

# 北京邮电大学 2006——2007 学年第 I 学期

## 《通信原理》期末考试试题(A 卷)

包括选择填空在内的所有答题都应写在答题纸上, 否则不计成绩!

试卷最后一页有一些提示

### 一. 选择填空 (每空 1 分, 共 25 分)

答案必须来自下列答案, 必须是最合理的答案。

按“空格编号 答案编号”的格式答题, 例如: ①  $f$ ; ② 甲

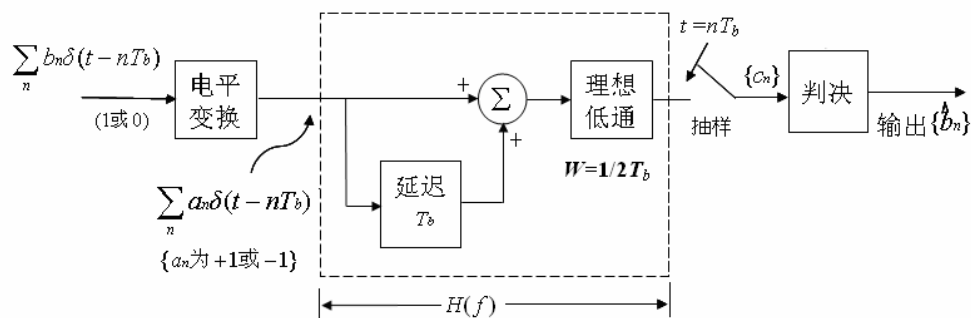
- |             |               |             |           |
|-------------|---------------|-------------|-----------|
| (a) 信道均衡    | (b) 1.5       | (c) 载波频率    | (d) 折叠码   |
| (e) 后验概率不相等 | (f) 好         | (g) 差       | (h) 码间干扰  |
| (i) 失真      | (j) 特性不理想     | (k) 相干载波    | (l) 符号相位  |
| (m) 符号速率    | (n) 准确的抽样定时信息 | (o) 各先验概率相等 | (p) 载波相位  |
| (q) 10      | (r) 不连续       | (s) 判决门限    | (t) $M-1$ |
| (u) 自然码     | (v) 张开        | (w) 11      | (x) 1     |
| (y) 2       | (z) $1/M$     | (甲) 连续      | (乙) 01    |
| (丙) $\mu$   | (戊) 抽样时刻      | (己) $M$     | (庚) 0.5   |
| (辛) 闭合      | (壬) 后验概率相等    | (癸) A       |           |

1. 部分响应系统的频带利用率可以达到① Baud/Hz, 其关键是利用相关编码引入可控的②。在抗加性噪声的性能方面, 部分响应系统要比全响应系统③。
2. 符号同步的目的是为了获得④, 符号同步主要需要确定⑤和⑥两个信息。
3. 在数字基带系统中, 产生码间干扰的主要原因是信道⑦, 减少码间干扰的方法之一是⑧。
4. 最大后验概率(MAP)准则和最大似然(ML)准则在⑨时等价。
5. 在信号空间图中, 所有信号矢量端点之间的最小距离越大, 其抗噪声性能越⑩。
6. 若在其它条件相同的情况下, 当  $M > 2$  时, MASK 的抗噪声性能比 MPSK 的     ;  $M > 4$  时, MQAM 的抗噪声性能比 MPSK 的     。
7. MASK 的信号星座图是⑬维, MPSK( $M > 2$ )是⑭维, 正交 MFSK 是⑮维, MSK 是⑯维。
8. MSK 的主要特点是相位⑰, 且频率间隔为⑱  $R_b$ 。
9. 格雷码是数字调制中经常采用的编码方式, 对四进制调制来说, 按照格雷码来编码的双比特码元依次为 00、10、⑲、⑳。

10. 眼图中央的横轴位置对应于 ②①；当码间干扰十分严重时，眼图中的“眼睛”会完全 ②②，系统的抗噪声性能会很 ②③。
11. 在 PCM 系统中常用的两种制式是 A 律和  $\mu$  律，我国使用的是 ②④ 律；编码所采用的二进制码型是 ②⑤。

二. (12 分) 在如下图所示通信系统中，信息速率为  $R_b$ ，理想低通滤波器增益为  $T_b$ ，试：

- (1) 写出系统传递函数  $H(f)$ ；
- (2) 本通信系统在进行判决检测时存在误码传播现象，该如何解决？(回答并画出框图，只需画出改变的部分即可)；
- (3) (续(2))在加性白高斯噪声干扰的情况下，接收端在  $t=nT_b$  的抽样值为  $y_n$ ，系统按照逐个符号检测原理进行判决，写出抽样时刻的输出判决表达式。
- (4) 写出系统频带利用率。



三. (10 分) 已知 2FSK 通信系统以独立等概的方式发送信号为

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos 2\pi f_1 t \quad (0 \leq t < T_b), \quad s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos 2\pi f_2 t \quad (0 \leq t < T_b), \quad s_1(t) \text{ 和 } s_2(t) \text{ 是正交的。试}$$

- (1) 写出该系统的归一化正交基函数；
- (2) 写出发送信号  $s_1(t)$  和  $s_2(t)$  的矢量表示；
- (3) 画出信号空间图，并标出星座点之间的欧氏距离；
- (4) 画出该系统的相关型最佳接收框图。

四. (11 分) 某系统在  $[0, T_b]$  时间内以等概、互不相关的方式发送信号  $s_1(t)$  和  $s_2(t)$

之一, 其中  $s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos \omega_c t$  ( $0 \leq t < T_b$ ),  $s_2(t) = 0$  ( $0 \leq t < T_b$ )。接收信号为

$r(t) = s_i(t) + n_w(t)$ 、 $i = 1, 2$ ,  $n_w(t)$  为白高斯噪声。将  $r(t)$  通过一个冲激响应为

$h(t) = s_1(T_b - t)$  滤波器, 其输出信号  $y(t)$  在  $t = T_b$  时刻的值是  $y$ 。试求

- (1) 发送  $s_1(t)$  条件下的均值  $E[y|s_1]$ 、方差  $D[y|s_1]$  和概率密度函数  $p(y|s_1)$ ;
- (2) 判决门限;
- (3) 该系统的平均误比特率。

五. (12 分) 某 2DPSK 数字通信系统的发送部分如图 5-1 所示, 若输入二进制序列  $b_n$  为 100101,  $d_n$ 、 $a_n$ 、 $\theta_n$  对应的初始值如图 5-2 所示, 试:

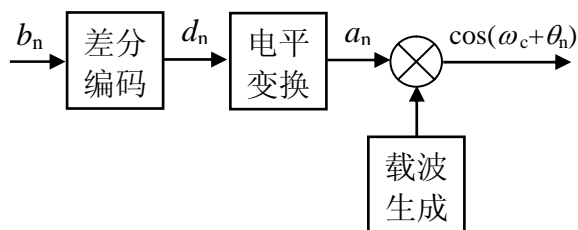


图 5-1

$\{n\}$	0	1	2	3	4	5	6
$\{b_n\}$		1	0	0	1	0	1
$\{d_n\}$	1						
$\{a_n\}$	-1						
$\{\theta_n\}$	$\pi$						

图 5-2

- (1) 写出  $d_n$ 、 $a_n$ 、 $\theta_n$  对应的值;
- (2) 2DPSK 与 2PSK 相比主要优、缺点是什么?
- (3) 若系统以信息速率  $R_b$ 、载波频率  $f_c$  ( $f_c \gg R_b$ )、以及等概和互不相关的方式发送 0 和 1 信息序列, 画出该系统的发送信号序列的功率谱密度图。

六. (12 分) 在矩形 16QAM 系统中以独立和等概的方式发送各个信号, 其信号表达式为  $s_i(t) = a_{ic}g(t)\cos\omega_c t - a_{is}g(t)\sin\omega_c t$  ( $0 \leq t < T_s$ ), 其中  $a_{ic} = 2i_c - 5$ 、 $a_{is} = 2i_s - 5$ 、 $i_c, i_s \in \{1, 2, 3, 4\}$ ,  $g(t)$  为基带成型滤波器的冲激响应, 定义  $E_g = \int_0^{T_s} g^2(t)dt = 2$ 。试

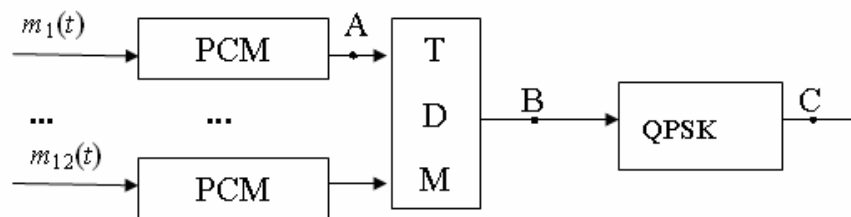
- (1) 画出该系统的信号空间图、标明最佳判决区域;
- (2) 写出最小欧氏距离;
- (3) 画出该系统的相关型最佳接收框图;
- (4) 若 MASK 最佳接收的平均误符号率为  $P_{\text{MASK}} = \frac{2(M-1)}{M} Q\left(\sqrt{\frac{6(\log_2 M)E_b}{(M^2-1)N_0}}\right)$ ,

写出该矩形 16QAM 系统的平均误符号率。

七. (10 分) 设有一幅度为均匀分布的模拟信号  $m(t)$ , 其最低频率为  $f_1=1\text{kHz}$ , 最高频率为  $f_2=2f_1$ , 现要对其进行离散化, 然后进行数字传输, 试问:

- (1) 若对  $m(t)$  进行低通抽样, 则最低抽样频率  $f_L$  为多少?
- (2) 若对  $m(t)$  进行带通抽样, 则最低抽样频率  $f_B$  为多少?
- (3) 对  $m(t)$  抽样后, 然后进行均匀量化, 如果要求量化信噪比不低于 40dB, 最小量化级数  $M$  为多少?
- (4) 若按小题(1)中的抽样频率、按小题(3)中量化后进行编码, 则其信息速率  $R_b$  为多少? (要求量化级数须是 2 的整数幂)

八. (8 分) 如下图所示, 12 路模拟基带信号, 每路信号的最高频率为 5KHz, 对每路信号分别以奈奎斯特取样速率进行抽样, 按照 A 律十三折线 PCM 进行量化编码, 然后进行时分复用和 QPSK 调制。已知 QPSK 载波频率为  $f_c=10\text{MHz}$ 。试:



- (1) 写出 A、B 点信息速率, C 点符号速率;
- (2) 画出 C 点 QPSK 的功率谱图, 标出必要的参数。

#### 提示

- (1) 本试题中的出现的“白高斯噪声”一律具备平稳、遍历特性, 其均值为零, 双边功率谱密度为  $N_0/2$ 。本试题中, 记号  $n_w(t)$  总指白高斯噪声。若令  $z(t) = \int_0^t s(u)n_w(u)du$ , 则  $z(t)$  的均值为零, 方差为  $\int_0^t s^2(u)N_0/2du$ 。
- (2) 若随机变量  $x \sim N(0, \sigma^2)$ ,  $z > 0$ , 则  $P(|x| > z) = \text{erfc}\left(\frac{z}{\sqrt{2}\sigma}\right)$ , 其中  $\text{erfc}(u) \triangleq \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^\infty e^{-t^2} dt$ ,  $Q(x) \triangleq \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$
- (3) 均匀量化器的量化信噪比等于量化电平数  $M$  的平方 ( $M \gg 1$ )
- (4) MAP 准则: 最大后验概率准则
- (5) ML 准则: 最大似然准则

# 《通信原理》期末考试 A 卷参考答案

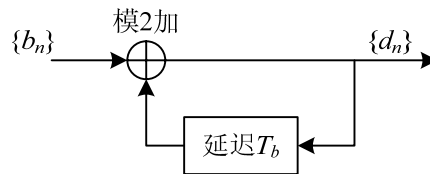
## 一. 选择填空

空格编号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
答案编号	y	h	g	n	m	l	j	a	o	f	g	f	x
空格编号	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	
答案编号	y	己	y	甲	庚	w	乙	s	辛	g	癸	d	

## 二、(1)

$$\begin{aligned}
 H(f) &= (1 + e^{-j2\pi f T_b}) H_{LPF}(f) \\
 &= 2e^{-j\pi f T_b} \cos(\pi f T_b) H_{LPF}(f) \\
 &= \begin{cases} 2T_b e^{-j\pi f T_b} \cos(\pi f T_b) & |f| \leq \frac{1}{2T_b} \\ 0 & \text{其它} \end{cases}
 \end{aligned}$$

(2)可在发端加入预编码来解决误码传播问题。如下图所示：



将 $d_n$ 送至题图中的“电平变换”。

(3)信息 $b_n \in \{1,0\}$ 经过差分编码成为 $d_n \in \{1,0\}$ ，再电平变换为 $a_n \in \{\pm 1\}$ 。受噪声干扰后，收端抽样结果是

$$y_n = c_n + \xi_n = a_n + a_{n-1} + \xi_n$$

其中 $\xi_n$ 是抽样值中的噪声，为零均值高斯随机变量， $c_n = a_n + a_{n-1}$ 是相关编码的结果。根据差分编码的编码规则，若发送信息 $b_n = 0$ ，则 $a_n = a_{n-1}$ ，此时 $c_n$ 的值是+2或-2；若信息 $b_n = 1$ ，则 $a_n = -a_{n-1}$ ，此时 $c_n$ 的值是 0。于是判决规则可设计为

$$b_n = \begin{cases} 1 & |y_n| < 1 \\ 0 & |y_n| \geq 1 \end{cases}$$

(4)作为一种二进制的基带部分响应系统，其频带利用率是 2Baud/Hz=2bps/Hz。

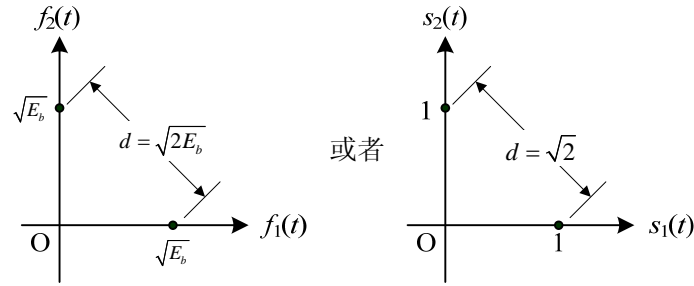
三. (1) $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 已经是正交的，将它们进行能量归一化即可得到归一化正交基函数为

$$f_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos 2\pi f_1 t$$

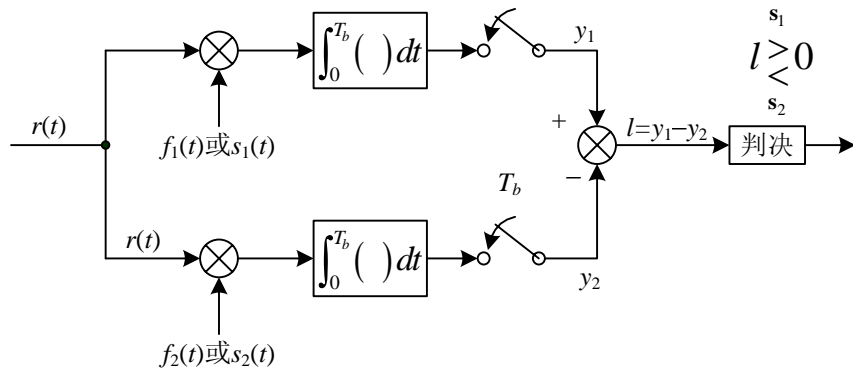
$$f_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos 2\pi f_2 t$$

(2)  $s_1(t) = \sqrt{E_b} \times f_1(t) + 0 \times f_2(t)$ , 因此其向量表示是  $\mathbf{s}_1 = [\sqrt{E_b}, 0]$ ; 同理,  $s_2(t)$  的向量表示是  $\mathbf{s}_2 = [0, \sqrt{E_b}]$ 。

(3)



(4)



四. (1)滤波器的输出是

$$y(t) = \int_0^{T_b} h(t - \tau) r(\tau) d\tau = \int_0^{T_b} s_1(T_b - t + \tau) r(\tau) d\tau$$

取样值是

$$y = y(T_b) = \int_0^{T_b} s_1(\tau) r(\tau) d\tau = \int_0^{T_b} s_1(\tau) [s_1(\tau) + n_w(\tau)] d\tau = E_1 + Z$$

其中

$$E_1 = \int_0^{T_b} s_1^2(\tau) d\tau = \int_0^{T_b} \frac{2E_b}{T_b} \cos^2 \omega_c \tau d\tau = E_b$$

$$Z = \int_0^{T_b} s_1(\tau) n_w(\tau) d\tau$$

因此

$$E[y|s_1] = E[E_1 + Z] = E_1 + E[Z] = E_b$$

$$D[y|s_1] = D[E_1 + Z] = D[Z] = \frac{N_0 E_b}{2}$$

$$p(y|s_1) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0 E_b}} \exp\left(-\frac{(y - E_b)^2}{N_0 E_b}\right)$$

(2) 由于发送信号等概, 故此最佳判决门限应为信号星座点的中点, 即  $V_{th} = \frac{E_b}{2}$ 。

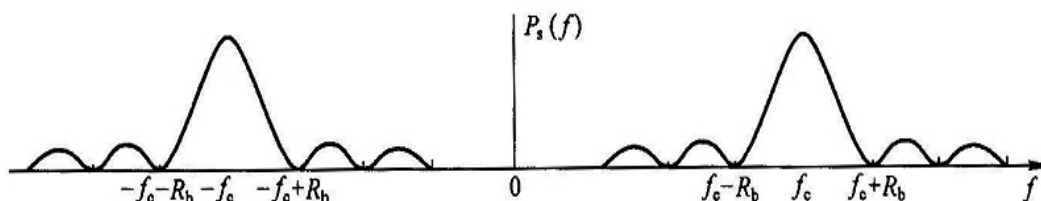
$$(3) P_e = P\left(y < \frac{E_b}{2} | s_1\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{4N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}}\right)。$$

五. (1):

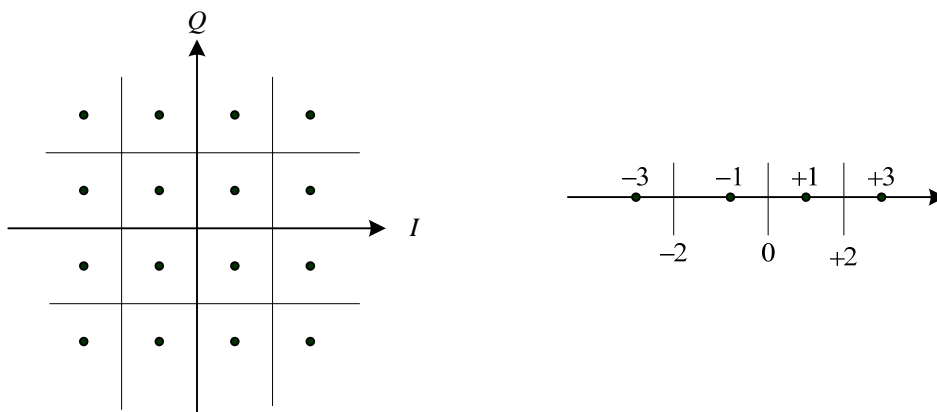
$n$	0	1	2	3	4	5	6
$b_n$		1	0	0	1	0	1
$d_n$	1	0	0	0	1	1	0
$a_n$	-1	1	1	1	-1	-1	1
$\theta_n$	$\pi$	0	0	0	$\pi$	$\pi$	0

(2) DPSK 比 BPSK 的优点主要是能克服相干解调中的相位模糊度的影响，并能支持非相干解调。主要缺点是抗噪声性能下降。

(3) 功率谱密度如下图所示

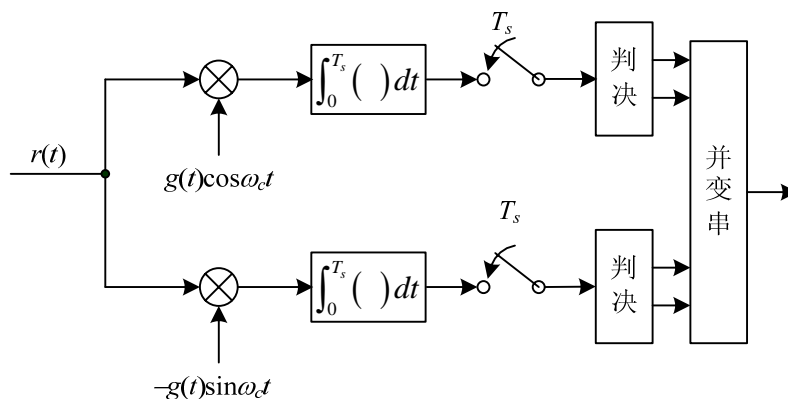


六. (1) 星座图如下所示，图中直线分割而成的区域就是各个星座点的判决域。对于此星座图，实际上还可以按 I、Q 分别判决，此时的判决域如右图所示（I、Q 相同）。



(2)  $d_{\min}=2$ ;

(3) 接收框图如下



(4) 此 16QAM 由两个正交的 4ASK 组成，每个 4ASK 的功率是 16QAM 总功率的一半，同时比特数也少一

半，所以若 16QAM 的平均比特能量是  $E_b$ ，则 4ASK 的比特能量也是  $E_b$ 。因此每个 4ASK 的平均误符号率为

$$P_{4ASK} = \frac{2(4-1)}{4} Q\left(\sqrt{\frac{6 \log_2 4 E_b}{(4^2-1)N_0}}\right) = \frac{3}{2} Q\left(\sqrt{\frac{4E_b}{5N_0}}\right)$$

每个 4ASK 的平均符号能量为  $E_{4ASK} = \frac{3^2+1^2+(-1)^2+(-3)^2}{4} \times \frac{E_g}{2} = 5$ ，平均比特能量为  $E_b = \frac{5}{2}$ 。当且仅当两个 4ASK 的判决都正确时，16QAM 的符号才算正确，因此 16QAM 的平均误符号率为

$$P_{16QAM} = 1 - (1 - P_{4ASK})^2 = 2P_{4ASK} - P_{4ASK}^2 = 3Q\left(\sqrt{\frac{2}{N_0}}\right) - \frac{9}{4}Q^2\left(\sqrt{\frac{2}{N_0}}\right)$$

七. (1)按基带进行采样时，最小采样率应为最高频率的两倍，即 4kHz；

(2)按带通信号进行采样时，2 倍最高频率是 4kHz，2 倍带宽是 2kHz，因此最小抽样率是 2kHz；

(3) $M^2 = 10^{\frac{40}{10}} = 10000$ ，由此得  $M = 100$ 。

(4)取  $M = 128$ ，则每样值编码为 7 比特，每秒有 4k 个样值，故此信息速率是  $7 \times 4k = 28\text{kbps}$ 。

八. (1)每路的抽样率是  $5\text{kHz} \times 2 = 10\text{kHz}$ ，A 律十三折线 PCM 编码将每个样值编为 8bit，因此 A 点的信息速率是  $R_A = 10k \times 8 = 80\text{kbps}$ 。B 点输出是 12 路 80kbps 的时分复用，因此 B 点信息速率是  $R_B = 80\text{kbps} \times 12 = 960\text{kbps}$ 。QPSK 是 4 进制调制，因此 C 点的符号速率是  $R_C = \frac{960k}{2} = 480\text{kBaud}$ 。

(2)功率谱密度如下图所示，图中  $f_c = 10\text{MHz}$ 。

