

# 北京邮电大学 2020—2021 学年第 II 学期

## 《通信原理 I》期末考试试题（A 卷）

注意事项	闭卷考试，不使用计算器 手机关机、离身						
考试课程	通信原理 I	考试时间	2021 年 6 月 25 日				
题号	一	二	三	四	五	六	总分
满分	20	16	16	16	16	16	100
得分							
阅卷教师							

### 一. 选择填空

在候选答案中选出最佳的一个答案写在下面的答题表中，写在别处不得分

空格号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
答案	A	C	B	D	C	B	A	A	D	D
空格号	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
答案	A	C	B	C	B	D	A	C	D	C

1. 给定数据速率为  $R_b$ ，已调信号的最大幅度为  $A$ ，信道白噪声的单边功率谱密度为  $N_0$ 。下列调制方式中，误比特率最高的是(1)，带宽最大的是(2)。

(1)(2)	(A) OOK	(B) 2DPSK	(C) 2FSK	(D) 2PSK
--------	---------	-----------	----------	----------

2. 将速率为 100kbit/s 的独立等概二进制数据经过差分编码后进行 BPSK 调制，得到的是(3)信号，其主瓣带宽是(4)kHz。接收端可以采用(5)来解调。

(3)	(A) 2FSK	(B) DPSK	(C) QPSK	(D) OOK
(4)	(A) 50	(B) 100	(C) 150	(D) 200
(5)	(A) 微分	(B) 锁相环	(C) 差分相干	(D) 包络检波器

3. 下列调制方式中，频带利用率最高的是(6)，最低的是(7)。给定  $E_b/N_0$  的条件下，误符号率最低的是(8)，最高的是(9)。

(6)(7)(8)(9)	(A) 16FSK	(B) 16QAM	(C) QPSK	(D) 8ASK
--------------	-----------	-----------	----------	----------

4. 每个 64QAM 符号携带(10)个比特。若系统的比特速率是 12Mbit/s，则其符号速率是(11)MBaud。若基带采用矩形脉冲成形，则其主瓣带宽是(12)MHz；若基带采用滚降因子为 0.5 的升余弦滚降，则其带宽是(13)MHz。

(10)(11)(12)(13)	(A) 2	(B) 3	(C) 4	(D) 6
------------------	-------	-------	-------	-------

5. 某 16 进制调制系统的平均发送功率是 2 瓦，比特速率是 1Mbit/s，其符号间隔是(14)微秒，平均比特能量是  $E_b=(15)$ 微焦耳。

(14)(15)	(A) 1	(B) 2	(C) 4	(D) 8
----------	-------	-------	-------	-------

6. 在  $M$  进制通信的最佳接收中，当发送信号(16)时，MAP 准则与 ML 准则等价。当传输信道为(17)信道时，按 ML 准则判决等同于按最小欧氏距离判决。

(16)	(A) 等能量	(B) 不等概	(C) 后验等概	(D) 先验等概
(17)	(A) AWGN	(B) 无噪声	(C) 无符号间干扰	(D) 无失真

姓名:

学号:

班级:

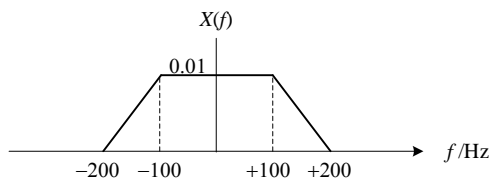
7. 对带宽为 3kHz 的实信号  $x(t)$  进行理想采样, 要求采样后频谱不发生交叠。若  $x(t)$  是带通信号, 其最高频率是 20kHz, 最低采样率是(18)kHz。

(18)	(A) 10/3	(B) 6	(C) 20/3	(D) 8
------	----------	-------	----------	-------

8. 某 A 律十三折线 PCM 编码器的设计输入范围是  $[-32, +32]$  V, 若采样值为 +8.1V, 则编码器的输出码组是(19), 解码器输出的量化电平是(20)V。

(19)	(A) 11111011	(B) 01101000	(C) 11100001	(D) 11100000
(20)	(A) 8	(B) 8.1	(C) 8.25	(D) 8.5

二. (16 分) 某四进制最佳基带传输系统的总体传递函数  $X(f)$  如图所示。

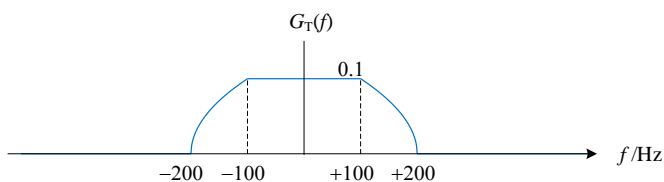


- (1) 求该系统的总体冲激响应  $h(t)$ ;
- (2) 求该系统无 ISI 传输的最高比特速率及对应的频带利用率;
- (3) 画出发送滤波器  $G_T(f)$  的传递函数图。

1). 梯形是两个矩形的卷积, 梯形的顶宽、低宽分别是两个矩形的宽度差与宽度和, 所以图中  $X(f)$  是宽度为 300 和 100 的两个矩形的卷积。频域卷积对应时域乘积, 即  $x(t) = c \cdot \text{sinc}(100t) \text{sinc}(300t)$ , 其中  $c = x(0)$ 。根据傅氏变换的性质, 一个域中的原点值是另一个域的面积, 故  $c = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) df = \frac{200+400}{2} \times 0.01 = 3$ 。因此  $x(t) = 3 \text{sinc}(100t) \text{sinc}(300t)$ 。

2). 上式在  $t = \frac{n}{300}, n \neq 0$  处为零, 因此最高速率是  $300 \log_2 4 = 600 \text{ bit/s}$ , 带宽是 200Hz, 频带利用率是  $\frac{600}{200} = 3 \text{ bit/s/Hz}$ 。

3). 图形为



姓名:

学号:

班级:

三. (16 分) 某二进制调制系统在  $[0, T_b]$  内等概发送如下两个信号之一:

$$\begin{cases} s_1(t) = 2\cos\left(\frac{100\pi t}{T_b}\right) + \sin\left(\frac{101\pi t}{T_b}\right) \\ s_2(t) = 2\cos\left(\frac{100\pi t}{T_b}\right) - \sin\left(\frac{101\pi t}{T_b}\right) \end{cases}, \quad 0 \leq t \leq T_b$$

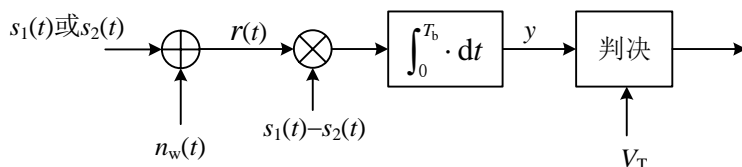
发送信号通过 AWGN 信道传输, 信道噪声的双边功率谱密度为  $N_0/2$ 。

- (1) 求平均比特能量  $E_b$ , 信号  $s_1(t)$ 、 $s_2(t)$  的相关系数  $\rho_{12}$ ;
- (2) 画出最佳接收框图;
- (3) 求系统的误比特率。

令  $a(t) = \cos\left(\frac{100\pi t}{T_b}\right)$ ,  $b(t) = 2\sin\left(\frac{102\pi t}{T_b}\right)$ ,  $0 \leq t \leq T_b$  则  $a(t), b(t)$  正交且能量分别是  $\frac{T_b}{2}$  和  $2T_b$ 。  $s_1(t) = a(t) + b(t)$ ,  $s_2(t) = a(t) - b(t)$ 。故  $E_b = E_1 = E_2 = 2.5T_b$ 。

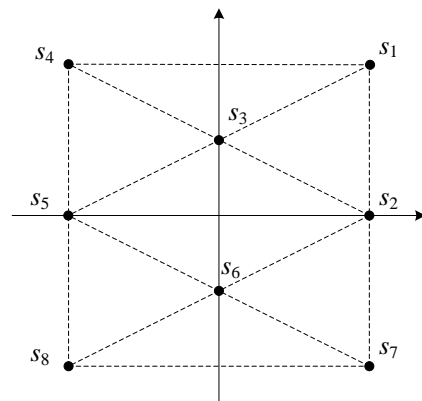
$$\rho = \frac{\int_0^{T_b} s_1(t)s_2(t)dt}{\sqrt{E_1E_2}} = \frac{2}{5T_b} \int_0^{T_b} a^2(t) - b^2(t)dt = \frac{2\left(\frac{T_b}{2} - 2T_b\right)}{5T_b} = -\frac{3}{5}$$

接收端对  $s_1(t) - s_2(t) = 2b(t)$  做投影, 框图如下



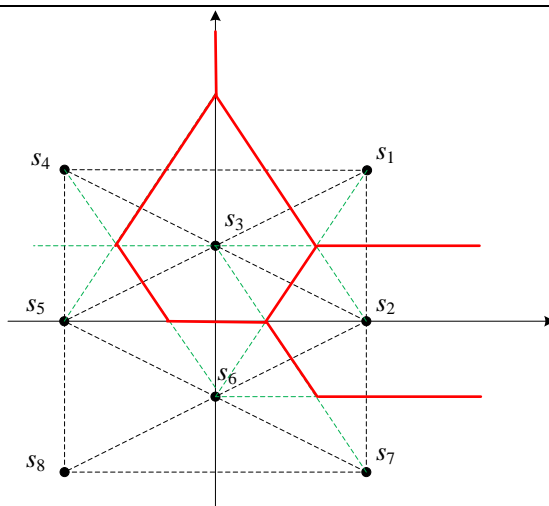
无噪声情况下, 发送  $s_1(t)$  时,  $y = \int_0^{T_b} [a(t) + b(t)] 2b(t) dt = 4T_b$ ; 发送  $s_2(t)$  时,  $y = \int_0^{T_b} [a(t) - b(t)] 2b(t) dt = -4T_b$ 。判决输入噪声是  $z = \int_0^{T_b} n_w(t) \cdot 2b(t) dt$ , 其方差为  $\sigma^2 = \frac{N_0}{2} \times 4(2T_b) = 4N_0T_b$ 。  $\text{BER} = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{4T_b}{\sqrt{2\sigma^2}}\right) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{2T_b}{N_0}}\right)$

四. (16 分) 右图是某八进制调制在归一化正交基下的星座图，各星座点等概出现。按矢量表示， $s_1=(2,2)$ 、 $s_2=(2,0)$ ， $s_3=(0,1)$ 。发送某个星座点  $s \in \{s_1, s_2, \dots, s_8\}$ ，收到  $r = s + z$ ，其中噪声向量  $z$  的元素是独立同分布的零均值高斯随机变量，方差均为 0.5。试：



- (1) 求出平均符号能量  $E_s$ 、最小星座点距离  $d_{\min}$ ；
- (2) 标出  $s_1, s_2, s_3$  的最佳判决域；
- (3) 写出发送  $s_2$  条件下接收信号  $r$  的条件概率密度函数  $p(r|s_2)$ ；
- (4) 写出收到  $r = s_2$  条件下后验概率最大的星座点。

$$E_1 = E_4 = 8, \quad E_{25} = 4, \quad E_3 = 1, \quad E_s = \frac{E_1 + E_4 + E_2 + E_3}{4} = \frac{2 \times 8 + 4 + 1}{4} = \frac{21}{4}, \quad d_{\min} = |s_1 - s_2| = 2$$



$$p(r|s_2) = \frac{1}{\pi} e^{-\|r - s_2\|^2}$$

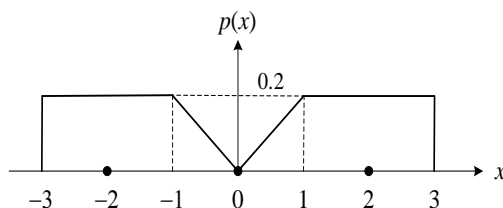
$s_2$

姓名:

学号:

班级:

五. (16 分) 某三电平均匀量化器的三个量化区间是  $[-3, -1)$ 、 $[-1, +1)$ 、 $[+1, +3]$ , 对应的量化电平是  $-2, 0, +2$ 。已知量化器输入  $X$  的概率密度函数  $p(x)$  如右图所示。试求:



- (1) 输入信号  $X$  的功率  $S = E[X^2]$ ;
- (2) 各量化电平的出现概率, 量化输出  $Y$  的功率  $S_q = E[Y^2]$ ;
- (3) 量化噪声功率  $N_q = E[(Y - X)^2]$ ;
- (4) 在  $Y = 0$  条件下, 量化误差的绝对值不超过 0.5 的概率。

$S = 2 \int_0^3 x^2 p(x) dx = 2 \int_0^1 \frac{x^3}{5} dx + 2 \int_1^3 \frac{x^2}{5} dx = 2 \frac{1}{20} + \frac{2}{15} [3^3 - 1] = \frac{107}{30}$
$P(Y = 2) = P(Y = -2) = \frac{2}{5}, P(Y = 0) = \frac{1}{5}$
$E[Y^2] = \frac{16}{5}$
$N_q = E[(Y - X)^2] = 2 \int_1^3 (x - 2)^2 \frac{1}{5} dx + 2 \int_0^1 x^2 \frac{x}{5} dx$ $= \frac{2}{5} \int_{-1}^1 t^2 dx + \frac{2}{5} \int_0^1 x^3 dx = \frac{4}{5} \cdot \frac{1}{3} + \frac{2}{5} \cdot \frac{1}{4} = \frac{11}{30}$
$10 \int_0^{0.5} \frac{x}{5} dx = \frac{1}{4}$

六. (15 分) 设有 12 路模拟基带信号，每路的最高频率均为 4kHz。对每一路按奈奎斯特速率采样，每个样值按 A 律十三折线量化编码，最后将多路数据时分复用为一路速率为  $R_b$  的数据，再通过带宽为 250kHz 的带通信道用 MQAM 传输。试写出复用后的速率  $R_b$ ，并设计相应的调制方式（写出进制数、符号速率、滚降系数）。

速率	768kbps
频带利用率	3.072bit/s/Hz
调制	16QAM
符号速率	192kBaud
滚降系数	29/96