

目录

绪论

0.1 通信信息系统

- 1、通信系统
- 2、消息与信号
- 3、信息系统

0.2 信息

- 1、信息的定义
- 2、消息、信号与信息的关系

第 1 章 信源的熵与无失真压缩

1.1 离散信源的熵

1.1.1 离散信源及其模型

- 1、马尔科夫离散信源
- 2、马尔科夫离散信源的模型

1.1.2 离散信源的熵

- 1、熵的定义和熵的展开计算式
 - ①马尔科夫离散信源的熵
 - ②马尔科夫离散信源的熵率
 - ③ n 次扩展离散信源的熵和熵率（ $m=0$ 时）
- 2、熵的性质
 - ①熵非负
 - ②熵对信源概率 $P(X_1X_2\ldots X_n)$ 严格上凸
 - ③最大熵定理

1.2 连续信源的差熵

1.2.1 连续信源及其模型

- 1、马尔科夫连续信源
- 2、马尔科夫连续信源的模型

1.2.2 连续信源的差熵

- 1、差熵的定义和差熵的展开计算式
 - ①连续信源的熵
 - ②马尔科夫连续信源的差熵
 - ③马尔科夫连续信源的差熵率
 - ④ n 次扩展连续信源的差熵和差熵率（ $m=0$ 时）
- 2、差熵的性质
 - ①差熵不一定非负
 - ②差熵对信源概率密度函数 $p(x_1x_2\ldots x_n)$ 严格上凸
 - ③平均功率受限的最大差熵定理

1.3 无失真压缩

1.3.1 无失真压缩编码

- 1、无失真压缩编码的概念
- 2、无失真压缩编码及其模型
 - ①无失真压缩编码
 - ②无失真压缩编码的模型
- 3、无失真压缩编码的码长、平均码长和码率

1.3.2 渐进均分性

- 1、渐进均分性定理
- 2、典型序列的概率
- 3、典型序列的数量
- 1.3.3 无失真压缩编码码率区域
 - 1、离散信源无失真压缩编码定理
 - 2、无失真压缩编码的码率区域

1.4 无失真压缩编码码例

1.4.1 异前置码

- 1、不等长码的即时唯一可译问题
- 2、异前置码
 - ①异前置码的特点
 - ②异前置码的树图
 - ③异前置码的克拉夫特不等式
- 3、异前置码的渐进最优性
 - ①异前置码满足无失真压缩编码
 - ②异前置码渐进最优

1.4.2 费诺码

- 1、费诺码的特点
- 2、费诺码码表构造步骤
- 3、费诺码编码过程
- 4、费诺码译码过程

1.4.3 赫夫曼码

- 1、赫夫曼码的特点
- 2、赫夫曼码码表构造步骤
- 3、赫夫曼码编码过程
- 4、赫夫曼码译码过程

第 2 章 信道的信道容量与纠错

2.1 离散信道的信道容量

2.1.1 离散信道及其模型

- 1、 n 次扩展离散信道
- 2、 n 次扩展离散信道的模型

2.1.2 离散信道的平均互信息

- 1、平均互信息的定义和平均互信息的展开计算式
 - ① n 次扩展离散信道的噪声熵
 - ② n 次扩展离散信道的噪声熵率
 - ③ n 次扩展离散信道的平均互信息
 - ④ n 次扩展离散信道的平均互信息率
- 2、平均互信息的性质
 - ①平均互信息对称
 - ②平均互信息非负
 - ③平均互信息严格凸
 - ④最大平均互信息

2.1.3 离散信道的信道容量

- 1、信道容量的定义和信道容量的展开计算式
 - ① n 次扩展离散信道的信道容量
 - ② n 次扩展离散信道的信道容量率
- 2、 n 次扩展对称信道的信道容量
 - ①对称信道

②n 次扩展对称信道的信道容量

2.2 连续信道的信道容量

2.2.1 连续信道及其模型

- 1、n 次扩展连续信道
- 2、n 次扩展连续信道的模型

2.2.2 连续信道的平均互信息

- 1、平均互信息的定义和平均互信息的展开计算式
 - ①n 次扩展连续信道的噪声熵
 - ②n 次扩展连续信道的噪声差熵
 - ③n 次扩展连续信道的噪声差熵率
 - ④n 次扩展连续信道的平均互信息
 - ⑤n 次扩展离散信道的平均互信息率
- 2、平均互信息的性质
 - ①平均互信息对称
 - ②平均互信息非负
 - ③平均互信息严格凸
 - ④最大平均互信息

2.2.3 连续信道的信道容量

- 1、信道容量的定义和信道容量的展开计算式
 - ①n 次扩展连续信道的信道容量
 - ②n 次扩展连续信道的信道容量率
- 2、n 次扩展高斯信道的信道容量
 - ①高斯信道
 - ②n 次扩展高斯信道的信道容量
 - ③香农公式

2.3 纠错

2.3.1 纠错编码

- 1、纠错编码的概念
- 2、纠错编码及其模型
 - ①纠错编码
 - ②纠错编码的模型
- 3、纠错编码的码长和码率

2.3.2 联合渐进均分性

- 1、联合渐进均分性定理
- 2、典型序列、联合典型序列的概率和联合概率
- 3、典型序列、联合典型序列的数量

2.3.3 纠错编码码率区域

- 1、离散信道纠错编码定理
- 2、纠错编码的码率区域

2.4 纠错编码码例

2.4.1 线性分组码

- 1、线性分组码的特点
- 2、线性分组码的编译码
 - ①校验矩阵和生成矩阵
 - ②编码
 - ③译码——检错——纠错

2.4.2 汉明码

- 1、汉明码的特点

2、(7,4)汉明码的编译码

- ①编码
 - ②译码——检错——纠错
- 2.4.3 LDPC 码
- 1、LDPC 码的提出
 - 2、LDPC 规则码的特点
 - 3、LDPC 码的编译码
 - ①校验矩阵 H 的构造
 - ②编码
 - ③译码

第 3 章 信源的率失真函数与限失真压缩

3.1 离散信源的率失真函数

3.1.1 离散信源的试验信道

- 1、n 次扩展离散信源的保真度准则
 - ①n 次扩展离散信源的失真度
 - ②n 次扩展离散信源的平均失真度
 - ③n 次扩展离散信源的保真度准则
- 2、n 次扩展离散信源的试验信道

3.1.2 离散信源的率失真函数

- 1、平均互信息的定义和平均互信息的展开计算式
 - ①n 次扩展离散信源试验信道的平均互信息
 - ②n 次扩展离散信源试验信道的平均互信息率
- 2、率失真函数的定义和率失真函数的展开计算式
 - ①n 次扩展离散信源的率失真函数
 - ②n 次扩展离散信源的率失真函数率
- 3、n 次扩展等概率信源的率失真函数
 - ①n 次扩展等概率信源
 - ②n 次扩展等概率信源的率失真函数
- 4、n 次扩展二元信源的率失真函数
 - ①n 次扩展二元信源
 - ②n 次扩展二元信源的率失真函数

3.2 连续信源的率失真函数

3.2.1 连续信源的试验信道

- 1、n 次扩展连续信源的保真度准则
 - ①n 次扩展连续信源的失真度
 - ②n 次扩展连续信源的平均失真度
- 2、n 次扩展连续信源的试验信道

3.2.2 连续信源的率失真函数

- 1、平均互信息的定义和平均互信息的展开计算式
 - ①n 次扩展连续信源试验信道的平均互信息
 - ②n 次扩展连续信源试验信道的平均互信息率
- 2、率失真函数的定义和率失真函数的展开计算式
 - ①n 次扩展连续信源的率失真函数
 - ②n 次扩展连续信源的率失真函数率
- 3、n 次扩展高斯信源的率失真函数
 - ①n 次扩展高斯信源
 - ②n 次扩展高斯信源的率失真函数

3.3 限失真压缩

3.3.1 限失真压缩编码

- 1、限失真压缩编码的概念
- 2、限失真压缩编码及其模型
 - ①限失真压缩编码
 - ②限失真压缩编码的模型

3、限失真压缩编码的码长、平均码长和码率

3.3.2 保真度准则下的联合渐进均分性

- 1、保真度准则下的联合渐进均分性定理
- 2、保真度准则下典型序列、联合典型序列的概率和联合概率
- 3、保真度准则下典型序列、联合典型序列的数量

3.3.3 限失真压缩编码码率区域

- 1、离散信源限失真压缩编码定理
- 2、限失真压缩编码的码率区域

3.4 限失真压缩编码码例

3.4.1 语音编码

- 1、语音
- 2、量化
- 3、编码

3.4.2 13 折线 A 律非均匀量化编码

- 1、13 折线 A 律非均匀量化编码的特点
- 2、13 折线 A 律非均匀量化编码
- 3、13 折线 A 律非均匀量化编码的量化噪声

第 4 章 相关信源的熵和分布式无失真压缩

4.1 离散相关信源的熵

4.1.1 离散相关信源及其模型

- 1、n 次扩展离散相关信源
- 2、n 次扩展离散相关信源的模型

4.1.2 离散相关信源的熵

- 1、n 次扩展离散相关信源的熵
- 2、n 次扩展离散相关信源的熵率

4.2 连续相关信源的差熵

4.2.1 连续相关信源及其模型

- 1、n 次扩展连续相关信源
- 2、n 次扩展连续相关信源的模型

4.2.2 连续相关信源的差熵

- 1、n 次扩展连续相关信源的差熵
- 2、n 次扩展连续相关信源的差熵率

4.3 分布式无失真压缩

4.3.1 相关联合渐进均分性

- 1、相关联合渐进均分性定理
- 2、典型序列的概率
- 3、典型序列的数量

4.3.2 分布式无失真压缩编码的码率区域

- 1、离散相关信源无失真压缩编码定理
- 2、分布式无失真压缩编码的码率区域

第 5 章 多址接入信道的信道容量与分布式

纠错

5.1 离散多址接入信道的信道容量

5.1.1 离散多址接入信道及其模型

- 1、n 次扩展离散多址接入信道
- 2、n 次扩展离散多址接入信道的模型
- 5.1.2 离散多址接入信道的平均互信息
 - 1、n 次扩展离散多址接入信道的平均互信息
 - 2、n 次扩展离散多址接入信道的平均互信息率

5.1.3 离散多址接入信道的信道容量

- 1、n 次扩展离散多址接入信道的信道容量
- 2、n 次扩展离散多址接入信道的信道容量率

5.2 连续多址接入信道的信道容量

5.2.1 连续多址接入信道及其模型

- 1、n 次扩展连续多址接入信道
- 2、n 次扩展连续多址接入信道的模型
- 5.2.2 连续多址接入信道的平均互信息
 - 1、n 次扩展连续多址接入信道的平均互信息
 - 2、n 次扩展连续多址接入信道的平均互信息率

5.2.3 连续多址接入信道的信道容量

- 1、n 次扩展连续多址接入信道的信道容量
- 2、n 次扩展连续多址接入信道的信道容量率

5.3 分布式纠错

5.3.1 多址接入联合渐进均分性

- 1、多址接入联合渐进均分性定理
- 2、典型序列的概率
- 3、典型序列的数量

5.3.2 分布式纠错编码的码率区域

- 1、离散多址接入信道纠错编码定理
- 2、分布式纠错编码的码率区域

第 6 章 退化广播信道的信道容量与叠加式

纠错

6.1 离散退化广播信道的信道容量

6.1.1 离散退化广播信道及其模型

- 1、n 次扩展离散退化广播信道
- 2、n 次扩展离散退化广播信道的模型
- 6.1.2 离散退化广播信道的平均互信息
 - 1、n 次扩展离散退化广播信道的平均互信息
 - 2、n 次扩展离散退化广播信道的平均互信息率

6.1.3 离散退化广播信道的信道容量

- 1、n 次扩展离散退化广播信道的信道容量
- 2、n 次扩展离散退化广播信道的信道容量率

6.2 连续退化广播信道的信道容量

6.2.1 连续退化广播信道及其模型

- 1、n 次扩展连续退化广播信道
- 2、n 次扩展连续退化广播信道的模型
- 6.2.2 连续退化广播信道的平均互信息
 - 1、n 次扩展连续退化广播信道的平均互信息
 - 2、n 次扩展连续退化广播信道的平均互信息率
- 6.2.3 连续退化广播信道的信道容量
 - 1、n 次扩展连续退化广播信道的信道容量
 - 2、n 次扩展连续退化广播信道的信道容量率

6.3 叠加式纠错

- 6.3.1 退化广播联合渐进均分性
 - 1、退化广播联合渐进均分性定理
 - 2、典型序列的概率
 - 3、典型序列的数量
- 6.3.2 叠加式纠错编码的码率区域
 - 1、离散退化广播信道纠错编码定理
 - 2、叠加式纠错编码的码率区域

证明

$\ln x \leq x - 1$
渐进均分性

计算

马尔科夫信源熵（离散）

- 1、求平稳分布
- 2、在平稳分布下计算熵，再加起来

平均互信息（离散、连续）

离散：
 $I(X; Y) = H(X) - H(X|Y) = H(Y) - H(Y|X) = H(X) + H(Y) - H(X, Y)$

连续：
 $I(X; Y) = \iint p(x, y) \log_2 \frac{p(x, y)}{p(x)p(y)} dx dy$

加性高斯白噪声： $I(X; Y) = \frac{1}{2} \log_2 (1 + \frac{P}{\sigma^2})$

信道容量（对称、高斯）

对称可置换：

高斯：

$C = \log_2 M + \sum_{j=1}^M q_j \log_2 q_j$ （ q_j 为信道矩阵的行元素）

高斯：

$C = \frac{1}{2} \log_2 (1 + \frac{P}{N})$

试验信道、率失真函数（等概率、二进制、

高斯）

等概率信源：

率失真函数：

$R(D) = \log_2 N - D \log_2 (N - 1) - H(D), D_{max} = \frac{N-1}{N}$

试验信道：

$$P_D(\hat{X}|X) = \begin{bmatrix} 1-D & \frac{D}{N-1} & \cdots & \frac{D}{N-1} \\ \frac{D}{N-1} & 1-D & \cdots & \frac{D}{N-1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{D}{N-1} & \frac{D}{N-1} & \cdots & 1-D \end{bmatrix}$$

二进制信源：

率失真函数：

$R(D) = H(p) - H(D), D_{max} = p \ (p < \frac{1}{2})$

试验信道：

$$P_D(\hat{X}|X) = \begin{bmatrix} \frac{(1-D)(p-D)}{p(1-2D)} & \frac{D(1-p-D)}{p(1-2D)} \\ \frac{D(p-D)}{(1-p)(1-2D)} & \frac{(1-D)(1-p-D)}{(1-p)(1-2D)} \end{bmatrix}$$

$$(P_D(X|\hat{X}) = \begin{bmatrix} 1-D & D \\ D & 1-D \end{bmatrix})$$

高斯信源：

率失真函数：

$R(D) = \frac{1}{2} \log_2 \frac{P}{D}, D_{max} = P$

试验信道反向转移概率密度：

$p_D(X|\hat{X}) = p_D(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D}} e^{-\frac{z^2}{2D}}$

相关信源的熵（离散）

$H(X_1, X_2) = - \sum_{i=1}^{m,n} p(x_i, x_j) \log_2 p(x_i, x_j)$

多址接入信道的信道容量码率区域（特殊、

无噪、高斯）

$$\begin{cases} R_1 \leq C_{1/21} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P_1}{N} \right) \\ R_2 \leq C_{2/11} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P_2}{N} \right) \\ R_1 + R_2 \leq C_{11,21} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P_1 + P_2}{N} \right) \end{cases}$$

特殊无噪按公式算

退化广播信道（高斯）

按 ppt

编译码

费诺码、霍夫曼码（码表、编码过程）

费诺码：

- ①消息按概率降序排列
- ②分为两组，使两组概率尽可能相等
- ③给每组分配码元 0/1，概率大分 0，小分 1
- ④每组重复②③，直到不可分

霍夫曼码：

- ①消息按概率降序排列
- ②给概率最小的两条消息分配码元 0/1
- ③合并概率最小的两条消息，将其排入序列中
- ④重复①②③，直到全部合并

汉明码（74 编译，1511 编或译）

(7,4)汉明码编码（编码前消息为 x_i ，4 位）：

$$\text{校验矩阵 } H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

根据 $GH^T = 0$ 算出

$$\text{生成矩阵 } G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

则编码 $c_i = x_i G$

具体编码见 ppt

译码（接收码元序列为 r_i ，7 位）：

伴随式 $s_i = r_i H^T = e_i H^T$

如果 $s_i = 0$ ，则接收码元序列无差错。

如果 $s_i \neq 0$ ，在所有错一位的错误图案中试出来 e_i

估计码元序列 $c_i = r_i \oplus e_i$

(15,11)汉明码编码：

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

（只要 H 的后四列是单位阵，G 的后四列就是 H^T 的前 11 列）

13 折线 A 律量化编码

将一个模拟信号量化成 8 位数字信号 $A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 A_8$

1. 确定符号位： $A_1 = \begin{cases} 1, & \text{正} \\ 0, & \text{负} \end{cases}$

2. 归一化，将输入的模拟信号除以量化范围，再乘以 2048，去除小数部分

3. 将该数字用 11 位二进制表示出来 $b_{10} b_9 b_8 b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$

4. 找到 $b_{10} b_9 b_8 b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$ 中第一个“1”的位置，确定段码 $A_2 A_3 A_4$

$$A_2 A_3 A_4 = \begin{cases} 111, & 10 \\ 110, & 9 \\ 101, & 8 \\ 100, & 7 \\ 011, & 6 \\ 010, & 5 \\ 001, & 4 \\ 000, & \text{其他} \end{cases}$$

5. 确定段内码 $A_5 A_6 A_7 A_8$ ：取第一个“1”后面的 4 个 bit，若第一个“1”后边不足 4 个 bit，则取最后 4 个 bit。