.2 误差指数曲线





## 5.2 常用检错码

5.2.1 奇偶监督码

5.2.2 行列监督码

5.2.3 恒比码

## 5.2.1 奇偶监督码

奇偶监督码是在原信息码后面附加一个监督元，使得码组中“1”的个数是奇数或偶数，或者说，它是含一个监督元、码重为奇数或偶数的 $(n, n-1)$ 系统分组码。奇偶监督码又分为奇监督码和偶监督码。

## 5.2.2 行列监督码

行列监督码又称水平垂直一致监督码或二维奇偶监督码或矩阵码。它不仅对水平(行)方向的码元,而且对垂直(列)方向的码元实施奇偶监督。一般 $L \times m$ 个信息元,附加 $L+m+1$ 个监督元;由 $L+1$ 行, $m+1$ 列组成一个 $(Lm+L+m+1, Lm)$ 行列监督码的码字。图5.3是(66, 50)行列监督码的一个码字( $L=5, m=10$ ),它的各行和列对1的数目都实行偶数监督。可以逐行传输,也可以逐列传输。译码时分别检查各行、各列的监督关系,判断是否有错。

## 图5.3 (66, 50)行列监督码

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

## 5.2.3 恒比码

码字中1的数目与0的数目保持恒定比例的码称为恒比码。由于恒比码中，每个码组均含有相同数目的1和0，因此恒比码又称等重码，定1码。这种码在检测时，只要计算接收码元中1的数目是否正确，就知道有无错误。

表5.1 3：2恒比码

## 表5.1 3 : 2恒比码

数 字	码 字
0	0 1 1 0 1
1	0 1 0 1 1
2	1 1 0 0 1
3	1 0 1 1 0
4	1 1 0 1 0
5	0 0 1 1 1
6	1 0 1 0 1
7	1 1 1 0 0
8	0 1 1 1 0
9	1 0 0 1 1

## 5.3 线性分组码

5.3.1 汉明码

5.3.2 循环码

## 5.3.1 汉明码

### 1. 基本概念

表5.2 (7, 4)码的码字表

### 2. 监督矩阵H和生成矩阵G

### 3. 伴随式(校正子) $S$



# 表5.2 (7, 4)码的码字表

序号	码字		序号	码字	
	信息元	监督元		信息元	监督元
0	0 0 0 0	0 0 0	8	1 0 0 0	1 1 1
1	0 0 0 1	0 1 1	9	1 0 0 1	1 0 0
2	0 0 1 0	1 0 1	10	1 0 1 0	0 1 0
3	0 0 1 1	1 1 0	11	1 0 1 1	0 0 1
4	0 1 0 0	1 1 0	12	1 1 0 0	0 0 1
5	0 1 0 1	1 0 1	13	1 1 0 1	0 1 0
6	0 1 1 0	0 1 1	14	1 1 1 0	1 0 0
7	0 1 1 1	0 0 0	15	1 1 1 1	1 1 1

## 5.3.2 循环码

### 1. 循环码的概念

#### 表 5.4 (7, 3)循环码

### 2. 多项式的概念

### 3. 生成多项式及生成矩阵

### 4. 监督多项式及监督矩阵

### 5. 编码方法和电路

### 6. 译码方法和电路

## 表 5.4 (7, 3)循环码

序号	码字
0	0 0 0 0 0 0 0
1	0 0 1 1 1 0 1
2	0 1 0 0 1 1 1
3	0 1 1 1 0 1 0
4	1 0 0 1 1 1 0
5	1 0 1 0 0 1 1
6	1 1 0 1 0 0 1
7	1 1 1 0 1 0 0

## 5.4 卷积码

5.4.1 基本概念

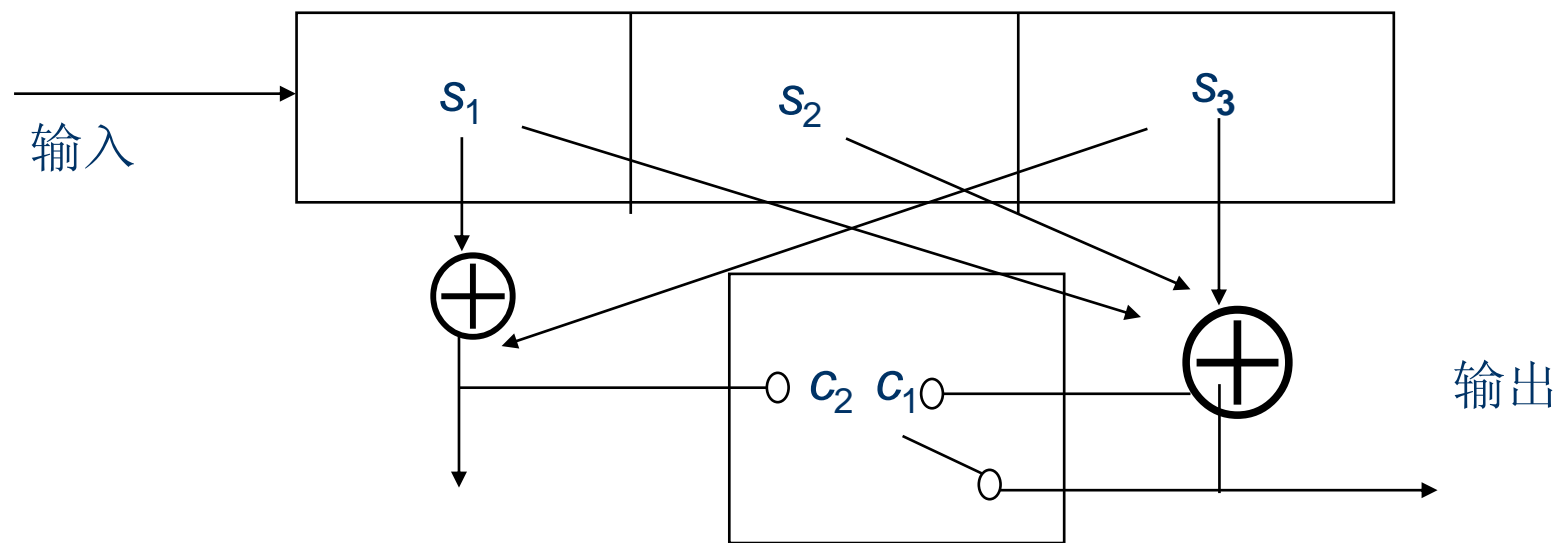
5.4.2 卷积码的译码

## 5.4.1 基本概念

卷积码又称连环码，是一种纠错能力强于分组码的纠错编码方案。它和分组码有相同的地方，但又有明显的区别。 $(n, k)$ 线性分组码中，本组 $r=n-k$ 个监督元与本组 $k$ 个信息元有关，与其他各组无关，也就是说分组码编码器本身并无记忆性。分组码为了达到一定的纠错能力和编码效率，码组长度通常都比较大，编译码时必须把整个信息码组存储起来，由此产生的延时随着 $n$ 的增加而增加。图5.7 卷积码 $(2, 1, 2)$ 的编码器

1. 树图
2. 状态图
3. 格图

# 图5.7 卷积码(2, 1, 2)的编码器



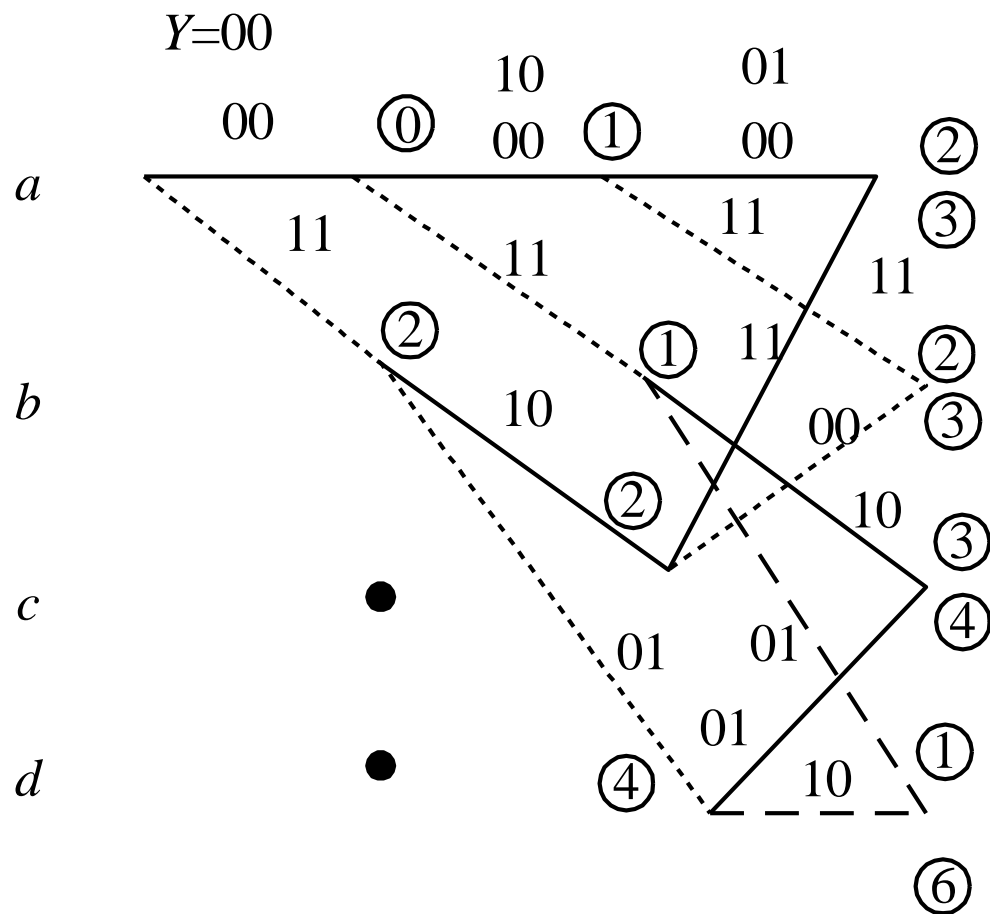
## 5.4.2 卷积码的译码

### 1. 维特比译码

维特比译码，是一种最大似然译码方法。最大似然译码算法的基本思路是，把接收码字与所有可能的码字比较，选择一种码距最小的码字作为解码输出。由于接收序列通常很长，所以维特比译码时最大似然译码做了简化，即它把接收码字分段累计处理。图5.12 维特比译码过程网格图表示

### 2. 序列译码

# 图5.12 维特比译码过程网格图表示





## 5.5 网格编码(TCM)

5.5.1 网格编码调制原理

5.5.2 网格编码调制的特点

## 5.5.1 网格编码调制原理

将编码和调制当作一个统一的整体进行综合设计，使得编码和调制级联后产生的编码信号序列具有最大的欧氏自由距离。从信号空间角度看，这种最佳调制的设计实际是对一种信号空间的最佳分割，是在不增加传码率(传输带宽)的前提下，把编码和调制统一设计，降低差错率，这就是网格编码调制的原理。

## 5.5.2 网格编码调制的特点

- (1) 信号星座图中信号点数目比无编码调制情况下对应的信号点数目要多，通常扩大一倍，这些增加的信号点数目使编码有了冗余--完成检错纠错，而不增加传码率(传输带宽)。
- (2) 采用卷积码在相继的信号点之间引入某种依赖性，因而只有某些信号点序列才是允许出现的，这些允许的信号序列可以模型化为网格结构，因而称为网格编码调制。