通信原理复习题答案（参考）

六、计算题

1、（1）∵ $\left(\dfrac{S}{N}\right)_{dB}=26dB$ ，即 $\dfrac{S}{N}=10^{26/10}=398$

∴ $C=B\log_2\left(1+\dfrac{S}{N}\right)=4\times10^3\log_2(1+398)=34.56$ （kbit/s）

（2）∵ M=32

∴ $H=\log_2 M=\log_2 32=5$ （bit/符号）

$R_B=\dfrac{R_{b\max}}{H}=\dfrac{C}{H}=\dfrac{34.56\times10^3}{5}=6912$ （波特）

2、（1）平均信息量：

$$H(x)=-\sum_{i=1}^{n}p(x_i)\log_2 p(x_i)=-\left[\frac{3}{16}\log_2\frac{3}{16}+\frac{1}{16}\log_2\frac{1}{16}+\frac{1}{4}\log_2\frac{1}{4}+\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}\right]$$
$$=1.79(bit/符号)$$

（2）符号速率为：

每个符号用两个脉冲表示，即符号宽度为1ms，因此， $R_B=\dfrac{1}{1\times10^{-3}}=1000(波特)$

信息速率： $R_b=R_B\cdot H(x)=1000\times1.79=1790(bit/s)$

（3）等概率时平均信息量为：

$H(x)=\log_2 M=\log_2 4=2(bit/符号)$

等概率时信息速率： $R_b=R_B\cdot H(x)=1000\times2=2000(bit/s)$

3、每个符号的平均信息量为：

$$H(x)=16\times\frac{1}{32}\log_2\frac{1}{32}+112\times\frac{1}{224}\log_2\frac{1}{224}=6.404bit/符号$$

该信息源的平均信息速率为：

$$R_b=R_B\cdot H(x)=6404bit/s$$

4、（1）平均信息量：

$$H(x)=-\sum_{i=1}^{n}p(x_i)\log_2 p(x_i)$$
$$=-\left[\frac{7}{16}\log_2\frac{7}{16}+\frac{5}{16}\log_2\frac{5}{16}+\frac{1}{8}\log_2\frac{1}{8}+\frac{1}{8}\log_2\frac{1}{8}\right]$$
$$=0.522+0.524+0.38+0.38$$
$$=1.8(bit/符号)$$

（2）码元速率 R_B 和信息速率 R_b ：

$$R_B=\frac{1}{T}=\frac{1}{0.2}=5000波特$$
$$R_b=R_B\cdot I=5000\times1.8=9000bit/s$$

（3）最大熵及此时的码元速率 R_B 和信息速率 R_b 为：

$$R_B=\frac{1}{T}=\frac{1}{0.2}=5000波特$$
$$R_b=R_B\cdot I=5000\times2=10000bit/s$$

5、（1）平均信息量：

$$H(x) = -\sum_{i=1}^{n} p(x_i)\log_2 p(x_i)$$
$$= -\left[\frac{1}{4}\log_2\frac{1}{4} + \frac{1}{8}\log_2\frac{1}{8} + \frac{1}{8}\log_2\frac{1}{8} + \frac{3}{16}\log_2\frac{3}{16} + \frac{5}{16}\log_2\frac{5}{16}\right]$$
$$= 2.22(bit/符号)$$

（2）获得最大熵条件为各符号独立等概；

此时最大熵为：

$$H(x) = \log_2 \mathrm{M} = \log_2 5 = 2.32(bit/符号)$$

6、（1）码元速率和信息速率为：

$$R_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.1} = 10000 波特$$
$$R_b = R_B \cdot I = 5000 \times 2 = 20000 bit/s$$

（2）工作2小时后所获得的信息量为：

$$I = R_b \times t = 20000 \times 2 \times 3600 = 144 Mbit/s$$

（3）传输的误比特率为：

$$p_b = \frac{36}{144 \times 10^6} = 2.5 \times 10^{-7}$$

误符号（码）率为：

2小时后的码元数为 $N = \dfrac{I}{H} = \dfrac{144}{2} = 72 \times 10^6$

$$p_e = \frac{36}{72 \times 10^6} = 5 \times 10^{-7}$$

7、每个像素的平均信息量为：

$$H(x) = \sum_{i=1}^{8} P(x_i)\log_2\frac{1}{P(x_i)} = \log_2 8 = 3bit/符号$$

一幅图片的平均信息量为：

$$I = 800 \times 600 \times 3 = 1.44 \times 10^6 bit$$

3s 传送一张图片的平均信息速率：

$$R_b = \frac{I}{t} = \frac{1.44 \times 10^6}{3} = 0.48 \times 10^6 bit/s$$

因为信道容量 C≥R 选取 C=R，所以信道带宽为：

$$B = \frac{C}{\log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)} = \frac{0.48 \times 10^6}{\log_2(1 + 1000)} = 48.16 kHz$$

8、每个像素的平均信息量为：

$$H(x) = \sum_{i=1}^{8} P(x_i)\log_2\frac{1}{P(x_i)} = \log_2 256 = 8bit/符号$$

一幅图片的平均信息量为：

$$I_1 = 300 \times 240 \times 8 = 0.576 \times 10^6 bit$$

25幅画面的平均信息量为：

$$I = I_1 \times 25 = 14.4 \times 10^6 bit$$

每秒传送25幅画面的平均信息速率

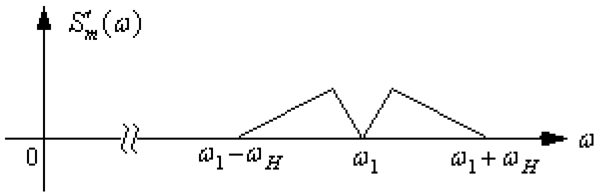
$$R_b = \frac{I}{t} = \frac{14.4\times10^6}{1} = 14.4\times10^6 bit/s$$

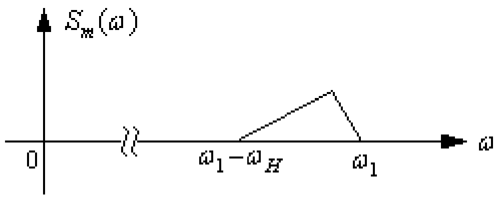
因为信道容量 C≥R 选取 C=R，所以信道带宽为：

$$B = \frac{C}{\log_2\left(1+\frac{S}{N}\right)} = \frac{14.4\times10^6}{\log_2(1+1000)} = 1.44MHz$$

9、（1）$s_m(t)$ 为取下边带的单边带（SSB）已调制信号；）

（2）频谱图





10、（1）该理想带通滤波器的中心频率为：

带通滤波器的频率范围为95kHz～105kHz，因此中心频率为100kHz；

（2）解调器输入端的信噪功率比：

输入噪声功率为 $N_i = 2P_n(f)B = 2\times0.5\times10^{-3}\times10\times10^3 = 10W$

输入信号功率为 $S_i = 10kW$

信噪功率比为 $\frac{S_i}{N_i} = \frac{10000}{10} = 1000$

（3）解调器输出端的信噪功率比：

输出噪声功率为 $N_0 = \frac{1}{4}N_i = \frac{10}{4} = 2.5W$

输出信号功率为 $S_0 = \frac{1}{2}S_i = 5000kW$

信噪功率比为 $\frac{S_0}{N_0} = \frac{50000}{2.5} = 2000$

（4）调制制度增益 G 为：

$$G = \frac{\frac{S_0}{N_0}}{\frac{S_i}{N_i}} = \frac{2000}{1000} = 2$$

11、（1）传输特性 H(ω)：

宽带频率调制系统的带宽为：$B = 2(\Delta f + f_m) = 2\times(75+5) = 160(kHz)$

因此传输特性为：

$$H(\omega) = \begin{cases} K & 99.92MHz \le |f| \le 100.08MHz \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

（2）输入信噪功率比

因为，$S_i = \frac{A^2}{2} = \frac{100^2}{2} = 5000(W)$，$N_i = P_n(f)B = 10^{-3} \times 160 \times 10^3 = 160(W)$

所以输入信噪比，$\frac{S_i}{N_i} = \frac{5000}{160} = 31.25$

（3）输出信噪比为：$\frac{S_o}{N_o} = \frac{3A^2 k_f{}^2 \overline{m^2(t)}}{8\pi^2 n_o f_m^3} = \frac{3 \times 100^2 \times (500\pi)^2 \times 5000}{8\pi^2 \times 10^{-3} \times (5 \times 10^3)^3} = 37500$

12、(1)已知$m(t)$最高频率为4kHz，因此抽样频率为$f_S = 8kHz$；又因最大量化误差为信号峰峰值的0.25%，设峰值为V，则一个量化级⊿=0.5%×2V,即$\Delta = \frac{2V}{M} = 0.5\% \times 2V = \frac{2V}{200}$，因此量化电平数M=200，最小编码位数N=8($2^N = 256 > M = 200$)；

于是，$R_b = 8kHz \times 8 = 64(kb/s)$

（2）需要的奈奎斯特基带带宽：因为奈奎斯特基带带宽时的利用率为$\eta_{max} = 2B/Hz$，二进制时$R_b = R_B$。因此$B_{min} = \frac{R_B}{\eta_{max}} = \frac{64 \times 10^3}{2} = 32kHz$

（3）转换成8进制信号后的码元速率为：

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 8} = \frac{64 \times 10^3}{3} = 21.33 \times 10^3$$ 波特

相应的奈奎斯特基带带宽为：

$$B_{min} = \frac{R_B}{\eta_{max}} = \frac{21.33 \times 10^3}{2} = 10.67kHz$$

13、（1）已知波特的速率为$2/T_s$，即$R_B = 2/T_s = 2f_S$；

此时无码间干扰的条件为

$$H_{eq}(\omega) = \begin{cases} \sum_i H\left(\omega + \frac{4\pi i}{T_S}\right) = C & |\omega| \le \frac{2\pi}{T_S} \\ 0 & \text{其它}\omega \end{cases}$$

根据上述条件图a和图d可以满足消除抽样点上码间干扰的条件，图b、图c不满足。

（2）频谱利用率：

图a的频谱利用率为 $\eta = \frac{R_B}{B} = \frac{2f_S}{f_S} = 2\text{符号}/s \cdot Hz$

图d的频谱利用率为 $\eta = \frac{R_B}{B} = \frac{2f_S}{2f_S} = 1\text{符号}/s \cdot Hz$

14、（1）由题意知，2ASK信号带宽B＝$2R_B$=4×10^6Hz

则输入噪声功率：$\delta_n^2 = n_0 B = 6 \times 10^{-18} \times 4 \times 10^6 = 2.4 \times 10^{-11} W$

解调器输入信噪比：$r = \frac{a^2}{2\delta_n^2} = \frac{(40 \times 10^{-6})^2}{2 \times 2.4 \times 10^{-11}} = 33.3 >> 1$

非相干接收时，系统误码率 $p_e = \frac{1}{2} e^{-r/4} = \frac{1}{2} e^{-\frac{333}{4}} = 1.24 \times 10^{-4}$

（2）相干接受时，系统误码率 $p_e = \frac{1}{\sqrt{\pi r}} e^{-r/4} = \frac{1}{\sqrt{33.3\pi}} e^{-\frac{333}{4}} = 2.36 \times 10^{-5}$

（3）由以上两种接收方式的系统误码率可以得出，采用相干接受时的抗噪声性能要优于非相干接收。

15、（1）由题意可知，$f_S = R_b = 2\times10^6 Hz$，$f_1$=10MHz，$f_2$=10.4MHz，因此2FSK 信号带宽为：

$$B = |f_2 - f_1| + 2f_S = 10.4 - 10 + 2\times2\times10^6 = 4.4MHz$$

（2）无论时采用非现干还是相干接收，2FSK 解调器上、下两个支路的 BPF 带宽都是2 f_s，因此噪声功率为：$\delta_n^2 = n_0 2 f_S = 6\times10^{-8}\times2\times2\times10^6 = 2.4\times10^{-11}W$

信噪比为：

$$r = \frac{a^2}{2\delta_n^2} = \frac{40\times10^{-6}}{2\times2.4\times10^{-11}} = 33.3$$

可得非相干接收时，系统误码率：

$$p_e = \frac{1}{2}e^{-r/2} = 3\times10^{-8}$$

（3）根据（2）所得 r，可知相干接收时，系统误码率：

$$p_e = \frac{1}{2}erfc\left(\sqrt{\frac{r}{2}}\right) = 4\times10^{-9}$$

16、由题意可知$f_S = R_B = 2\times10^6 Hz$，$B = 2f_S = 2\times2\times10^6 Hz = 4\times10^6 Hz$，

$$\sigma_n^2 = n_0 B = 4\times10^6\times10^{-12} = 4\times10^{-6}$$

$$r = \frac{a^2}{2\sigma_n^2} = \frac{40\times10^{-6}}{4\times10^{-6}} = 10$$

（1）2PSK 信号相干解调时的系统误码率

$$p_e = \frac{1}{2}erfc(\sqrt{r}) = \frac{1}{2}erfc(\sqrt{10}) = 4\times10^{-6}$$

（2）2DPSK 信号相干解调的系统误码率

$$p_e = erfc\sqrt{r}\left(1-\frac{1}{2}erfc\sqrt{r}\right) = erfc(\sqrt{10})\left(1-\frac{1}{2}erfc\sqrt{10}\right) = 8\times10^{-6}$$

（3）2DPSK 信号差分相干解调时的误码率

$$p_e = \frac{1}{2}e^{-r} = \frac{1}{2}e^{-10} = 2.27\times10^{-5}$$

17、（1）+321⊿编码器输出的码组为11010100；量化误差为7⊿；

-2100⊿编码器输出的码组为01111111；量化误差为84⊿；

（2）11010100相对应的11位线性码为00101000000；

01111111相对应的11位线性码为11111111111；

18、（1）8位码时的码元速率为：

$$R_b = R_B = 8000\times8 = 64kbit/s$$

线性12位码时的码元速率为:

$$R_b = R_B = 8000\times12 = 69kbit/s$$

（2）10路编8位码的码元速率为:

$$R_b = R_B = 64\times10 = 640kbit/s$$

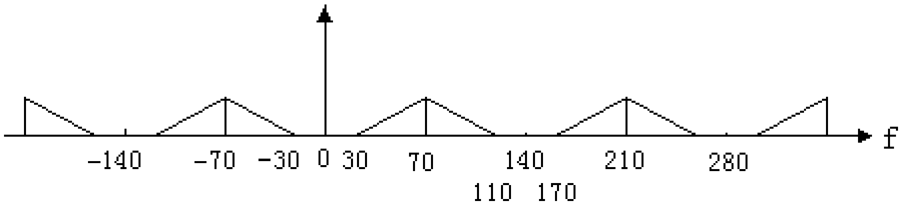
（3）传输时分复用 PCM 信号的奈奎斯特基带带宽为:

$$B = \frac{R_B}{2} = \frac{640}{2} = 320kbit/s$$

19、（1）频分复用后信号的抽样频率为:

$$f_S = 70\times2 = 140kHz$$

（2）试画出抽样后的频谱图：



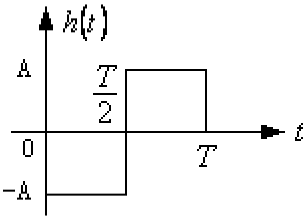
（3）所需要的奈奎斯特基带带宽为：

$f_b = 140 \times 8 = 1.12 Mbit/s$

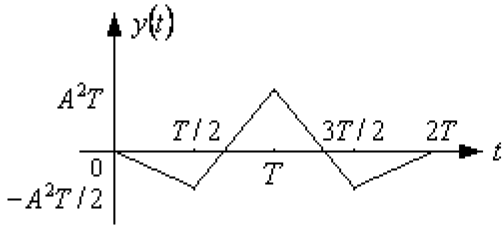
$B = \frac{f_b}{2} = 0.56MHz$

20、（1）因为$f(t)$结束时刻为 T，所以最大输出信噪比时刻$t_0 \geq T$；

（2）匹配滤波器的冲激响应$h(t) = Kf(t_0 - t)$ 取$K = 1, t_0 = T$，所以，$h(t) = f(T_0 - t)$，波形为：



输出图形为：(2分)



（3）最大信噪比为：

$$r_{0\max} = \frac{2E}{n_0} = \frac{2A^2T}{n_0}$$