

西南交通大学 2021—2022 学年第(1)学期考试试卷

课程代码 313300 课程名称 现代通信原理 考试时间 120 分钟

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总成绩
得分											

阅卷教师签字: _____

一、(10分)(课程目标3:理解数字通信系统误码率概念,指标点2.3)

某带宽为4kHz的数字通信系统传输的符号集合为 a_1, a_2, a_3, a_4 ,各符号出现的概率为 $\frac{1}{2}$,

$\frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}$,系统每秒发送4000个符号。

1. 试求该信源的熵及信息传输速率。
2. 若半小时内接收端共收到126个错误码元,且每个码元只有一比特信息错误,试计算该系统误比特率是多少?
3. 请分析在信噪比为20dB时,是否能够有相关的通信技术使得该系统在高斯信道下以任意小的误码率进行信息传输?

【答案】(1) $H(x) = \frac{1}{2} \times 1 + \frac{1}{4} \times 2 + 2 \times \frac{1}{8} \times 3 = 1.75 \text{ bit/symbol}$ (1分)

$R_b = H(x)R_s = 1.75 \times 4000 = 7000 \text{ bps}$ (2分)

半小时传输信息量 $I = 7000 \times 1800 = 12600000 \text{ bit}$

误比特率 $p_e = \frac{126}{12600000} = 10^{-5}$ (2分)

(2)信道容量 $C = B \log \left(1 + \frac{S}{N} \right) = 4000 \times \log(1 + 100) = 26632 \text{ bps}$ (3分)

$C > R_b$,所以存在相关技术 (2分)

二、(10分)(课程目标1:掌握信号时域与频域特性分析方法;指标点1.3)

现有模拟基带信号 $m(t) = a \cos 2\pi f_m t$,载波频率 $c(t) = A_c \cos 2\pi f_c t$,其中 $f_c = 10 \text{ MHz}$,幅度 $A_c = 10 \text{ V}$ 。
若用 $m(t)$ 对载波信号 $c(t)$ 进行模拟频率调制,调频系数 $K_f = 90 \text{ Hz/V}$ 。

- (1) 若 $f_m = 150 \text{ Hz}$, $a = 2 \text{ V}$,请写出已调信号 $s_{FM}(t)$ 的时域表达式,求该调频信号的最大频率偏移和最大相位偏移,并分析其带宽。
- (2) 若基带信号频率增大1倍,幅度减小为原来的一半,即 $f_m = 300 \text{ Hz}$, $a = 1 \text{ V}$,试分析该调频信号带宽的变化情况。

【解答】

$$(1) s_{\text{FM}}(t) = A_c \cos \left[2\pi f_c t + 2\pi K_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right] = 10 \cos [2\pi f_c t + 1.2 \sin(2\pi f_m t)] \quad (2 \text{ 分})$$

$$f_{\text{max}} = aK_f = 180 \text{ Hz} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\theta_{\text{max}} = \frac{f_{\text{max}}}{B} = \frac{180}{150} = 1.2(\text{rad}) \quad (1 \text{ 分})$$

$$B = 2f_m(1+D) = 660(\text{Hz}) \quad (2 \text{ 分})$$

$$(2) f_{\text{max}} = aK_f = 90 \text{ Hz}, B = f_m = 300, \theta_{\text{max}} = 0.3 \text{ rad}$$

$$B = 2f_m(1+D) = 2 \times 300 \times 1.3 = 780(\text{Hz}) \quad (4 \text{ 分})$$

三、(10 分) (课程目标 1: 能够分析模拟、数字基带以及数字频带等各种通信模块对信号时域以及频域特性的变换关系; 指标点 1.3)

现有模拟基带信号 $m(t)$, 其频谱密度为 $M(f)$ 。设 $m(t)$ 最大频率 $f_{\text{max}}=10\text{kHz}$, 功率 $P_m=0.1\text{W}$, 载波频率 $f_c=10\text{MHz}$, 载波幅度 $A_c=10\text{V}$ 。

1. 若用 $m(t)$ 对载波信号 $A_c \cos 2\pi f_c t$ 进行抑制载波双边带调制, 写出已调信号 $s_{\text{DSB}}(t)$ 的时域以及频域表达式, 计算 $s_{\text{DSB}}(t)$ 信号功率。
2. 若需要将模拟基带信号 $m(t)$ 变换为数字信号, 请分析所需最小抽样速率。简要说明分析过程。

【解答】

$$(1) s_{\text{DSB}}(t) = A_c m(t) \cos 2\pi f_c t \quad (2 \text{ 分})$$

$$S_{\text{DSB}}(f) = \frac{A_c}{2} [M(f-f_c) + M(f+f_c)] \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{信号功率为 } \frac{A_c^2}{2} P_m = 5\text{W} \quad (3 \text{ 分})$$

(2)

$m(t)$ 为基带信号, 其最大频率为 10kHz , 因此根据低通抽样定理最小抽样速率为 20kHz 。(3 分)

四、(15 分) (课程目标 3: 能够分析模拟通信系统接收机输入与输出信噪比并评价模拟通信系统性能。 指标点 2.3)

某模拟信号 $m(t)$ 的功率谱密度如图 4-1 所示，该信号经过 DSB 调制后在频带信道中进行传输，已知载波 $c(t) = 10\cos(2\pi \times 10^6 t)$ ，信道中信号功率衰减为 20dB（如图 4-1 所示），信道中加性高斯白噪声的双边功率谱密度为 $n_0/2 = 10^{-8} \text{ W/Hz}$ ，接收端采用相干解调，带通滤波器增益为 1，

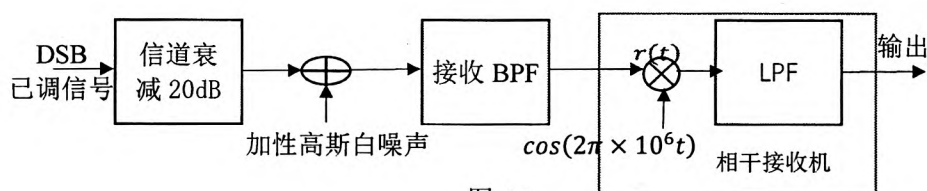
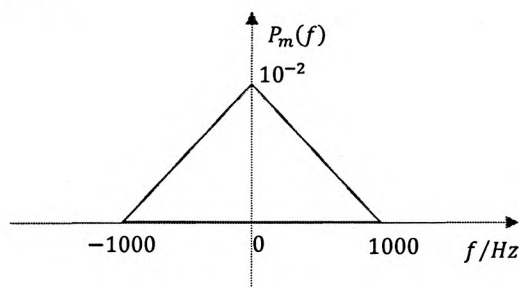


图 4-1

1. 模拟信号 $m(t)$ 的平均功率
2. DSB 信号功率
3. 接收带通滤波器中心频率与带宽
4. 接收机输入信号功率和噪声功率
5. 接收机输出信噪比

【解】(1) $P_m = \int_{-1000}^{1000} P_m(f) df = 10 \text{ W}$ (3 分)

(2) $P_{DSB} = \frac{100}{2} P_m = 500 \text{ W}$ (3 分)

(3) 中心频率 10^6 ，带宽 2000Hz (3 分)

(4) 接收机输入信号功率 = $50/100 = 5 \text{ W}$

接收机输入噪声功率 = 4×10^{-5}

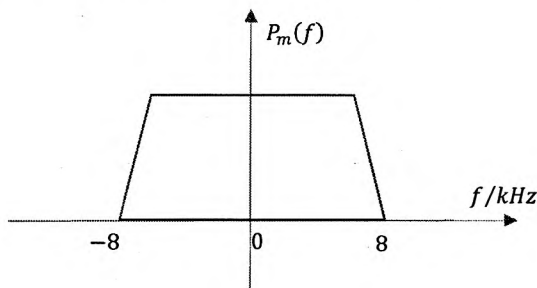
接收机输出信号功率 = 2.5 W

(3 分)

(5) 输出信噪比 2.5×10^5 (3 分)

五、(15 分) (课程目标 2: 掌握各类通信系统工作原理 指标点 1.3)

模拟信号 $m(t)$ 的功率谱密度 $P_m(f)$ 如图所示，对该模拟信号以奈奎斯特速率进行抽样，并采用 8 比特量化以 PCM 方式传输，假设二进制比特信息等概率出现。



1. PCM 信息传输速率
2. 若 PCM 信号采用幅度为 $A=1$ 的单极性不归零矩形波形时，求该 PCM 信号功率谱密度表达式和信号的第一过零点带宽？
3. 若 PCM 信号采用幅度为 $A=1$ 的单极性归零方波，占空比为 25%，求该 PCM 信号功率谱密度表达式和信号的第一过零点带宽，并与小题(2)进行比较分析
4. 若 PCM 信号采用 $\alpha=0.25$ 的升余弦波形时，计算 PCM 信号带宽？
5. 若对 (4) 中的 PCM 信号进行 DPSK 调制，则 DPSK 信号的带宽为多少？

$$P_s(f) = \frac{\sigma_a^2}{T_s} |G_T(f)|^2 + \frac{m_a^2}{T_s^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left| G_T\left(\frac{k}{T_s}\right) \right|^2 \delta\left(f - \frac{k}{T_s}\right)$$

【解】(1) $f_h = 8\text{kHz}$, $f_s = 16\text{kHz}$, $r_b = 16 \times 8 = 128\text{kbps}$

(2) 128kHz

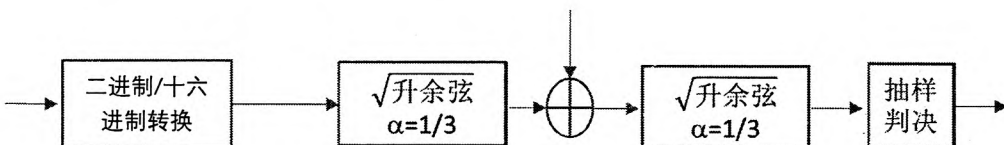
(3) 512kHz

(4) 80kHz

(5) 160kHz

六、(10 分) (课程目标 2: 掌握各类通信系统工作原理 指标点 1.3)

某基带传输系统模型如图所示，发送滤波器、信道、接收滤波器所组成的基带传输系统总特性为升余弦特性，带宽为 2000Hz，请判断当信息速率为 12000bps, 10000bps, 8000bps, 6000bps 时是否能够实现无码间干扰传输？



【解】最大无码间干扰符号速率 $r_s = \frac{2B}{1+\alpha} = \frac{2 \times 2000}{1+1/3} = 3000 \text{Baud}$

12000bps→3000Baud 可以

10000bps→2500Baud 不可以

8000bps→2000Baud 不可以

6000bps→1500Baud 可以

七、(10分)(课程目标2: 带宽无限与频带受限信道条件下传输波形的设计方法; 能够根据系统需求设计通信系统模型 指标点 1.3)

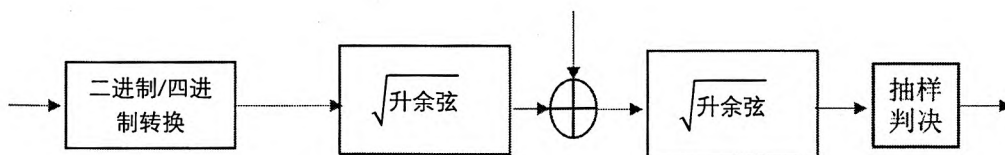
现需要在限带信道下进行数字传输系统设计, 要求系统的信息传输速率为 50Mbit/s, 信道带宽为 15MHz, 且无码间干扰。

1. 若该信道为基带信道, 请设计基带传输信号波形。并计算所设计系统频带利用率, 画出此时所对应的最佳基带传输系统框图。
2. 若该信道为频带信道, 结合数字通信系统的有效性和可靠性, 设计一种可行的方案, 给出设计传输波形及设计理由, 画出此时所对应的最佳频带传输系统框图, 并标明相关参数。

【解】(1) $\frac{r_b}{B \times \log_2 M} \leq 2 \rightarrow \log_2 M \geq \frac{r_b}{2B} \rightarrow M \geq 2^{5/3}$, 取 $M=4$

$R_s = 25 \text{MBaud}$

$B = \frac{1+\alpha}{2} R_s \rightarrow \alpha = 0.2 \quad \eta_s = \frac{5}{3} \text{Baud/Hz} \text{ 或 } \eta_b = \frac{10}{3} \text{Bit/S.Hz}$



(2) $\frac{r_b}{B \times \log_2 M} \leq 1 \rightarrow \log_2 M \geq \frac{r_b}{B} \rightarrow M \geq 2^{10/3}$, 取 $M=16$, 16QAM 调制

$R_s = 12.5 \text{MBaud}$

$B = \frac{1+\alpha}{2} R_s \rightarrow \alpha = 0.2 \quad \eta_s = \frac{5}{6} \text{Baud/Hz} \text{ 或 } \eta_b = \frac{10}{3} \text{Bit/S.Hz}$

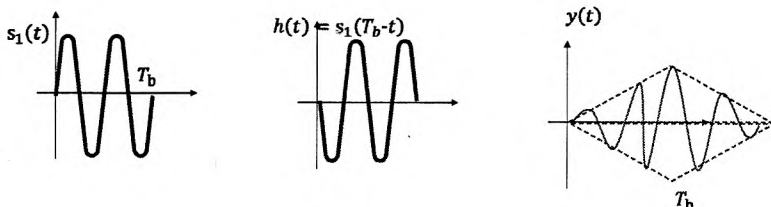
八、(20分)(课程目标3: 掌握匹配滤波器设计方法; 能够分析高斯白噪声信道条件下数字系统误码性能指标点 2.3)

某 BPSK 系统在 $[0, T_b]$ 时间内等概率发送 $s_1(t) = \cos \frac{4\pi t}{T_b}$ 和 $s_2(t) = -\cos \frac{4\pi t}{T_b}$ 。BPSK 信号

通过 AWGN 信道传输，信道噪声的双边功率谱密度是 $\frac{N_0}{2}$ 。接收端在频带利用匹配滤波进行解调。

1. 写出匹配滤波器的冲击响应 $h(t)$ 并画出波形
2. 最佳抽样时刻噪声的功率
3. 发送 $s_1(t)$ 时最佳抽样时刻有用信号幅度值、瞬时功率，采样值 y 的条件概率密度函数 $p(y|s_1)$
4. 发送 $s_2(t)$ 时最佳抽样时刻有用信号幅度值、瞬时功率，采样值 y 的条件概率密度函数 $p(y|s_2)$
5. 确定最佳判决门限，并推导平均误比特率公式

【解】(1) 设匹配滤波器与 $s_1(t)$ 匹配 (2)



$$(3) N = \frac{N_0}{2} \times \frac{T_b}{2}$$

$$(4) \text{信号幅度} \frac{T_b}{2} \text{信号功率} \frac{T_b^2}{4}$$

$$p(y|s_1) \text{高斯分布, 均值} \frac{T_b}{2}, \text{方差} \frac{N_0}{2} \times \frac{T_b}{2}$$

$$(5) \text{信号幅度} -\frac{T_b}{2} \text{信号功率} \frac{T_b^2}{4}$$

$$p(y|s_1) \text{高斯分布, 均值} -\frac{T_b}{2}, \text{方差} \frac{N_0}{2} \times \frac{T_b}{2}$$

$$p_2(y) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0 E_b}} e^{-\frac{(y+E_b)^2}{N_0 E_b}}$$

(6) 最佳判决门限 0

$$p_2 = \frac{1}{2} P(e|S_1) + \frac{1}{2} P(e|S_2) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$$