

《数字通信原理》（冯穗力等编著）教辅材料

习题汇编

（修订稿）

冯穗力 余翔宇 刘梦华 周珮诗等 编

2014-7-1

《数字通信原理》习题解答修订说明

本习题是为配合《数字通信原理》第二版的修订稿，在修订稿中去除了第一版习题中有欠缺的内容，补充了部分更有针对性习题，使其能够更好的与教材的内容相适配。欢迎各位使用本教材的老师提出进一步的修改意见。

冯穗力

2014-7-1

华南理工大学

目 录

第一章 绪论	4
第二章 信号分析基础	5
第三章 模拟信号的数字编码	9
第四章 信息论基础	12
第五章 数字基带传输系统	17
第六章 数字载波调制传输系统	22
第七章 传输信道	27
第八章 差错控制编码	31
第九章 同步原理与技术	36
第十章 扩展频谱通信技术	40
第十一章 信道复用与多址技术	42

第一章 绪论

- 1.1 数字通信系统有哪些主要的功能模块，这些功能模块各起什么作用？
- 1.2 对于已调的数字信号，呈现为连续的信号波形，如何理解它传输的是一个数字信号？
- 1.3 已知一个数字传输系统的比特速率为 64kbps ，如果采用一个十六进制的系统传输这些数据，其符号速率是多少？该系统的频带利用率为多少？
- 1.4 试述数字通信的优点有哪些？为什么？
- 1.5 已知二进制信号在 3min 内共传送了 72000 个码元，（1）问其码元速率和信息速率分别是多少？（2）如果码元脉冲宽度保持不变，但改为八进制数字信号，则其码元速率和信息速率又为多少？
- 1.6 已知某八进制数字传输系统的信息速率为 3600 bit/s ，接收端在 1h 内共收到 216 个错误码元，求系统的误码率。
- 1.7 已知 A、B 两个八进制数字传输系统，他们的码元传输速率相同，在接收端相同时间 T 分钟内，A 共接收到 m 个错误码元，B 共接收到 $m+3$ 个错误比特，试比较两个系统那个性能比较好？为什么？

第二章 信号分析基础

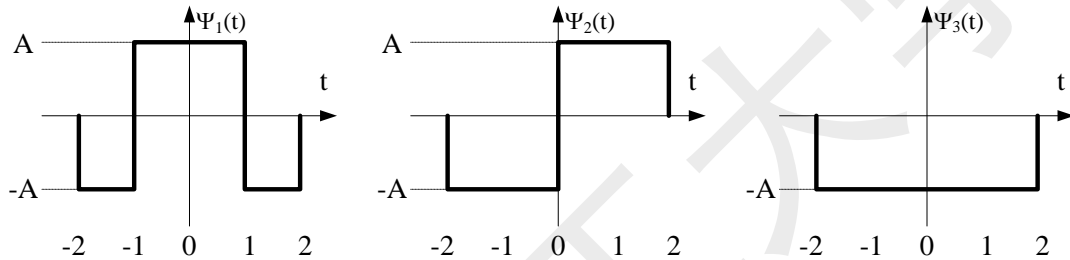
2.1 若确知信号为 $f(t) = e^{-at}u(t)$ ，试求其能量谱密度、能量和自相关函数。

2.2 (a) 试证明题图 2.2 所示的三个函数在区间 $(-2, 2)$ 上两两正交。

(b) 求 (a) 中的三个函数构成的标准正交基函数所需要的常数 A 。

(c) 用 (b) 中的标准正交基函数表示波形 $x(t)$ 。

$$x(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq 2 \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$



题图 2.2

2.3 带通信号 $s(t) = \begin{cases} A \cos 2\pi f_c t & 0 \leq t < T \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$ 通过一个冲激响应为 $h(t)$ 的线性系统，输出

为 $y(t)$ 。若 $f_c = \frac{4}{T}$ ， $h(t) = \begin{cases} 2 \cos 2\pi f_c t & 0 \leq t < T \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$ ，试求：

- (1) $s(t)$ 的复包络 $s_L(t)$ ；
- (2) $y(t)$ 的复包络 $y_L(t)$ 的复包络；
- (3) 求输出 $y(t)$ 。

2.4 证明实平稳随机过程 $X(t)$ 的自协方差函数满足如下的关系：

- (1) $\Gamma_X(\tau) = \Gamma_X(-\tau)$ ；
- (2) $\Gamma_X(\tau) = R_X(\tau) - m_X^2$ ；
- (3) $\Gamma_X(\tau) \leq \Gamma_X(0)$ 。

2.5 设 $y(t) = x_1 \cos \omega_0 t - x_2 \sin \omega_0 t$ ，是均值为 0、方差为 σ^2 ，且相互独立的高斯随机变量，试求：

- (1) $E[y(t)]$ 和 $E[y^2(t)]$ ；
- (2) $y(t)$ 的一维概率密度函数 $p(y)$ ；
- (3) 求 $y(t)$ 的相关函数与自协方差函数。

2.6 已知随机信号 $x(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi)$ ，式中 A 是均值为 μ_A 、方差为 σ_A^2 的高斯随机变量。

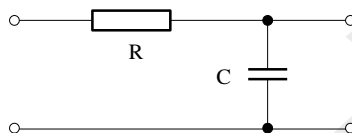
(1) 求随机信号 $x(t)$ 的均值和协方差；(2) 该随机信号是否为广义平稳的随机过程，为什么？

2.7 已知 $x(t)$ 和 $y(t)$ 是两个相互独立和零均值的平稳随机过程，它们的自相关函数分别为：

$$R_x(\tau) = e^{-\alpha|\tau|}, \quad R_y(\tau) = \beta\delta(\tau).$$

若 $z(t) = x(t) + y(t)$ ，求 $z(t)$ 的功率密度谱。

2.8 设 RC 低通滤波器如题图 2.8 所示，求当输入 $n(t)$ 为均值为 0，功率密度谱为 $N_0/2$ 的白噪声时，输出过程 $y(t)$ 的均值、功率密度谱、自相关函数和分布特性。



题图 2.8 RC 低通滤波器

2.9 双边功率密度谱为 $N_0/2$ 的白噪声经过传递函数为 $H(f)$ 的滤波器后成为 $X(t)$ ，若

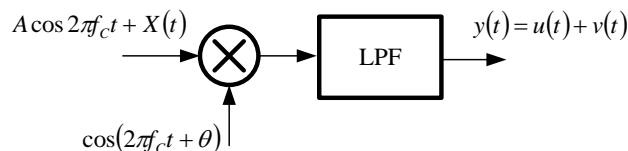
$$H(f) = \begin{cases} \frac{T_s}{2}(1 + \cos \pi f T_s) & |f| \leq \frac{1}{T_s} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

求 $X(t)$ 的功率密度谱及其功率。

2.10 设 $X(t) = X_c(t)\cos 2\pi f_c t - X_s(t)\sin 2\pi f_c t$ 为窄带高斯平稳随机过程，其均值为 0，方差为 σ_x^2 。信号 $A\cos 2\pi f_c t + X(t)$ 经过题图 2.10 所示的电路后成为 $Y(t) = u(t) + v(t)$ ，其中 $u(t)$ 是与 $A\cos 2\pi f_c t$ 对应的输出， $v(t)$ 是与 $X(t)$ 对应的输出。假设 $X_c(t)$ 和 $X_s(t)$ 的带宽等于增益为 1 的理想低通滤波器 LPF 的通频带。

(1) 若 θ 为常数，求 $u(t)$ 和 $v(t)$ 的平均功率之比；

(2) 若 θ 与 $X(t)$ 是独立的零均值的高斯随机变量，求 $u(t)$ 和 $v(t)$ 的平均功率之比。



题图 2.10

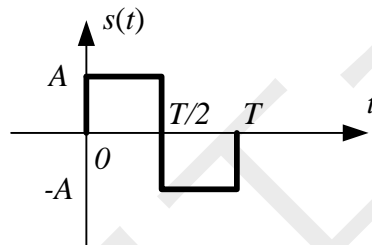
2.11 若随机过程 $z(t) = m(t)\cos(2\pi f_0 t + \varphi)$ ，其中 $m(t)$ 是广义平稳随机过程，且自相关函数 $R_m(\tau)$ 为

$$R_m(\tau) = \begin{cases} 1+\tau & -1 \leq \tau < 0 \\ 1-\tau & 0 \leq \tau < 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

φ 是在 $[0, \pi]$ 范围内服从均匀分布的随机变量，且与 $m(t)$ 彼此独立， $f_0 = 3$ 。

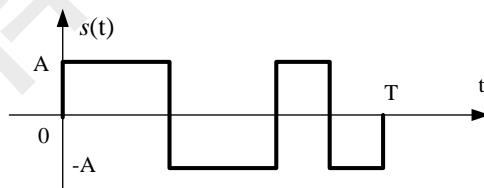
- (1) 证明 $z(t)$ 是广义平稳的；
- (2) 绘出自相关函数 $R_z(\tau)$ 的波形；
- (3) 求功率谱密度 $P_z(\omega)$ 及功率 S 。

2.12 设信道加性高斯白噪声的功率密度谱为 $N_0/2$ ，设计一个题图 2.12 所示的信号 $s(t)$ 的匹配滤波器。(1) 求匹配滤波器冲激响应的波形图；(2) 确定匹配滤波器的最大信号输出幅度；(3) 求匹配滤波器最大输出信噪比；(4) 画出信号 $s(t)$ 输入匹配滤波器时输出信号 $s_o(t)$ 的波形图。



题图 2.12

2.13 已知信号 $s(t)$ 的波形如题图 2.13 所示，加性高斯白噪声的功率密度谱为 $N_0/2$ 。(1) 求出 $s(t)$ 的匹配滤波器的冲激响应波形图；(2) 求出匹配滤波器的最大输出信噪比；(3) 求输出信噪比达到最大时，输出值的概率密度函数。

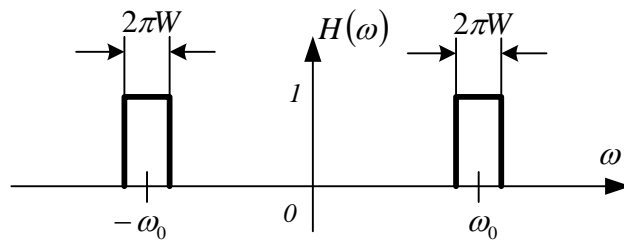


题图 2.13

2.14 已知噪声 $n(t)$ 的自相关函数 $R_n(\tau) = \frac{a}{2} e^{-a|\tau|}$ ， a 为常数。(1) 求功率谱密度 $P_n(\omega)$ 及其功率 S ；(2) 绘出 $R_n(\tau)$ 及 $P_n(\omega)$ 的图形。

2.15 将一个均值为 0，功率密度谱为 $N_0/2$ 的高斯白噪声加到一个中心角频率为 ω_0 ，带宽为 W 的如题图 2.15 所示的理想带通滤波器上。

- (1) 求滤波器输出噪声的自相关函数；
- (2) 写出输出噪声的一维概率密度函数。



题图 2.15

华南理工大学

第三章 模拟信号的数字编码

3.1 试确定能够完全重构信号 $x(t) = \frac{\sin 6280t}{6280t}$ 所需的最低采样速率。

3.2 一个带限低通信号 $x(t)$ 具有如下的频谱特性

$$X(f) = \begin{cases} 1 - |f|/200, & |f| < 200\text{Hz} \\ 0, & |f| \geq 200\text{Hz} \end{cases}$$

(1) 若抽样频率 $f_s = 300\text{Hz}$ ，画出对 $x(t)$ 进行理想抽样时，在 $|f| < 200\text{Hz}$ 范围内已抽样信号 $x_s(t)$ 的频谱；

(2) f_s 改为 400Hz 后重复小题 (1)。

3.3 已知一基带信号 $x(t) = \cos 2\pi t + 2\cos 4\pi t$ ，对其进行理想抽样。(1) 为了在接收端能不失真地从已抽样信号 $x_s(t)$ 中恢复出 $x(t)$ ，抽样间隔应如何选取？(2) 若抽样间隔取为 0.2s ，试画出已抽样信号的频谱图。

3.4 某载波电话通信系统的频率范围为 $60\sim 108\text{kHz}$ 。若对它采用低通抽样，最低抽样频率是多少？若对它采用带通抽样，最低抽样频率又是多少？

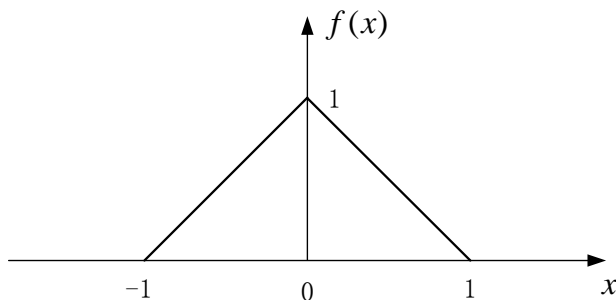
3.5 使用 256 个电平的均匀 PCM，当信号均匀分布于 $[-2, 2]$ 区间时，求量化信噪比 SNR_q 。

3.6 设模拟信号 $s(t)$ 的幅值在 $[-2, 2]$ 内均匀分布，其最高频率为 4kHz 。现对它进行奈奎斯特抽样，并经过均匀量化后编为二进制码。设量化间隔为 $1/64$ 。试求该 PCM 系统的比特速率和输出的量化信噪比。

3.7 在 CD 播放机中，抽样率为 44.1kHz ，对抽样值采用 16 比特/样本的量化器进行量化。求出持续时间为 5 分钟（约一首歌）的立体声音乐所需要的容量。

3.8 设信号 $x(t) = 9 + A\cos \omega t$ ，其中 $A \leq 10\text{V}$ 。若 $x(t)$ 被均匀量化为 41 个电平，试确定所需的二进制码组的位数 N 量化间隔 Δ 。

3.9 已知模拟信号抽样值的概率密度函数 $f(x)$ 如题图 3.9 所示。



题图 3.9

将 x 经过一个 4 电平均量化器得到输出是 $y \in \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$, 试求:

(1) 量化器输出信号的平均功率 $S_q = E[y^2]$;

(2) 量化噪声 $e = y - x$ 平均功率 $\sigma_q^2 = E[e^2]$;

(3) 量化信噪比 $\frac{S_q}{\sigma_q^2}$ 的分贝值。

3.10 设某量化器的压缩特性曲线为 $f(x) = \frac{1}{B} \ln x$, 量化器信号输入信号的动态范围为,

$(-V_p, +V_p)$, 对信号做压缩变化后均匀量化的量化阶距为 $\Delta = \frac{2V_p}{M}$, M 为量化阶数。试计

算其信噪比, 并分析其特点。

3.11 对于 μ 率的对数压缩变化, 若 $\mu = 100$, 试计算归一化的输入信号 $x(t)$, 当 $x = 0$ 和 $x = 1$ 时的放大量。

3.12 采用 13 折线 A 律编码电路, 设最小量化间隔为 1 个单位, 已知抽样脉冲值为 +635 单位。(1) 试求此时编码器输出码组, 并计算量化误差。

(2) 采用自然二进制码, 写出对应于该 7 位码的均匀量化 11 位码。

3.13 某 A 律 13 折线 PCM 编码器的输入动态范围是 $(-5, 5)V$ 。若某抽样值的幅度 $x = 1.2V$ 。

(1) 求编码器的输出码组;

- (2) 求解码器输出的量化电平值，并计算量化误差；
 (3) 写出对应于 A 律 13 折线 PCM 码组的均匀量化线性编码的码组(13 位码)。

3.14 若将一个二阶线性预测用于 DPCM:

$$\hat{x}(n) = a_1 x(n-1) + a_2 x(n-2)$$

假设信号为实平稳序列 $\{x(n)\}$ 的均值为 0，自相关函数为 $R_x(m) = E[x(n)x(n+m)]$ ，且有 $R_x(0) = 1$ ， $R_x(1) = c_1$ ， $R_x(2) = c_2$ 。试求：

- (1) 确定使预测误差最小的预测方程系数 a_1^* 和 a_2^* ；
 (2) 确定均方预测误差表达式。

3.15 设随机信号 $X(t)$ 具有如下的自相关函数 $R_x(0) = 1$ ， $R_x(1) = 0.8$ ， $R_x(2) = 0.6$ ， $R_x(3) = 0.4$ 。

- (1) 若用三个延迟单元，计算最优线性预测器的系数；
 (2) 求所得到预测误差的方差。

3.16 对一最高频率为 900Hz 的语音信号进行 ΔM 编码传输，接收端低通滤波器的截止频率为 3.4kHz。若要求系统的量化信噪比为 30dB。求该 ΔM 系统应采用的抽样频率和信息速率。

3.17 设简单增量调制器输入的正弦信号频率为 3.4kHz、幅度为 1V，若抽样频率 $f_s = 32\text{kHz}$ ，求量化间隔的范围。

3.18 信号 $x(t) = A \sin 2\pi f_0 t$ 进行简单增量调制，若量化间隔 Δ 和抽样频率 f_s 的选择既能保证不过载，又能保证不会因为信号振幅太小而使得增量调制器不能正常编码，试证明此时要求 $f_s > \pi f_0$ 。

第四章 信息论基础

4.1 某一信源以概率 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/16$ 、 $1/32$ 和 $1/32$ 产生 6 种不同的符号 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 和 x_6 ，每个符号出现是独立的，符号速率为 1000 (符号)/秒。(1) 请计算每个符号所含的信息量；(2) 求信源的熵；(3) 求单位时间内输出的平均信息量。

4.2 一个离散信号源每毫秒发出 4 种符号中的一个，各相互独立符号出现的概率分别为 0.4、0.3、0.2 和 0.1，求该信号源的平均信息量与信息速率。

4.3 设有 4 个消息符号，其出现的概率分别是 $1/8$ 、 $1/8$ 、 $1/4$ 和 $1/2$ ，各消息符号的出现是相对独立的，求该符号集的平均信息量。

4.4 计算字母集的信息熵。(1) 若把英文的 27 个字母和空格共 27 个符号，看作等概出现，求其信息熵；(2) 若英文字母和空格的概率分布如题表所示，求其信息熵。

题 4.4 表 英文字母的概率分布

字母	空格	E	T	O	A	N	I	R	S
概率	0.1956	0.1050	0.0720	0.0654	0.0630	0.0590	0.0550	0.0540	0.0520
字母	H	D	L	C	F	U	M	P	Y
概率	0.0470	0.0350	0.0290	0.0230	0.0225	0.0225	0.0210	0.0175	0.0120
字母	W	G	B	V	K	X	J	Q	Z
概率	0.0120	0.0110	0.0105	0.0080	0.0030	0.0020	0.0010	0.0010	0.0010

4.5 中文电码表采用四位阿拉伯数字作代号，假定这种数字代码出现的概率如题 4.5 表所示，如果一个报文中包含了 1 万个中文汉字，试估计该报文最多可包含多少信息量。

题 4.5 表 汉字报文中数字代码的出现概率

数字	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
概率	0.260	0.160	0.080	0.062	0.060	0.063	0.155	0.062	0.048	0.052

4.6 证明平均互信息量的互易性： $I(X;Y) = I(Y;X)$ 。

4.7 证明两离散信源的条件熵和熵之间满足如下的关系式： $I(X;Y) = H(Y) - H(Y/X)$

4.8 若 X 与 Y 统计独立, 证明 $H(Y/X) = H(Y)$ 。

4.9 证明, 一般地, 有 $H(X/Y) \geq 0$ 。

4.10 证明, 一般地, 有 $H(X/Y) \leq H(X)$ 和 $H(Y/X) \leq H(Y)$ 。

4.11 已知非对称二进制信道, 输入符号的概率场为

$$\begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ p(x_1) & p(x_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1/4 & 3/4 \end{pmatrix}$$

信道转移概率矩阵为

$$\begin{pmatrix} p(y_1/x_1) & p(y_2/x_1) \\ p(y_1/x_2) & p(y_2/x_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p(0/0) & p(1/0) \\ p(0/1) & p(1/1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 \\ 0.1 & 0.9 \end{pmatrix}$$

求: (1) 输入符号集 X 的平均信息量 $H(X)$; (2) 输出符号集 Y 的平均信息量 $H(Y)$; (3) 条件熵 $H(X/Y)$ 和 $H(Y/X)$; (4) 平均互信息量 $I(X, Y)$ 。

4.12 一个系统传输四脉冲组, 每个脉冲的宽度为 1ms , 高度分别为: 0, 1, 2 和 3 伏, 且等概出现。每四个脉冲之后紧跟一个负 1 伏的脉冲 (宽度也为 1ms), 为不带信息的同步脉冲, 试计算 (1) 信源的熵; (2) 系统传输信息的平均速率。

4.13 某数字通信系统用正弦波四个相位: 45° , 135° , 225° 和 315° , 来表示四个不同的符号以传输信息, 这四个符号是相互独立的。

(1) 若每秒钟内 45° , 135° , 225° 和 315° 出现的次数分别为 1000, 250, 250 和 500, 求此系统的符号速率和信息速率;

(2) 若每秒钟这四个相位出现的次数都为 500 个, 求此时的信息速率。

4.14 一个包含四个符号的信源, 符号间独立, 每个符号用二进制的脉冲分别编码为: 00、01、10 和 11。二进制脉冲的宽度为 5ms 。(1) 不同的符号等概出现时, 计算信源的平均信息速率; (2) 若每个符号出现的概率分别为 $P_1 = \frac{1}{5}$, $P_2 = \frac{1}{4}$, $P_3 = \frac{1}{4}$ 和 $P_4 = \frac{3}{10}$ 时, 试计算传输的平均信息速率。

4.15 假定 x 和 n 是相互独立的随机变量，它们的均值分别为 μ_x 和 μ_n ，方差分别为 σ_x^2 和 σ_n^2 ，若 $y = x + n$ ，证明其均值 $\mu_y = \mu_x + \mu_n$ ，方差 $\sigma_y^2 = \sigma_x^2 + \sigma_n^2$ 。

4.16 黑白电视图象每幅含有 640×480 个像素，每个像素有 $2^8 = 256$ 个等概出现的亮度等级，要求每秒钟传输 25 帧图象，若信道的信噪比 $\text{SNR} = 20\text{dB}$ ，求传输该图像信息所需的最小带宽。

4.17 具有 6.5MHz 带宽的某高斯信道，若信道中信号功率与噪声功率谱密度之比为 45.5MHz ，试求其信道容量。

4.18 设高斯信道带宽为 4kHz ，信号与噪声功率比为 63，试确定利用这种信道的理想通信系统的信息速率和差错率。

4.19 某一待传输图片约含有 2.25×10^6 个像元。为了很好地重现图片，需要 12 个亮度电平。假若所有的这些亮度电平等概出现，试计算用 3min 传送一张图片时所需的信道带宽（设信道中信噪比为 30dB ）。

4.20 已知彩色电视图像由 5×10^5 个像素组成。设每个像素有 64 种彩色度，每种彩色度有 16 个亮度等级。如果所有彩色度和亮度等级的组合机会均等，并统计独立。

(1) 试计算每秒传送 100 个画面所需的信道容量；

(2) 如果接收机信噪比为 30dB ，为了传送彩色图像所需信道带宽为多少（ $\log x = 3.32 \lg x$ ）？

4.21 某信源的符号集由 A、B、C、D 和 E 组成，设每一符号独立出现，其出现概率分别为 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/8$ 、 $3/16$ 、 $3/16$ ；信源以 1000Bd 速率传送信息。

(1) 求传送 1 小时的信息量；

(2) 求传送 1 小时可能达到的最大信息量。

4.22 设数字信号的每比特信号能量为 E_b ，信道噪声的双边功率谱密度为 $\frac{n_0}{2}$ ，试证明：信

道无差错传输的信噪比 $\frac{E_b}{n_0}$ 的最小值为 -1.6dB 。

4.23 一个由字母 A, B, C, D 组成的系统, 如果用二进制“0”, “1”对字母进行编码: 即 00 代替 A, 01 代替 B, 10 代替 C, 11 代替 D。设二进制符号“0”“1”的宽度各为 10ms, 试求:

(1) ①若各字母等概出现, 计算平均信息速率; ②若各字母不等概, $P(A) = 0.2$, $P(B) = 0.25$, $P(C) = 0.25$, $P(D) = 0.3$, 计算平均信息速率。

(2) ①如果用四进制脉冲“0”, “1”, “2”, “3”对字母进行编码。即“0”代替 A, “1”代替 B, “2”代替 C, “3”代替 D, 设各字母等概出现。当脉冲宽度为 10ms 时, 计算平均信息速率; ②当脉冲宽度为 20ms 时, 计算平均信息速率。

(3) 从计算结果中, 你可以得出什么结论?

4.24 若离散无记忆信源 $\{S: S_i, P(S_i), i=1, 2, \dots, L\}$ 的熵为 $H(S)$, 证明: 由 J 个该信源中的符号组合而成的扩展离散无记忆信源 $\{\bar{S}_J: \bar{S}_{J,i}, P(\bar{S}_{J,i}), i=1, 2, \dots, L^J\}$ 的熵为 $H(\bar{S}_J) = J \cdot H(S)$ 。

4.25 给定离散无记忆信源

$$\begin{array}{l} S_i: \quad S_1 \quad S_2 \quad S_3 \\ P(S_i): 0.1 \quad 0.7 \quad 0.2 \end{array}$$

(1) 对该信源进行二进制等长编码, 并计算编码效率;

(2) 对该信源进行 $J=3$ 的二进制等长编码, 并计算编码效率。

4.26 设信源有 8 种符号, 其相应的概率为

$$\begin{array}{l} S_i: \quad S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_4 \quad S_5 \quad S_6 \quad S_7 \quad S_8 \\ P(S_i): 0.40 \quad 0.18 \quad 0.10 \quad 0.10 \quad 0.07 \quad 0.06 \quad 0.05 \quad 0.04 \end{array}$$

试分析: (1) 求采用 $J=1$ 的等长二元无错编码时的编码效率; (2) 若只对典型序列编码, 要求误码率 $P_E = 10^{-4}$ $P_E = 10^{-6}$, 编码效率 $\eta = 0.9$, 求所需的编码的符号码组长度 J 。

4.27 设信源有 8 种符号, 其相应的概率为

$$\begin{array}{l} S_i: \quad S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_4 \quad S_5 \quad S_6 \quad S_7 \quad S_8 \\ P(S_i): 0.40 \quad 0.18 \quad 0.10 \quad 0.10 \quad 0.07 \quad 0.06 \quad 0.05 \quad 0.04 \end{array}$$

假定发出的符号是统计独立的, 采用二进制码元对信源发出的符号进行编码。试分析: (1) 当对信源发出的每个符号进行单独不等长编码时, 估计可获得的平均编码长度 \bar{n} (范围); (2) 试对信源发出的每个符号单独进行异字头码的不等长编码, 并计算实际得到的平均码

长、编码速率和编码效率；(3) 当对信源发出的符号每四个一组联合进行不等长编码时，估计可获得的平均编码长度 \bar{n} (范围)。

4.28 信源信源 S 的概率场为：

$$\begin{array}{l} S_i: \quad S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_4 \quad S_5 \quad S_6 \\ P(S_i): 0.4 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.1 \quad 0.05 \quad 0.05 \end{array}$$

试用码字符号集 $X: \{0,1\}$ 对信源 S 符号进行霍夫曼编码，并求平均码长。

4.29 信源 S 的概率场为：

$$\begin{array}{l} S_i: \quad S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_4 \quad S_5 \quad S_6 \quad S_7 \\ P(S_i): 0.22 \quad 0.20 \quad 0.20 \quad 0.16 \quad 0.14 \quad 0.06 \quad 0.02 \end{array}$$

试用码字符号集 $X: \{0,1,2\}$ 对信源 S 符号进行霍夫曼编码，并求平均码长。

4.30 已知信源的概率场和信道的转移概率矩阵分别为

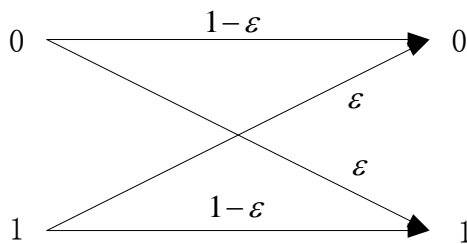
$$\left(\begin{array}{c} X \\ P(X) \end{array} : \begin{array}{ccc} x_1 & x_2 & x_3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 \end{array} \right), \quad (p(y_j/x_i)) = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.2 \\ 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 0.1 & 0.1 & 0.8 \end{pmatrix}$$

失真函数采用平方误差失真测度，失真矩阵为

$$[D] = [d_{ij} = (i-j)^2] = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 1 \\ 4 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

求其平均失真 \bar{D} 。

4.31 试证明，在汉明失真度下，题图 4.21 所示的信道是满足失真度 $\bar{D} = \varepsilon$ ($0 \leq \varepsilon \leq 1$) 的转移信道。

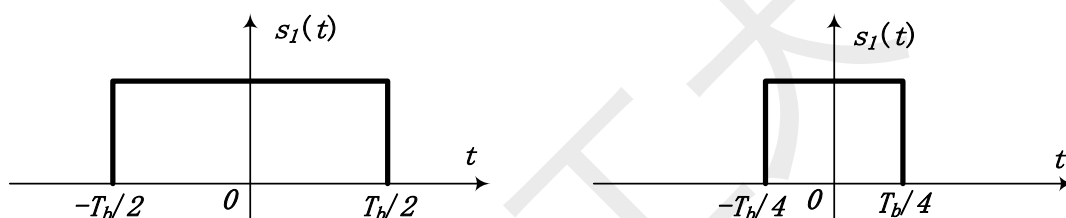


题图4.21

第五章 数字基带传输系统

5.1 已知：信息代码 1 1 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1。(1)画出单极性不归零码的波形图；(2)画出传号差分码的波形图；(3)画出交替极性码的波形图。

5.2 设独立随机二进制序列的 0, 1 分别由波形 $s_1(t)$ 及 $s_2(t)$ 表示, 1 与 0 等概出现, 比特间隔为 T_b , 如题图 5.2 所示。(1)若 $s_1(t)$ 如题图 5.2(a) 所示, 在比特间隔内, $s_2(t) = -s_1(t)$, 写出该基带信号的双边功率谱密度计算公式, 并画出双边功率谱密度图 (标上频率值); (2)若 $s_1(t)$ 如题图 5.2(b) 所示, 在比特间隔内, $s_2(t) = 0$, 请按题 (1) 要求做题。

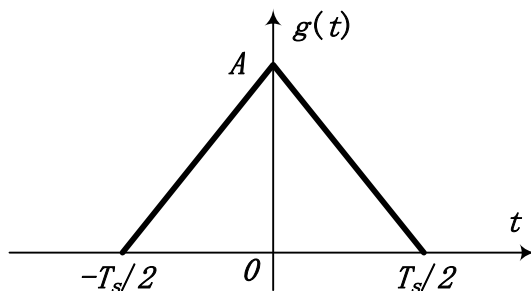


题图 5.2

5.3 假设信息比特 1、0 以独立等概方式出现, 试推导曼彻斯特码的功率谱密度计算公式。

5.4 请推导出双极性不归零码的功率谱密度计算公式。

5.5 设某二进制数字基带信号的基本脉冲为三角形脉冲, 如题图 5.5 所示。图中 T_s 为码元间隔, 数字信息“1”和“0”分别用信号 $g(t)$ 的有无表示, 且“1”和“0”出现的概率相等。求该数字基带信号的功率谱密度。



题图 5.5

5.6 请完成下列编码。

已知信息代码：1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1

- (1) AMI 码；（第一个信息代码为正脉冲）；
- (2) 画出 AMI 码波形图；
- (3) HDB3 码；（假定前一个破坏点为负脉冲，第一个信息代码为正脉冲）；
- (4) 画出 HDB3 码波形图；
- (5) 曼彻斯特码；
- (6) 画出曼彻斯特码波形图；
- (7) 差分曼彻斯特码；
- (8) 画出差分曼彻斯特码波形图；

5.7 假设在二进制数字通信系统中，相关接收机的输出信号分量 $a_i(T)$ 为 $+1V$ 和 $-1V$ 的概率相等。如果相关器的输出高斯噪声方差为 1，试求有一比特数据出错的概率。

5.8 一个双极性二进制信号 $s_i(t)(i=1,2)$ 的可能取值为 $+1$ 和 -1 ，加性高斯白噪声的方差为 $0.1V^2$ ，用匹配滤波器检测信号。

- (1) 试分别对 (a) $P(s_1)=0.5$ ；(b) $P(s_1)=0.7$ ；(c) $P(s_1)=0.2$ 求最佳判决门限 γ_0 。
- (2) 解释先验概率对 γ_0 的影响。

5.9 一个二进制数字通信系统发送信号 $s_i(t)(i=1,2)$ 。接收机的检测统计量 $z(T)=a_i+n_0$ ，其中，信号分量 a_i 为 $a_1=+1$ 或 $a_1=-1$ ，噪声分量 $n(t)$ 服从均匀分布，条件概率密度函数 $p(z|s_i)$ 为：

$$p(z|s_1) = \begin{cases} 1/2, & -0.2 \leq z \leq 1.8 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$p(z|s_2) = \begin{cases} 1/2, & -1.8 \leq z \leq 0.2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

已知发送信号先验等概，并且使用最佳判决门限，试求误码率 P_s 。

5.10 设滚降系数为 $\alpha=1$ 的升余弦滚降无码间干扰基带传输系统的输入是十六进制码元，其码元速率是 1200 波特，求：

- (1) 此基带传输系统的截止频率值；
- (2) 该系统的频带利用率；
- (3) 该系统的信息传输速率。

5.11 一个 8 进制 PAM 通信系统的传输特性是升余弦函数，其信息传输速率为 9600b/s。频率响应的带宽为 2.4kHz。试问：

- (1) 码元速率为多少？
- (2) 滤波器传输特性的滚降系数为多少？

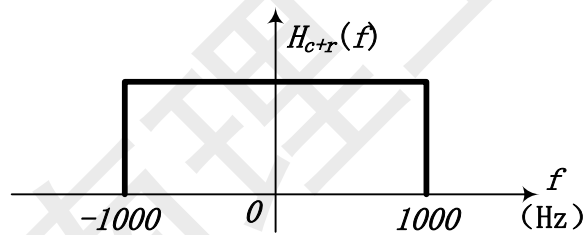
5.12 理想低通信道的截止频率为 8kHz。

- (1) 若发送信号采用 2 电平基带信号，求无码间串扰的最高信息传输速率；
- (2) 若发送信号采用 16 电平基带信号，求无码间串扰的最高信息传输速率。

5.13 已知发送端输出的信号是一个理想低通信号，信道和接收滤波器的频率特性

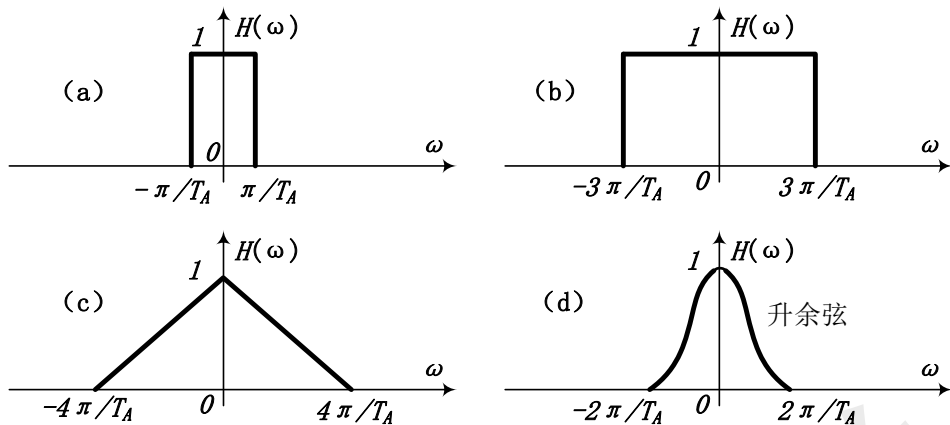
$H_{c+r}(f) = H_c(f)H_r(f)$ 如题图 5.15 所示，当采用以下码元速率 R_s 时：(a) 1000Baud；

(b) 1700Baud；(c) 2000Baud；(d) 3000Baud。问：哪几种码元速率不会产生码间串扰，哪几种码元速率会产生码间串扰。



题图 5.15

5.14 设基带传输系统的发送滤波器、信道及接收滤波器组成总传输特性为 $H(\omega)$ ，若要求以 $2/T_A$ （单位：Baud）的速率进行数据传输，试校验题图 5.16 所示各种 $H(\omega)$ 是否满足采样点无码间串扰的条件。



题图 5.16

5.15 二进制序列通过如题图 5.12 所示的预编码系统，

预编码： $d_n = b_n \oplus d_{n-1}$ ， $d_{-1} = 0$ ；电平转换： $a_n = 2d_n - 1$ ；相关编码： $c_n = a_n + a_{n-1}$

接收端判决规则：

若： $c_n = \pm 2$ ， $\hat{b}_n = 0$ ；若： $c_n = 0$ ， $\hat{b}_n = 1$ 。请写出以下的编码和译码过程。

时间序号	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
输入数据 $\{b_n\}$		1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
预编码输出 $\{d_n\}$											
二电平序列 $\{a_n\}$											
抽样序列 $\{c_n\}$											
判决输出 $\{\hat{b}_n\}$											

5.16 一个理想低通滤波器特性信道的截止频率为 1MHz，问下列情况下的最高传输速率：

- (1) 采用 2 电平基带信号；
- (2) 采用 8 电平基带信号；
- (3) 采用 2 电平 $\alpha = 0.5$ 升余弦滚降频谱信号；
- (4) 采用 7 电平第 I 类部分响应信号。

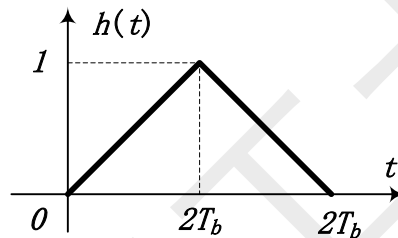
5.17 已知二元信息序列 100101110100011001，若用输出是 15 电平的第 IV 类部分响应信号传输。(1) 画出编、译码器方框图；(2) 列出编译码器各点信号的抽样值序列。

5.18 有一数字基带系统，码元速率为 2000Baud。接收端匹配滤波器输入的信号是二进制双极性矩形脉冲，“1”码幅度为 1mV，加性高斯白噪声的单边功率谱密度

$N_0 = 1.25 \times 10^{-10} \text{ W/Hz}$ ，求此数字基带系统的误码率 P_E 。

5.19 数字基带信号在传输过程中受到均值为 0，平均功率为 σ^2 的加性高斯白噪声的干扰，若信号采用单极性非归零码，且出现“1”的概率为 3/5，出现“0”的概率为 2/5，试推导出最佳判决门限值 γ_0 和平均误比特率公式。

5.20 已知某双极性 PAM 传输系统中，信道的传输函数为 $C(f) = 1$ ，发送正极性时接收端匹配滤波器输出的脉冲波形如题图 5.20 所示。求该基带传输系统的总体传递函数 $H(f)$ 以及发送的脉冲波形 $g_T(t)$ 。



题图 5.20

5.21 什么是眼图？由眼图模型可以说明基带传输系统的哪些性能？

第六章 数字载波调制传输系统

6.1 当输入二元序列为 1101001 时,若载波频率为码元速率的 2 倍,画出信号 2ASK、2PSK、2DPSK 和 2FSK ($f_{c2} = 2f_{c1}$) 信号的波形。

6.2 二进制 OOK 数字通信系统

$$\begin{aligned} s_1(t) &= A \cos \omega_c t & 0 \leq t \leq T_b \\ s_2(t) &= 0 & 0 \leq t \leq T_b \end{aligned}$$

OOK 信号在信道传输中受到加性白高斯噪声 $n_w(t)$ 的干扰,加性噪声的均值为 0,双边功率谱密度为 $\frac{N_0}{2}$,接收带通滤波器的带宽为 B (B 为足够宽),滤波后的接收信号

$$r(t) = s_i(t) + n(t) \quad i = 1 \text{ 或 } 2 \quad 0 \leq t \leq T_b$$

- (1) 请画出相干解调框图(含载波提取电路及时钟提取电路);
- (2) 请推导出它的平均误比特率计算公式(设: $s_1(t)$ 与 $s_2(t)$ 等概率出现)。

6.3 已知传输的二元序列为 10110010,采用 2DPSK 调制,假定在一个码元周期内包含 2 个载波周期。(1)画出发送端的框图和各功能模块输出点的波形图;(2)画出相干接收机的框图和其各模块输出点的波形图;(3)画出差分相干接收机的框图和其各模块输出点的波形图。

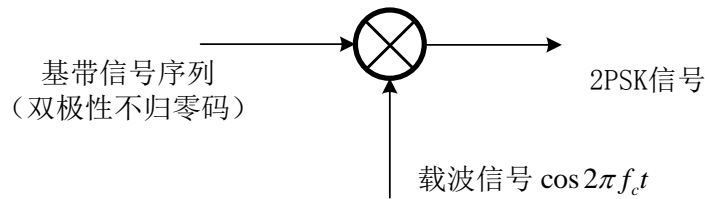
6.4 已知二进制 2FSK 通信系统的两个信号波形为

$$\begin{aligned} s_1(t) &= \sin\left(\frac{2\pi}{T_b} t\right), \quad 0 \leq t \leq T_b \\ s_2(t) &= \sin\left(\frac{4\pi}{T_b} t\right), \quad 0 \leq t \leq T_b \end{aligned}$$

其中 T_b 是二进制码元间隔,设 $T_b = 1\text{s}$, 2FSK 信号在信道传输中受到加性白高斯噪声的干扰,加性噪声的均值为 0,双边功率谱密度为 $\frac{N_0}{2}$, $s_1(t)$ 与 $s_2(t)$ 等概率出现:

- (1) 请画出两信号的波形图;
- (2) 计算两信号波形的互相关系数 ρ 及平均比特能量 E_b 值;
- (3) 请画出带通匹配滤波器形式的最佳接收框图;
- (4) 若发 $s_1(t)$,请问错判为 $s_2(t)$ 的概率 $P(e|s_1)$ 如何计算?

6.5 设二进制信息速率为 1Mbps/s，二进制序列中的两个二进制符号等概率出现，且各符号之间统计独立，请画出下列信号的双边平均功率谱密度图（标上频率值）：



题图 6.5

- (1) 双极性矩形不归零码序列；
- (2) 双极性矩形不归零码序列通过乘法器后的 2PSK 信号。

6.6 已知发送信号的载波幅度取值 $A = 10V$ ，在 $4kHz$ 带宽的电话信道中分别利用 2ASK、2PSK 及 2FSK 系统进行传输，信道对信号功率的衰减为 $1dB/km$ ， $N_0 = 10^{-8}W/Hz$ ，若采用相干解调，要求误比特率不大于 10^{-5} 。试求分别各种不同的传输方式可获得的传输速率，以及可传多少公里？

6.7 2PSK 相关解调器所需的相干载波若与理想载波有相位差，求相位差 θ 对系统误比特率的影响。

6.8 若采用 2ASK 方式传送二进制数字信息，已知发送端发出的信号振幅为 $5V$ ，输入接收端解调器的高斯噪声功率 $\sigma_N^2 = 3 \times 10^{-12}W$ ，今要求误码率 $P_e = 10^{-4}$ 。试分析：

- (1) 非相干接收时，信号由发送端到解调器输入端的衰减应不大于多少；
- (2) 相干接收时，信号由发送端到解调器输入端的衰减应不大于多少。

6.9 2ASK 包络检测接收机输入端的平均信噪比 $r_{dB} = 10dB$ ，输入端高斯白噪声的双边功率谱密度为 $2 \times 10^{-14}W/Hz$ 。码元传输速率为 50Baud，设“1”、“0”等概率出现。试计算：

- (1) 最佳判决门限；
- (2) 系统误码率；
- (3) 其他条件不变，相干解调器的误码率。

6.10 若相干 2PSK 和差分检测 2DPSK 系统的输入噪声功率相同，系统工作在大信噪比条件下，(1) 试计算它们达到同样误码率所需的相对比特能量 $K_{E_b} = E_{b,DPSK} / E_{b,PSK}$ ；(2) 若

要求输入信噪比一样, 则系统性能相对比值 $K_p = P_{b,DPSK} / P_{b,PSK}$ 为多大? 并讨论以上结果。

6.11 在信道带宽 $W = 10\text{KHz}$ 的加性高斯白噪声信道上, 噪声双边功率谱密度 $N_0/2 = 10^{-10}\text{W/Hz}$, 数据速率为 $R_b = 10^3\text{bps}$ 。试求: $P_E = 10^{-5}$ 情况下对非相干 2ASK、差分相干 2DPSK、非相干 2FSK 系统, 各自要求的接收端比特能量和信号平均功率; 如果传输信道的衰减为 80dB , 发送端的比特能量和信号平均功率应为多少。

6.12 一种自身携带载波同步信号的相关 2PSK 系统传输的信号可以表示为

$$s_1(t) = A \cos(\omega_c t) \cdot \sqrt{1 - K^2} \cos(\omega_s t) \quad 0 \leq t \leq T$$

$$s_2(t) = A \cos(\omega_c t) \cdot \sqrt{1 - K^2} \sin(\omega_s t) \quad 0 \leq t \leq T$$

其中的 A 和 K 均为常数; “+”号对应发送“1”, “-”号对应发送“0”;

(1) 证明误比特率为

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}(1 - K^2)}\right)$$

其中 $E_b = A^2 T_b / 2$, $N_0/2$ 为双边功率密度谱。

(2) 若载波分量占发送功率的 10%, 求误比特率为 10^{-4} 所要求的 E_b/N_0 。

(3) 将 (2) 中的计算结果与通常的 2PSK 系统比较。

6.13 采用 8PSK 调制传输 $R_b = 4800\text{bps}$ 数据:

(1) 最小理论带宽是多少?

(2) 若传输带宽不变, 而数据率加倍, 则调制方式应作何改变?

(3) 若依然采用 8PSK 调制方式不变, 而数据率加倍, 为达到相同误比特率, 发送功率应作何变化?

6.14 已知电话信道可用的传输频带为 $300 \sim 3000\text{Hz}$, 若取载频为 1800Hz , 试说明:

(1) $\alpha = 1$ 升余弦滚降基带信号的 QPSK (4PSK) 调制可获得 2400bps 传输速率;

(2) $\alpha = 0.5$ 升余弦滚降基带信号的 8PSK 调制可获得 4800bps 传输速率;

(3) 对于参数为 α 的, -6dB 带宽各为多少?

6.15 4PSK 调制时的误码率 $P_E = 10^{-6}$, 为减少传输频带, 改用 16PSK, 传输的比特率不变。试分析在保证误码率不变的情况下, 要求发射功率增加多少分贝。

6.16 比特率为 9600bps 的数据经过 2400Hz 带宽的电话信道传输, 要求误比特率为 10^{-5} , 若采用 16PSK 或 16QAM 调制, 分别求所需的信噪比 S/N 。

6.17 已知一个 $M=8$ 的 MFSK 载波传输系统。

- (1) 如果符号速率为 1000 波特 (1000 符号/秒)，请问其比特率为多少？
- (2) 在一般情况下，要满足不同的符号间的正交性，MFSK 信号的不同符号间的频率间隔最小应为多少？
- (3) 若已知 MFSK 各信号是正交的，该带宽大致为多少？
- (4) 试画出 MFSK 最佳接收机的结构图；
- (5) 已知发送符集与信号向量集的对应的对应关系顺序为：

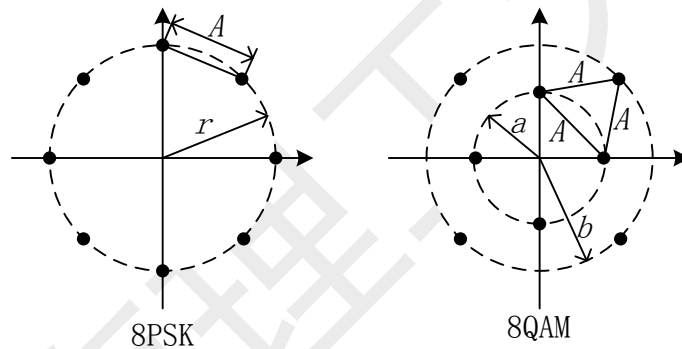
$$\{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8\} \leftrightarrow \left\{ \left(\sqrt{E_s}, 0, 0, \dots, 0 \right), \left(0, \sqrt{E_s}, 0, \dots, 0 \right), \dots, \left(0, 0, \dots, 0, \sqrt{E_s} \right) \right\}$$

任两符号间信号的距离为多少？

(6) 若最佳接收机解调得到的接收矢量为 $(-2.0, +1.3, -3.5, +4.5, +4.0 - 2.1, -1.8, -4.2)$ ，请问应该判收到到哪一个符号？

(7) 若误符号率为 $P_E = 10^{-4}$ ，请问误比特率 P_b 为多少？

6.18 图示为 8PSK 系统及 8QAM 系统的星座图如图所示



题图 6.18

- (1) 若 8QAM 信号空间图中两相邻矢量端点之间的最近欧式距离为 A ，请求出其内圆及外圆之半径 a 与 b 的值；
- (2) 若 8PSK 信号空间图中两相邻矢量端点之间的最近欧式距离为 A ，请求出圆的半径 r 值；
- (3) 请求出两信号星座的平均发送功率 (假设各信号点等概率出现)，并对这两种星座结构作出比较。

6.19 MSK 和 GMSK 都是相位连续的恒包络信号，两者间性能上有何差异。

6.20 假定传统的频分复用系统相邻载波间的保护间隔为 $\Delta f = 1/T_s$ ，其中 T_s 为符号周期。

试分析要实现 256 路相同符号速率信号的并行传输，采用正交频分复用技术比采用传统的频

分复用技术可节省多少带宽。

华南理工大学

第七章 传输信道

7.1 对于自由空间路径损耗模型，求使接收功率达到 1dBm 所需的发射功率。假设载波频率 $f = 5\text{GHz}$ 、全向天线 ($G_t = G_r = 1$)，距离分别为 $d = 10\text{m}$ 及 $d = 100\text{m}$ 。

7.2 何种条件下，路径损耗经验模型和自由空间路径损耗模型相同？

7.3 假设接收机的噪声功率在感兴趣的信号带宽范围内是 -160dBm 。传输模型是参数为 $d_0 = 1\text{m}$ 、 $\gamma = 4$ 的路径损耗经验模型，参数 K 由自由空间模型按全向天线和 $f_c = 1\text{GHz}$ 确定。若发射功率为 $P_t = 10\text{mW}$ ，求信噪比为 20dB 时所对应的最大收发距离。

7.4 某时不变室内无线信道中直射分量的时延是 23ns ，第一个多径分量的时延为 48ns ，第二个多径分量的时延为 67ns 。针对解调器同步于直射分量或第一个多径分量这两种情形，分别求相应的时延扩展。

7.5 某发射机发射功率为 10W ，载波频率为 900MHz ，发射天线增益 $G_t = 2$ ，接收天线增益 $G_r = 3$ 。试求在自由空间中距离发射机 10km 处的接收机的输出功率和路径损耗。

7.6 在移动通信中，发射机载频为 900MHz ，一辆汽车以 80km/h 的速度运动，试计算在下列情况下车载接收机的载波频率：

- (1) 汽车沿直线朝向发射机运动；
- (2) 汽车沿直线背向发射机运动；
- (3) 汽车运动方向与入射波方向成 90° 。

7.7 一宽带信道的自相关函数为：

$$R_c(\tau, \Delta t) = \begin{cases} \text{sinc}(W\Delta t) & 0 \leq \tau \leq 10\mu\text{s} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中 $W = 100\text{Hz}$ ， $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$ 。计算信道的平均时延扩展和均方根时延扩展。

7.8 设散射函数 $S_c(\tau, \rho)$ 在 $0 \leq \tau \leq 0.1\text{ms}$ 及 $-0.1 \leq \rho \leq 0.1\text{Hz}$ 范围内不为 0，且在此范围

内近似为常数。求此信道的多径时延扩展。

7.9 某 AWGN 信道的带宽是 50MHz ，接收信号功率是 10mW ，噪声的功率密度谱是 $N_0/2$ ，其中 $N_0 = 2 \times 10^{-9}\text{W/Hz}$ 。求接收功率和带宽分别增加一倍时信道容量的增量。

7.10 已知在高斯信道理想通信系统传送某一信息所需带宽为 10^6Hz ，信噪比为 20dB ；若将所需信噪比降为 10dB ，求所需信道带宽。

7.11 设某平衰落信道的带宽为 20MHz ，若将发射功率固定为 \bar{P} ，则接收信噪比有以下六个可能值： $\gamma_1 = 20\text{dB}$ 、 $\gamma_2 = 15\text{dB}$ 、 $\gamma_3 = 10\text{dB}$ 、 $\gamma_4 = 5\text{dB}$ 、 $\gamma_5 = 0\text{dB}$ 、 $\gamma_6 = -5\text{dB}$ ，对应的出现概率为 $p_1 = p_6 = 0.1$ 、 $p_2 = p_4 = 0.15$ 、 $p_3 = p_5 = 0.25$ 。假设只有接收端已知 CSI。

- (1) 求此信道的信道容量的统计平均值；
- (2) 若接收端能正确解调的信噪比门限值为 0dB ，求相应的信道容量。

7.12 设有一平衰落信道，发送功率为 \bar{P} ，接收信噪比有以下四种可能的取值： $\gamma_1 = 30\text{dB}$ 、 $\gamma_2 = 20\text{dB}$ 、 $\gamma_3 = 10\text{dB}$ 、 $\gamma_4 = 0\text{dB}$ ，相应的出现概率为 $p_1 = p_4 = 0.2$ 、 $p_2 = p_3 = 0.3$ 。假设收发端都已知 CSI。求该信道的最佳功控方案 $P(\gamma_i)/\bar{P}$ 以及相应的归一化信道容量 (C/W)。

7.13 假设蜂窝系统功率衰减与距离间的关系服从 $P_r(d) = P_t \left(\frac{d_0}{d} \right)^\alpha$ ，其中 $d_0 = 100\text{m}$ ， α 为随机变量。 α 的概率分布为： $p(\alpha = 2) = 0.4$ ， $p(\alpha = 2.5) = 0.3$ ， $p(\alpha = 3) = 0.2$ ， $p(\alpha = 4) = 0.1$ 。假设接收端距离发送端 $d = 1000\text{m}$ ，发送功率上限 $P_t = 1000\text{mW}$ ，接收机噪声功率 0.1mW 。假设收发端都已知 CSI。

- (1) 求接收端 SNR 的分布；
- (2) 求该信道的最佳功控方案及相应的归一化信道容量。

7.14 假设有一个瑞利衰落信道，接收端和发送端都已知 CSI，信噪比的概率密度函数 $p(\gamma)$ 服从均值为 $\bar{\gamma} = 10\text{dB}$ 的指数分布。信道带宽为 10MHz 。

- (1) 求使该信道容量达到香农容量的中断门限 γ_{\min} ；

- (2) 求相应的功控方案;
- (3) 求该信道的归一化信道容量。

7.15 若上题中仅接收端已知 CSI, 求此时信道的香农容量, 并与上题 (3) 的结果比较。

7.16 假设时不变频率选择性信道在 $f > 0$ 时的频率响应如下:

$$H(f) = \begin{cases} 1 & f_c - 20\text{MHz} \leq f < f_c - 10\text{MHz} \\ 0.5 & f_c - 10\text{MHz} \leq f < f_c \\ 2 & f_c \leq f < f_c + 10\text{MHz} \\ 0.25 & f_c + 10\text{MHz} \leq f < f_c + 20\text{MHz} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

且频率响应满足 $H(-f) = H(f)$ 。若平均发送功率为 10mW , 噪声功率谱密度为 $0.001\mu\text{W}/\text{Hz}$, 求最佳功控方案及归一化的香农容量。

7.17 计算机终端输出的数据经编码调制后通过电话信道传输, 电话信道带宽为 3.4kHz , 加性高斯噪声信道输出的信噪比为 20dB 。该终端每次输出 128 个可能符号之一, 输出序列中的各符号相互统计独立、等概出现。

- (1) 计算信道容量;
- (2) 计算理论上容许的终端输出数据的最高符号速率。

7.18 设数字信号的每比特信号能量为 E_b , 信道噪声的双边功率密度谱为 $N_0/2$ 。试证明: 信道无差错传输的信噪比 E_b/N_0 的最小值为 -1.6dB 。

7.19 设随参信道的多径时延扩展等于 $5\mu\text{s}$, 欲传输 100kbps 的信息速率, 问下列调制方式下, 哪个可以不用考虑使用均衡器。

- (1) BPSK;
- (2) 将数据经过串并变换为 1000 个并行支路后用 1000 个不同的载波按 BPSK 调制方式传输 (假设各载频间相互正交)。

7.20 发送单个测试脉冲时接收信号的采样序列取值为: $x_{-2} = 0, x_{-1} = -1/4, x_0 = 1, x_1 = 1/4, x_2 = 0$ 。(1) 设计一个三抽头的横向滤波器, 迫使主瓣两侧各一个采样点处的码间串扰为零; (2) 计算均衡前后的峰值畸变值。

7.21 某一存在多径效应的无线通信系统, 发送的信号为 $s(t)$, 而接收的信号为

$$x(t) = K_1 \delta(t - t_1) + K_2 \delta(t - t_2)$$

其中 K_1, K_2 是常数, t_1, t_2 是不同径的传输延时, 假设用以 3 抽头的横向滤波器来均衡因多

径产生的畸变, 抽头系数分别为 w_{-1}, w_0, w_1 。

- (1) 计算横向滤波器的传递函数;
- (2) 假设 $K_1 \gg K_2, t_1 < t_2$, 求 w_{-1}, w_0, w_1 。

华南理工大学

第八章 差错控制编码

8.1 已知二进制对称信道的差错率为 $P = 10^{-2}$ 。(1) (5, 1) 重复码通过此信道传输, 不可纠正错误的出现概率是多少? (2) (4, 3) 偶校验码通过此信道传输, 不可检出错误的出现概率是多少?

8.2 某码字的集合为

0000000 1000111 0101011 0011101
1101100 1011010 0110110 1110001

求: (1) 该码字集合的最小汉明距离; (2) 根据最小汉明距离确定其检错和纠错能力。

8.3 等重码是一种所有码字具有相同汉明重量的码, 请分析等重码是否线性码?

8.4 已知某线性码的监督矩阵为

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

求生成矩阵, 并列出的许用码组。

8.5 已知系统线性码 (7, 4) 的生成矩阵为

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

求所有的许用码组和监督矩阵。

8.6 已知一个系统线性码 (7, 4) 的监督矩阵为

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

求: (1) 生成矩阵 G ; (2) 当输入信息序列 $m = 110101101010$, 求输出码序列 c ; (3) 若出现错误图样 0001000, 求相应的伴随式。

8.7 已知某线性分组码生成矩阵为

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

试求：(1) 系统码生成矩阵 $G = [I, P]$ 表达形式；(2) 写出典型监督矩阵 H ；(3) 若译码器输入 $y = (0011111)$ ，计算相应的校正子 S ；(4) 若译码器输入 $y = (1000101)$ ，计算相应的校正子 S 。

8.8 设线性分组码的生成矩阵为

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

先将 G 转化为系统码结构的生成矩阵，然后：(1) 求监督矩阵 H ；(2) 写出监督位的关系式；(3) 确定最小码距 d_{\min} 。

8.9 对于一个码长为 15，可纠正 2 个随机错误的线性分组码，需要多少个不同的校正子？至少需要多少位监督码元？

8.10 一码长 $n = 15$ 的汉明码，监督位 r 应为多少？编码速率为多少？

8.11 在下列表中列出了 4 种 $(3, 2)$ 码 C_1 、 C_2 、 C_3 和 C_4 ，请分析这 4 个码是否线性分组码？是否循环码？

信息位	C_1	C_2	C_3	C_4
00	000	000	001	011
01	011	011	010	110
10	110	111	100	001
11	101	100	000	111

8.12 下列中的多项式是系数在 $GF(2)$ 上的多项式，计算下列各式

(1) $(x^4 + x^3 + x^2 + 1) + (x^3 + x^2)$;

(2) $(x^3 + x^2 + 1)(x + 1)$;

(3) $(x^4 + x) \bmod (x^2 + 1)$

8.13 已知一个 $(7, 3)$ 循环码的生成多项式为 $g(x) = x^4 + x^3 + x^2 + 1$ ，试求其生成矩阵。

8.14 (1) 证明 $(15, 5)$ 循环码的生成多项式为 $g(x) = x^{10} + x^8 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$ ；(2)

求相应的监督多项式 $h(x) = ?$; (3) 若信息码多项式为 $u(x) = x^4 + x + 1$, 求相应的系统码多项式。

8.15 已知循环码的生成多项式为 $g(x) = x^4 + x + 1$ 。(1) 画出系统码结构的循环码编码电路; (2) 画出校正子计算电路; (3) 若错误图样对应的多项式为 $E(x) = x^5 + x^2$: , 计算该错误图样对应的校正子。 $E(x) = x^5 + x^2$

8.16 试构建一参数位 (31, 26) 的汉明循环码, 求其系统码结构的生成矩阵和监督矩阵, 并计算其码率。

8.17 已知 (7, 4) 循环码的全部码组为:

0000000, 0001011, 0011101, 0100111
 0100111, 0101100, 0110001, 0111010
 1000101, 1001110, 1010011, 1011000
 1100010, 1101001, 1110100, 1111111

试写出该循环码的生成多项式 $g(x)$ 和生成矩阵, 并将 G 化成系统码典型阵。

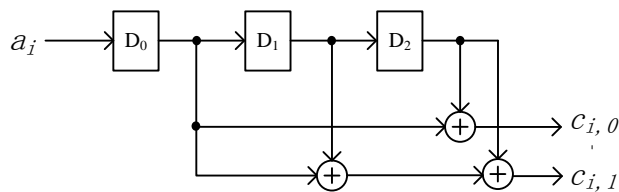
8.18 已知 (15,11) 汉明循环码的生成多项式为 $g(x) = x^4 + x^3 + 1$, 试求其生成矩阵和监督矩阵。

8.19 证明表 8.7.5 中所有的 $n=31$ 本原 BCH 码均满足汉明界和普洛特金界。

8.20 参数为 (23, 12) 格雷码能纠正 3 个随机错误, 证明它是完备码。

8.21 已知数据报文采用 CRC-8 进行保护。(1) 假定输入数据报文中需保护的数据部分为: 11000000 10101101 11110101 01010010, 求编码输出; (2) 若收到报文 1100 1000 1010 1101 10010101 01010010 00111101, 请判断传输过程是否出现错误?

8.22 一卷积编码器如图 8.22 所示, 已知 $k=1, n=2, L=3$ 。试写出生成矩阵 G 的表达式。



8.23 已知参数为 $k=1, n=2, L=4$ 的系统码结构的卷积码的单位脉冲响应为

$$C_{\delta} = 11, 01, 00, 01, 00, \dots, \dots,$$

试求该卷积码的生成矩阵 G 和监督矩阵 H 。

8.24 已知系统码结构的卷积码的参数为: $k=1, n=3, L=4$, 其单位脉冲响应为

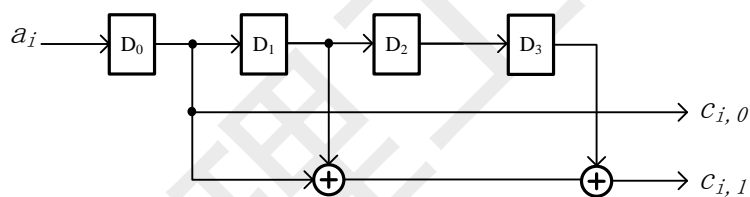
$$C_{\delta}^{(1)} = 111, 001, 010, 011, \quad C_{\delta} = 111, 001, 010, 011, 000, \dots, 000, \dots, \dots$$

试求该卷积码的生成矩阵 G 和截短监督矩阵, 并写出输入码为(1001...)时的输出码。

8.25 已知码率为 $1/2$ 的卷积码的生成多项式为 $g_0(x)=1, g_1(x)=1+x$,

- (1) 画出编码器的电路结构图;
- (2) 画出卷积码的树状图、状态图、网格图;
- (3) 当输入信息码为 110010 时, 求卷积码输出。

8.26 已知一 (n, k, L) 卷积码编码器结构如下图所示:



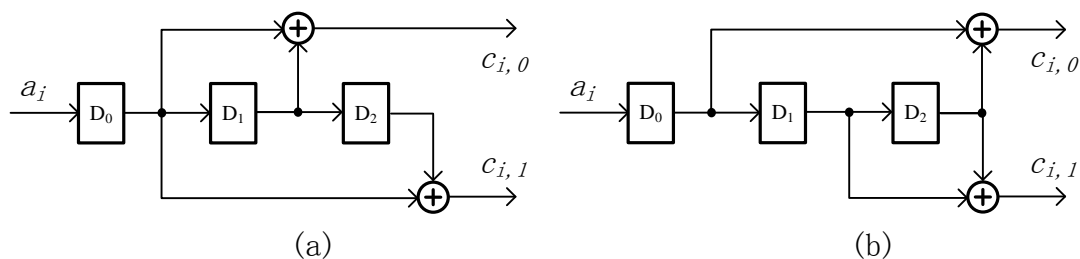
试求: (1) n, k, L 各是多少? (2) 求生成多项式 $g_0(x), g_1(x)$, 并求出生成矩阵 G ;

(3) 若输入为 (10111), 求编码输出序列 c 。

8.27 已知 $(2,1,3)$ 卷积码的输出与输入 $\{a_i\}$ 的关系为: $c_{i,0} = a_i \oplus a_{i-1}, c_{i,1} = a_{i-1} \oplus a_{i-2}$,

试确定: (1) 编码器电路结构; (2) 卷积码的树图、状态图及网格图。

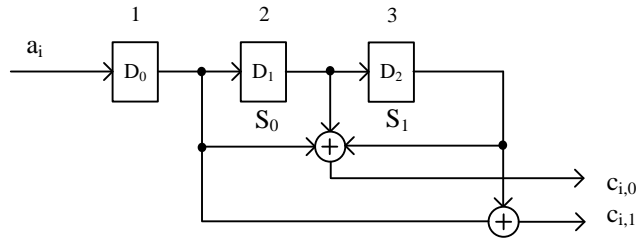
8.28 考虑题图 8.28 (a) 和 (b) 给出两种 $(2,1,3)$ 非系统码形式的卷积码编码器结构



题图 8.28

分别写出两编码器的生成多项式，并判断该编码器是否存在误码的灾难性传播现象。

8.29 已知 (2, 1, 3) 卷积码编码器的电路结构如题图 8.29 所示



题图 8.29

求：(1) 输入与输出的逻辑表达式；(2) 若接收到的序列为 $R = 10\ 10\ 00\ 01\ 11\ 01\ 11$ ，试用维特比译码算法判断传输是否出现错误，并求解发送信息序列 M 。

8.30 一个在 AWGN 信道上工作的通信系统，其可用带宽为 2400Hz，为其选择适当的调制和纠错编码。已知 E_b/N_0 为 14dB，要求数据速率为 9600b/s，误比特率为 10^{-5} 。有两种调制选择：非相干正交 8FSK，采用匹配滤波检测的 16QAM。两者编码方式：(127, 92) BCH 码；误码率为 10^{-5} 时的编码增益为 5dB 且编码效率为 1/2 的卷积码。若是理想滤波，试证明你的选择满足带宽和差错性能要求。

8.31 假定系统的可用带宽为 40kHz， E_b/N_0 为 7.3dB，其余条件与要求与题 8.30 相同，选择符合要求的调制与编码方式。

第九章 同步原理与技术

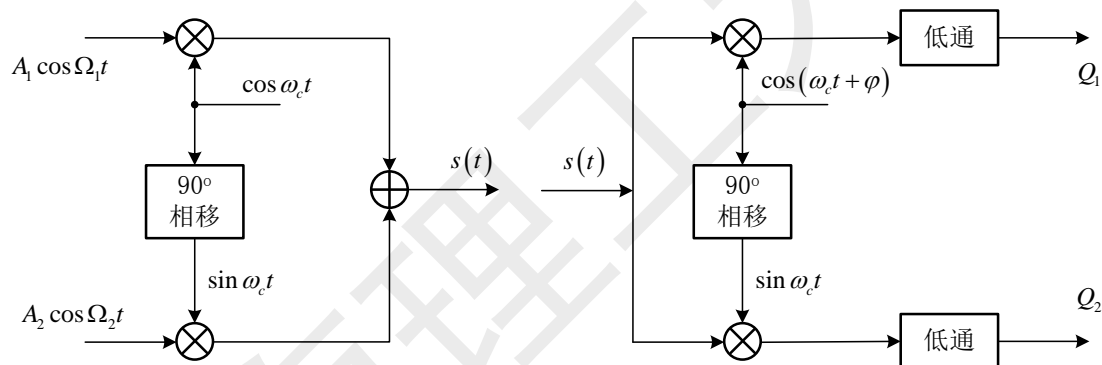
9.1 某一具有正弦鉴相特性的锁相环，假定环路的直流增益为 100。(1) 求该锁相环的频率跟踪范围；(2) 若锁相环的输入的频率有 20Hz 的变化，请问该锁相环能否跟踪其变化，为什么？(3) 若若锁相环的输入的频率有 10Hz 的变化，请问该锁相环稳定后会存在多少相位差？

9.2 已知锁相环路输入噪声信号的带宽为 W_n ，环路的带宽为 W_L ，输入噪声相位均值为 0，

方差为 $E[\theta_{n_i}^2] = 1/(2r_i)$ ，试证明环路的输出相位方差 $E[\theta_{n_o}^2]$ 与环路信噪比 r_L 之间有下式的关系

$$E[\theta_{n_o}^2] = 1/(2r_L)$$

9.3 正交双边带调制的原理方框图如题图 9.3 所示，试讨论本地恢复的载波相位存在误差 φ 对该系统有什么影响。

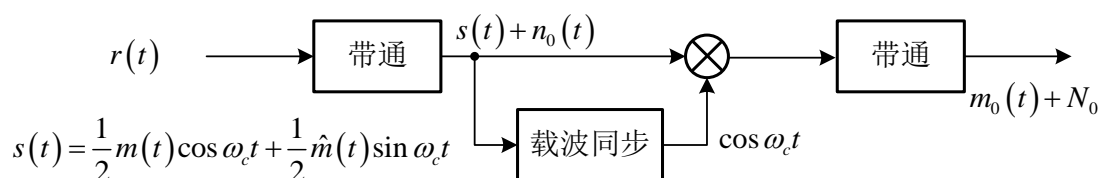


题图 9.3

9.4 单边带信号的相干解调方框图如题图 9.4 所示，其中 $\hat{m}(t)$ 为 $m(t)$ 的希尔伯特变换。设

载波同步器提取的相干载波与发送端载波的相位误差为 φ 。(1) 求解调器输出信号 $m_0(t)$ 的

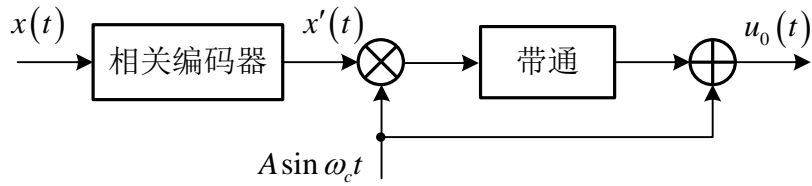
数学表达式和功率；(2) 求解调器输出噪声 $n_0(t)$ 的数学表达式和功率。



题图 9.4

9.5 在双边带系统中，发送端方框图采用如题图 9.5 所示的插入导频法，即载波 $A \sin \omega_c t$ 不

经过 -90° 相移，直接与已调信号相加后输出，试证明接收端用相干接收法解调双边带信号时，解调器输出中含有直流成分。

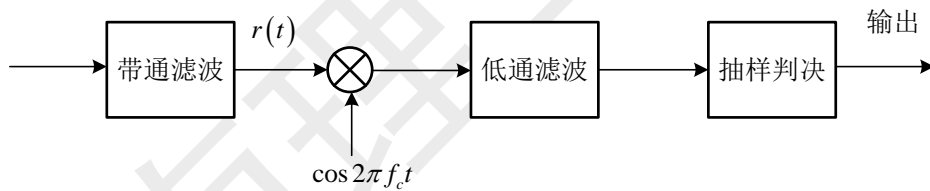


题图 9.5

9.6 已知单边带信号为 $x_{SSB}(t) = x(t) \cos \omega_c t + \hat{x}(t) \sin \omega_c t$ ，其中 $\hat{x}(t)$ 为 $x(t)$ 的希尔伯特变换。试证明不能用平方环法提取载波同步信号。

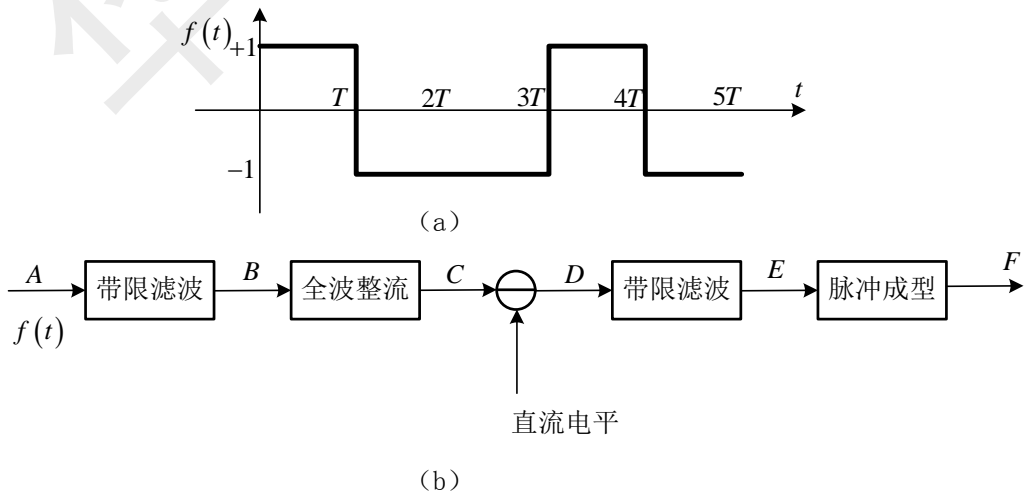
9.7 已知双边带信号为 $x_{DSB}(t) = x(t) \cos \omega_c t$ ，接收端采用相干解调法，载波为 $\cos(\omega_c t + \Delta\varphi)$ ，试分析推导解调器的输出表达式。

9.8 在题图 9.8 中，假定 BPSK 信号在相干解调过程中本地恢复的载波与发送端的载波信号有固定的相位偏差 θ ，求相应的误比特率。

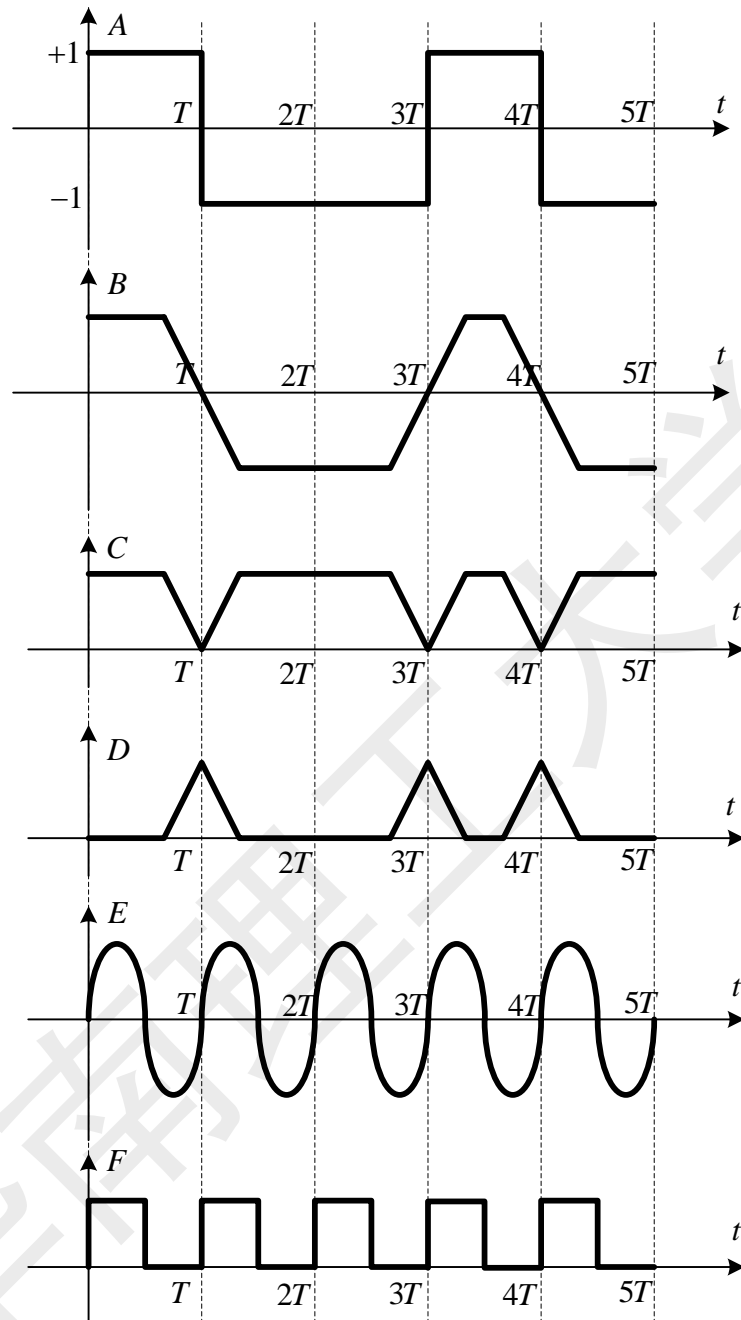


题图 9.8

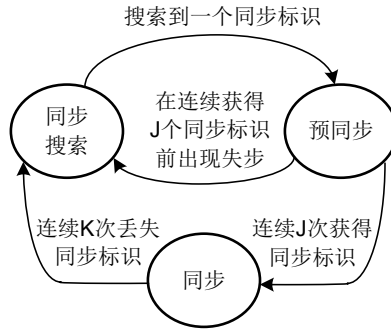
9.9 设有题图 9.9 (a) 所示的基带信号，它经过图 (b) 所示的一系列信号处理过程可提出出位同步信号，请大致画出图中 B、C、D、E 和 F 各点的波形。



题图 9.9

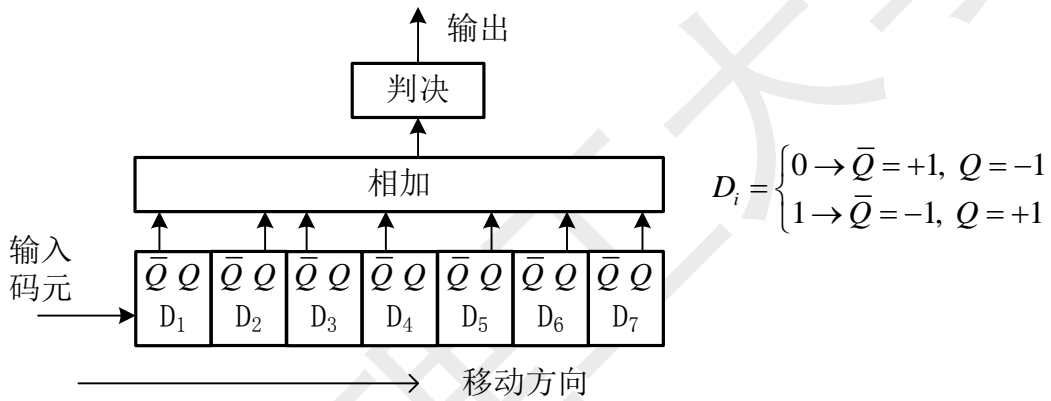


9.10 假定在连续的数据流传输系统中的每一数据帧包含一个 8 位的同步标识符。典型的帧同步如题图 9.10 所示，其中包括了同步搜索、预同步和同步三种工作状态，请说明在哪些状态下，同步的操作是逐位进行的；在哪些状态下，同步操作是逐帧进行的，为什么？



题图 9.XX

9.11 若 7 位巴克码组的前后全为“1”序列加于题图 9.4 的 7 位巴克码识别器的输入端，且各寄存器的初始状态均为 0。若输入“111111100101111111”试画出识别器的输出波形。



题图 9.11

9.12 设某有噪声干扰的数字无线传输系统中的帧同步采用了 13 位长的威拉德序列 +1+1+1+1+1-1-1+1-1+1-1-1 作为前导序列用作帧起始的标识，假定采样获得的接收序列为：+0.3, -0.5, -0.4, +0.6, -1.2, +1.3, +0.3, +0.7, +1.1, -0.2, -1.0, -0.8, +1.3, -0.6, +0.8, -1.0, -0.9, -1.2, +1.0, -1.2, -0.7, -0.9, +1.1, -0.9,。请用滑动相关搜索的方法，描绘相关器输出的波形，并判断接收的数据帧从第几个样值开始。

第十章 扩展频谱通信技术

- 10.1** 扩频系统可以分为哪几类？它们的主要区别是什么？
- 10.2** 试简述扩频系统的优点。
- 10.3** 试从频域分析直扩系统对强窄带干扰的抑制作用。
- 10.4** 试比较直扩和跳频系统抗干扰能力的差异。
- 10.5** 要求系统能在干扰信号为有用信号 250 倍的情况下工作，系统输出信噪比为 10dB，系统内部损耗为 2dB，则要求系统的处理增益至少为何值？
- 10.6** 一个 4 级线性移位寄存器的特征多项式 $f(x) = x^4 + x + 1$ ，试画出该移位寄存器的原理结构图。当初始状态为 1001 时，求该寄存器的输出序列。
- 10.7** 上题中输出序列的周期是多少？序列中 0 和 1 的个数分别为多少？序列的游程分布特征怎样？并求出该序列的自相关函数。
- 10.8** 若 m 序列优选对的两个本原多项式分别为 $f_1(x) = x^3 + x + 1$ 和 $f_2(x) = x^3 + x^2 + 1$ ，试画出由它们构成的 Gold 序列产生器的原理方框图。试问，这对 m 序列优选对能产生几个 Gold 序列？试写出这些 Gold 序列。
- 10.9** 跳频系统中的频率合成器有哪几种主要类型？各有何优缺点？
- 10.10** 扩频码的同步有几个步骤？同步捕获的作用是什么？
- 10.11** 试画出串行捕获法原理框图，并简述串行捕获的过程。
- 10.12** 试简述延迟锁定跟踪环的跟踪原理。
- 10.13** m 序列有什么特性？在实际中有哪些应用？
- 10.14** 直接序列扩频系统在多径传输的情况下，若间接路径的传输距离超过直接路径 100m 以上，求抗多径干扰所需的最小码片速率。
- 10.15** 一个跳频的 MFSK 系统，设伪随机序列为 20 级线性反馈移位寄存器产生的最大长度序列。寄存器的每一状态对应于一个跳频的中心频率。已知中心频率的最小间隔（跳频间隔）为 200Hz，寄存器时钟 2kHz，数据速率为 1.2kb/s，采用 8FSK 调制。（1）求跳频带宽；（2）求码片速率；（3）每个数据码元对应于多少个码片？（4）求处理增益。

10.16 采用 m 序列测距，已知时钟频率等于 1MHz，最远目标距离为 3000km，求 m 序列的长度（一周期的码片数）。

10.17 扩频技术能够有效地克服干扰信号的影响，但在加性高斯白噪声环境下却不能带来性能的改善，试解释其中的原因。

华南理工大学

第十一章 信道复用与多址技术

11.1 试比较各种复用和多址技术的特点。

11.2 在一个带宽为 5 MHz 的频分复用系统中,若每个子信道的带宽均为 100 kHz ,子信道间设定的保护带为 20 kHz ,该信道可容纳多少个独立的子信道?

11.3 若采用哈达马矩阵构建数据率为 10 Mb/s 具有 16 个用户的码分多址系统,(1)列出所有的正交码字;(2)估算信道所需的带宽。

11.4 对于有 100 个终端的轮询系统,若每个终端的平均巡回时间为 1 ms ,当网络的负载达到 0.8 时,请分析平均发送一个报文的时延是多少?

11.5 在纯 ALOHA 系统中,若系统工作在负载 $G = 0.6$ 的状态,其信道为空闲的概率。

11.6 5000 个工作站共享一条时隙 ALOHA 信道,每个工作站每小时平均发送 18 个报文,时隙长度为 $100\text{ }\mu\text{s}$ 。试求信道负载的大小。

11.7 假定在图 11-6-11 所示的 LTE 时频资源结构图中,每个子载波均采用 16QAM 调制,请问每个物理资源块可以携带多少比特的数据。