《通信原理》A 卷答案及评分标准

一．填空（每题 1 分，共 20 分）

(1) 已知数据速率是 9600bps，基带信号采用滚降系数为 0.5 的根升余弦脉冲。若采用 QPSK，则已调信号的带宽是 7200 Hz，频谱效率是 4/3 bps/Hz；若采用 8PSK，则已调信号的带宽是 4800 Hz，频谱效率是 2 bps/Hz。

(2) 某 64QAM 系统发送端采用了根升余弦滚降成形，其发送信号的单边功率谱密度图如下所示。从图中可知，发送信号功率是 6 W，滚降系数是 1/3，符号速率是 3 MBaud，比特速率是 18 Mbps。

(3) 将 N 路话音信号分别通过截止频率为 f_H 的理想低通滤波器，然后按奈氏速率采样，A 律十三折线编码，最后时分复用为一路速率为 R_b 的数据。若 N=10，R_b=560kbps，则 f_H 不得大于 3.5 kHz。若 R_b=2.048Mbps，f_H=4kHz，则最多可以传输 N= 32 路话音。若 f_H=3kHz，N=100，则输出速率 R_b=4800 kbps。

(4) 假设四进制调制的两个比特的平均能量 E_b=1，则 4ASK 的最小星座点间距离是 $\sqrt{8/5}$，4PSK 是 2，正交 4FSK 是 2。

(5) 设2FSK 在$[0,T_b]$内发送$s_1(t)=\cos 2000\pi t$或$s_2(t)=\cos(2\pi f_a t-\varphi)$。假设 T_b=50ms，$f_a>1000$。当$\varphi=0$时，能使$s_1(t),s_2(t)$正交的最小f_a= 1010 Hz；当$\varphi=\frac{\pi}{2}$时，能使$s_1(t),s_2(t)$正交的最小f_a= 1020 Hz。

(6) 设 A 律十三折线编码器的动态范围是[−2048,+2048]。若对于所有取值落在区间(a,b)中的样值，其编码结果的高 4 位都是 1110，则 a= 512，b= 1024。

(7) 矩形星座格雷映射的 16QAM 调制的 I 路和 Q 是两个独立的 4ASK。若已知这两个 4ASK 的符号错误率都是 0.0002，则 16QAM 的符号错误率近似是 0.0004，16QAM 的平均比特错误率近似是 0.0001。

二．选择填空（每题 1 分，共 20 分。）

选择填空答题表

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

三．判断题（每题 1 分，共 10 分。请在“正误”栏中打√或×）

序号	题目	正误
1	OQPSK 的目的是为了能够相干解调。	×
2	数据速率相同时，16QAM 所需的信道带宽是 QPSK 的一半。	√
3	2FSK 的载频间隔越大，则频带利用率越高	×
4	在 MQAM 中，如欲频谱效率提高 1 倍，应将星座图中的星座点数提高 1 倍。	×
5	给定 E_b/N_0 的条件下，MFSK 的误码率随 M 的增加而减小。	√
6	对于固定的 M 以及 E_s/N_0，MFSK 的误码率随载频之间频差的增加而单调下降。	×
7	无论量化器的输入服从何种分布，均匀量化器的量化信噪比都近似等于量化级数的平方。	×
8	GSM 手机所用的 GMSK 调制是在 MSK 的基础上发展出来的。	√
9	对带宽为 B 的带通信号进行采样时，不发生频谱混叠需要的最小采样率有可能比 $2B$ 略高。	√
10	如果这 10 道题的答案是 10 个独立同分布的、$p=0.5$的伯努力随机变量，那么答案中一定有 5 个×，5 个√。	×

四．（10 分）

解：(1) 【2 分】 $G(f)=\begin{cases} T_b, & |f|\le \frac{1}{2T_b} \\ 0, & \text{else} \end{cases}$，$P_s(f)=\frac{1}{T_b}|G(f)|^2=\begin{cases} T_b, & |f|\le \frac{1}{2T_b} \\ 0, & \text{else} \end{cases}$

【2 分】判决规则是 $\hat{b}_n=\begin{cases} 1, & r_n<0 \\ 0, & r_n\ge 0 \end{cases}$

(2)(a)【2 分】

$$\begin{aligned} s(t) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty}(a_n+a_{n-1})g(t-nT_b)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}a_n g(t-nT_b)+\sum_{n=-\infty}^{\infty}a_{n-1}g(t-nT_b) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty}a_n g(t-nT_b)+\sum_{m=-\infty}^{\infty}a_m g(t-mT_b-T_b)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}a_n\tilde{g}(t-nT_b) \end{aligned}$$

其中$\tilde{g}(t)=g(t)+g(t-T_b)$，其傅氏变换的模平方为$|G(f)|^2\cdot\left|1+e^{-j2\pi fT_b}\right|^2=|G(f)|^2\cdot 4\cos^2\pi fT_b$，

因此，$P_s(f)=\frac{1}{T_b}|\tilde{G}(f)|^2=\begin{cases} 4T_b\cos^2\pi fT_b, & |f|\le\frac{1}{2T_b} \\ 0, & \text{else} \end{cases}$

【注意解题过程的不同能形成多种等价的结果，例如：$2\cos^2\pi fT_b=1+\cos 2\pi fT_b$ 】

【解二】

用$s_1(t),s_2(t)$分别表示(1)、(2)两题的$s(t)$。$s_2(t)$等价于$s_1(t)$通过了一个传递函数为$1+e^{-j2\pi fT_b}$的线性时不变系统，因此$P_2(f)=P_1(f)\cdot\left|1+e^{-j2\pi fT_b}\right|^2$ 。然后得到与解一相同的结果。

(b)【2 分】

$$c_n=a_n+a_{n-1}=(-1)^{d_n}+(-1)^{d_{n-1}}=(-1)^{b_n+d_{n-1}}+(-1)^{d_{n-1}}$$

由于$(-1)^2=(-1)^0$，所以上式指数中的模 2 加与普通加等价。因此$c_n=\left[(-1)^{b_n}+1\right]\cdot(-1)^{d_{n-1}}$

若$b_n=0$，c_n的可能取值是± 2。若$b_n=1$，c_n的取值是 0

(c)【2 分】判决规则是$\hat{b}_n = \begin{cases} 1, & |r_n| < 1 \\ 0, & |r_n| \geq 1 \end{cases}$

五.（10 分）

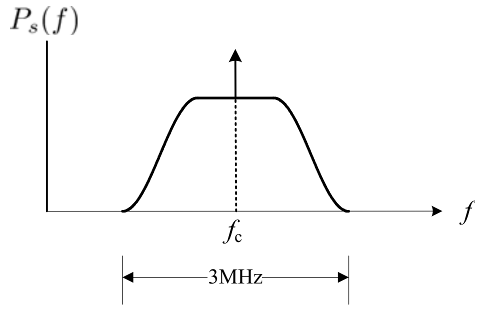
解：

(1) 【3 分】$P_a = \frac{1}{16}, P_b = \frac{3}{16}, P_c = \frac{9}{16}, P_d = \frac{3}{16}$

(2) 【3 分】$E_a = E_d = 9, E_b = E_c = 1$

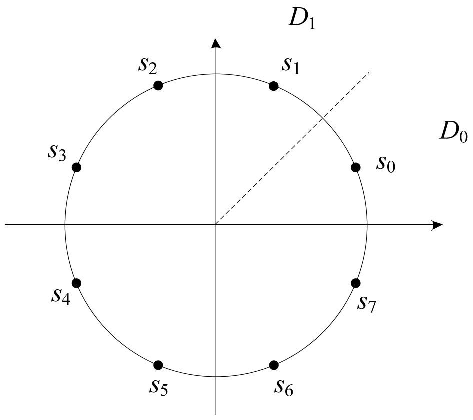
(3) 【3 分】$E_\mathrm{s} = 9 \times \left(\frac{1}{16} + \frac{3}{16}\right) + 1 \times \left(\frac{3}{16} + \frac{9}{16}\right) = 3$，$E_\mathrm{b} = 1.5$

(4) 【1 分：答对升余弦形状并标出频率即可，如果还能标出冲激，可补本题其他地方的扣分】



六.（10 分）

(1) 【4 分】



(2)【1 分】$\frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\cos\frac{\pi}{8}\right)$。

(3)【2 分】加性高斯噪声条件下，最大似然等同于最小欧氏距离。因此离 y 最近的是 s_7。

(4)【2 分】似然函数相等，说明欧氏距离相等，因此 y=0。

(5)【1 分】$f(y|s_0) = \frac{1}{\pi \mathrm{e}}$ （有基本过程，即使无此结果也得分）

七.（10 分）

解：

(1)【4 分】$m(t)$是速率为 1bps 的双极性 PAM 信号，其带宽是 W=1Hz。功率$P = E_g$。

(2)【3 分】采样率是被采样信号带宽的 2 倍，按照奈奎斯特抽样定理，此时应取$p(t) = \mathrm{sinc}(2t)$，相应的$e(t)$功率是 0

(3)【2 分】$g(t)$满足奈奎斯特采样点无码间干扰准则，因此$\{m_n\} = \{a_n\}$，因此取$p(t) = g(t)$，相应的$e(t)$功率是 0

(4)【1 分】 $p(t) = g(t)$，相应的$e(t)$功率是 P/2。

八.（10 分）

(1) 【4 分】$P_{1+a} = \int_1^2 p(x)\mathrm{d}x = \frac{1}{4}, P_a = 1 - P_{1+a} = \frac{3}{4}$

(2) 【1 分】随机变量$U = X - b$的概率密度函数是$p(u+b)$。在$Y = a$的条件下，$Z = X - Y = X - a$的条件概率密度函数是$\frac{p(z+a)}{P_a}, z \in [-a, 1-a]$。

同理，在$Y = 1 + a$的条件下，$Z = X - Y = X - 1 - a$的条件概率密度函数是$\frac{p(z+1+a)}{P_{1+a}}, z \in [-a, 1-a]$。

合并后得到$f(z) = P_a f_a(z) + P_{1+a} f_{1+a}(z) = p(z+a) + p(z+z+a), z \in [-a, 1-a]$这是$p(x)$前后两段的叠加，然后移动到$[-a, 1-a]$，因此$f(z) = \frac{3}{2} - a - z, z \in [-a, 1-a]$

(3) 【2 分】随机变量 Z 的样本空间是$[-a, 1-a]$，因此最大绝对值或者是a，或者是$1-a$。最大值最小的情形是$a = \frac{1}{2}$

(4) 【2 分】$\mathsf{E}[Z] = \int_{-a}^{1-a} z \left(\frac{3}{2} - a - z\right) \mathrm{d}z = \frac{5}{12} - a$。能使均值为 0 的 *a* 值是$a = \frac{5}{12}$。

还可以这样考虑：前述 Z 的概率密度形式已经表明它是区间[0,1]上密度为$p(x) + p(1+x)$的某个随机变量$\tilde{X}$左移 *a*：$Z = \tilde{X} - a$。求$\tilde{X}$的均值为$\frac{5}{12}$，故得 Z 的均值为$\frac{5}{12} - a$。

(5) 【1 分】$\tilde{X}$方差不依赖 *a*，因此 Z 的二阶矩最小发生在 Z 均值为 0 时，故$a = \frac{5}{12}$。

或者算积分$\int_{-a}^{1-a} z^2 (\frac{3}{2} - a - z) \mathrm{d}z = \frac{1}{4} - \frac{5}{6}a + a^2$，然后得到$a = \frac{5}{12}$