习题课

Chapter 6

忻杨璇
邮箱：xinyx@zju.edu.cn
微信：　18867151153

Chapter 6

- 6-2 设随机二进制序列中0和1分别由g(t)和-g(t)表示，它们的出现概率分别为p和(1-p)：

（1）求其功率谱密度及功率；

（2）若g(t)为图(a)所示波形，T_s为码元宽度，问该序列存在离散分量$f_s=1/T_s$否？

（3）若g(t)改为图(b)，回答问题(2)所问。

知识点：PAM信号的功率谱密度，P147-148

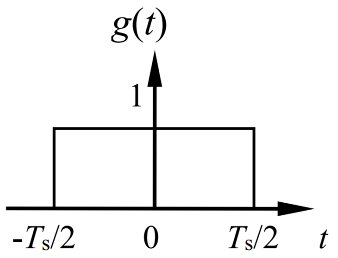


图 P6-2(a)

（1）书P148式(6.1.17)，双极性随机脉冲序列成型后的PAM信号功率谱密度为：

$$P_s(f)=4f_sp(1-p)|G(f)|^2+\sum_{m=-\infty}^{\infty}|f_s\cdot(2p-1)\cdot G(mf_s)|^2\cdot\delta(f-mf_s)$$

功率为：$P_s=\int_{-\infty}^{\infty}P_s(f)df=4f_sp(1-p)\int_{-\infty}^{\infty}|G(f)|^2df+f_s^2(2p-1)^2\sum_{m=-\infty}^{\infty}|G(mf_s)|^2$

（2）某个频率点f上是否存在分量,代入f判断$P_s(f)$是否为0。当g(t)由图 (a)所示时，成型滤波器的脉冲响应g(t)的傅里叶变化为

$$g(t)=\begin{cases}1 & |t|\le\dfrac{T_s}{2}\\ 0 & 其他\end{cases}\xrightarrow{F}G(f)=T_s\cdot\frac{\sin\pi fT_s}{\pi fT_s}$$

$G(f_s)=0$，所以不存在离散分量f_s

- 6-2 设随机二进制序列中0和1分别由g(t)和-g(t)表示，它们的出现概率分别为p和(1-p)：

（3）若g(t)改为图(b)，回答问题(2)所问。

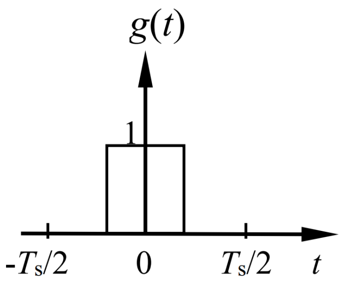


图 P6-2(b)

知识点：PAM信号的功率谱密度，P147-148

（3）当g(t)由图(b)所示时，

$$G(f)=\frac{T_s}{2}\frac{\sin \pi f\frac{T_s}{2}}{\pi f\frac{T_s}{2}}$$ $G(f_s)\neq 0$，所以存在离散分量f_s

Chapter 6

- 6-4设某二元数字基带信号中，数字信息“1”和“0”分别由g(t)和-g(t)表示，且“1”与“0”出现的概率相等，g(t)是升余弦谱脉冲，即 $g(t)=\frac{1}{2}\cdot\frac{\cos(\pi t/T_s)}{1-4t^2/T_s^2}\cdot \mathrm{sinc}(t/T_s)$

（1）写出该数字基带信号的功率谱密度表示式，并画出功率谱密度图；

（2）从该数字基带信号中能否直接提取频率$f_s=1/T_s$分量；

（3）若码元间隔$T_s=10^{-3}(s)$，试求该数字基带信号的传码率及频带宽度；

知识点：PAM信号的功率谱密度

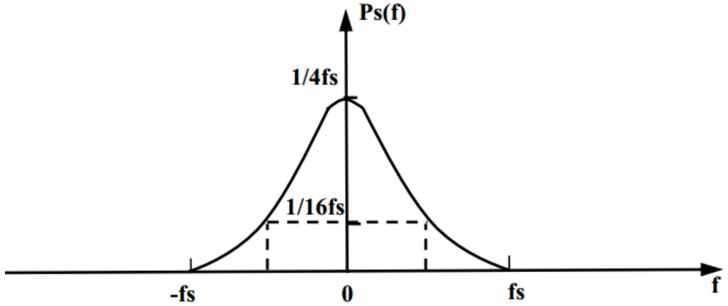
（1）当信号为双极性，且出现“1”和“0”等概时，功率谱密度公式$P_s(f)=f_s\cdot|G(f)|^2$

升余弦函数

$$g(t)=\frac{1}{2}\frac{\pi}{4}[\sin c(\frac{1}{2}-\frac{t}{T_s})+\sin c(\frac{1}{2}+\frac{t}{T_s})]\sin c(\frac{t}{T_s})\xrightarrow{F}G(f)=\begin{cases}\frac{T_s}{4}[1+\cos(\pi T_s|f|)] & |f|\le f_s=\frac{1}{T_s}\\ 0 & |f|>f_s\end{cases}$$

代入，得：

$$P_s(f)=\begin{cases}\frac{1}{16f_s}(1+\cos(\pi f/f_s))^2 & |f|\le f_s\\ 0 & |f|>f_s\end{cases}$$



- 6-4设某二元数字基带信号中，数字信息“1”和“0”分别由g(t)和-g(t)表示，且“1”与“0”出现的概率相等，g(t)是升余弦谱脉冲，即 $g(t)=\frac{1}{2}\cdot\frac{\cos(\pi t/T_s)}{1-4t^2/T_s^2}\cdot\operatorname{sinc}(t/T_s)$

（2）从该数字基带信号中能否直接提取频率$f_s=1/T_s$分量；

（3）若码元间隔$T_s=10^{-3}(s)$，试求该数字基带信号的传码率及频带宽度；

知识点：PAM信号的功率谱密度

（2）某个频率点f上是否存在分量，代入f判断$P_s(f)$是否为0。

由（1）得：

$$P_s(f)=\begin{cases}\frac{1}{16f_s}\left(1+\cos(\pi f/f_s)\right)^2 & |f|\le f_s\\ 0 & |f|>f_s\end{cases}$$

当$f_s=1/T_s$时， $P_s(f)=0$，故$P_s(f)$中不存在$f_s=1/T_s$的频率分量，所以不能提取。

（3）当码元间隔$T_s=10^{-3}(s)$时，基带信号的码率为$R=1/T_s=1000Baud$

基带信号带宽为$B=f_s=1000Hz$

Chapter 6

- 6-6 已知信息代码为100000000011，求相应的AMI码、HDB_3码及双相码。

知识点：HDB_3编码规则，P152

原代码	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
AMI	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
HDB_3	1	0	0	0	V	-B	0	0	-V	0	1	-1
双相码	10	01	01	01	01	01	01	01	01	01	10	10

HDB3编码规则:

1）先将消息代码变换成AMI码，就是把消息码中的1交替变成+1和-1，若AMI码中连0的个数小于4,此时的AMI码就是HDB3码；

2）若AMI码中连0的个数大于3,则将每4个连0小段的第4个0变换成与前一个非0符号(+1或-1)同极性的符号,用V表示；

3）为了不破坏极性交替反转，当相邻V符号之间有偶数（包括0）个非0符号时，再将该小段的第1个0变换成+B或-B,符号的极性与前一非零符号的相反，并让后面的非零符号从符号开始再交替变化。

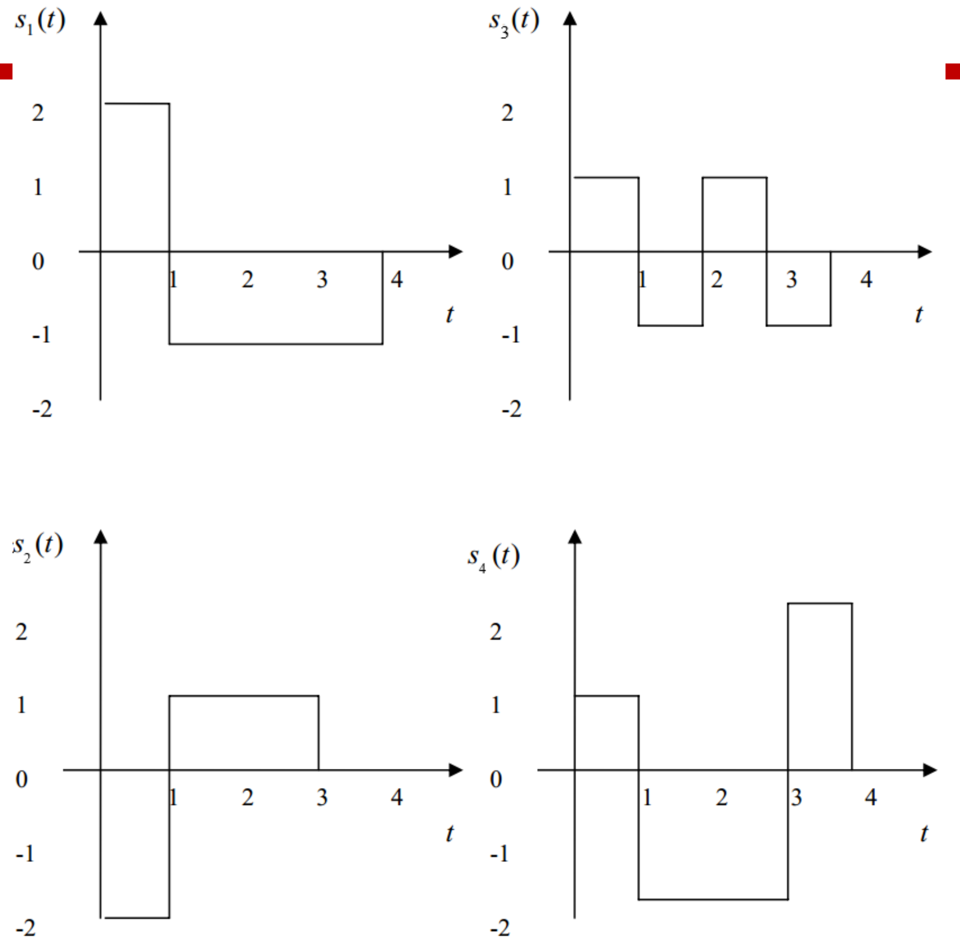
Chapter 6

- 6-10 分析图P6-6给出的4个信号波形。

（1）根据Gram-Schmidt法则，由这些波形生成一组正交基函数；

（2）用矢量表示4个信号点；

（3）确定任意一对信号点之间距离；



知识点：Gram-Schmidt法则，P156-157

（1）于这4个函数都是[0,4]区间上阶梯函数，所以可以用如下矢量表示：$s(t)=(s_1,s_2,s_3,s_4)\quad s_i,i=1,2,3,4$

$s_1(t)=(2,-1,-1,-1)\quad s_2(t)=(-2,1,1,0)$

$s_3(t)=(1,-1,1,-1)\qquad s_4(t)=(1,-2,-2,2)$

实际上相当于把这4个函数用如下4个基函数表示

$$f_1(t)=\begin{cases}1, 0\le t<1\\ 0,其他\end{cases};\ f_2(t)=\begin{cases}1, 0\le t<2\\ 0,其他\end{cases};\ f_3(t)=\begin{cases}1, 2\le t<3\\ 0,其他\end{cases};\ f_4(t)=\begin{cases}1, 3\le t<4\\ 0,其他\end{cases}$$

Gram-Schmidt规范化法则，步骤：

1.先选取一个信号，将其归一化

2.求第二个信号在第一个信号上的投影，做差后归一化

3.做投影，相减，归一化....

由 Gram-Schmidt 法则

$$b_1(t)=s_1(t)$$

$$\|b_1\|=\sqrt{7}$$

$$\varphi_1(t)=b_1(t)/\|b_1(t)\|=(2,-1,-1,-1)/\sqrt{7} \qquad (1)$$

$$b_2(t)=s_2(t)-\langle s_2(t),\varphi_1(t)\rangle\varphi_1(t)=(-2,1,1,-6)/7$$

其中 $\langle s_2(t),\varphi_1(t)\rangle=-6/\sqrt{7}$

$$\|b_2(t)\|=\sqrt{42}/7$$

$$\varphi_2(t)=b_2(t)/\|b_2(t)\|=(-2,1,1,-6)/\sqrt{42} \qquad (2)$$

$$b_3(t)=s_3(t)-\sum_{i=1}^{2}\langle s_3(t),\varphi_i(t)\rangle\varphi_i(t)=(1,-2,4,0)/3$$

其中 $\langle s_3(t),\varphi_1(t)\rangle=3/\sqrt{7}$，$\langle s_3(t),\varphi_2(t)\rangle=4/\sqrt{42}$

$$\|b_3(t)\|=\sqrt{21}/3$$

$$\varphi_3(t)=b_3(t)/\|b_3(t)\|=(1,-2,4,0)/\sqrt{21} \qquad (3)$$

$$b_4(t)=s_4(t)-\sum_{i=1}^{3}\langle s_4(t),\varphi_i(t)\rangle\varphi_i(t)=(-6,-9,-3,0)/7$$

其中 $\langle s_4(t),\varphi_1(t)\rangle=4/\sqrt{7}$，$\langle s_4(t),\varphi_2(t)\rangle=-18/\sqrt{42}$，$\langle s_4(t),\varphi_3(t)\rangle=-3/\sqrt{21}$

$$\|b_4(t)\|=\sqrt{126}/7$$

$$\varphi_4(t)=b_4(t)/\|b_4(t)\|=(-2,-3,-1,0)/\sqrt{14} \qquad (4)$$

所以由（1）-（4）可以得到

$$s_i(t)=\|b_i(t)\|\varphi_i(t)+\sum_{k=1}^{i-1}\langle s_i(t),\varphi_k(t)\rangle\varphi_k(t),\quad i=1,2,3,4$$

（2）用矢量表示信号点：

如果取$\{\varphi_i(t), i = 1,2,3,4\}$为基函数，则$\{s_i(t), i = 1,2,3,4\}$可表示为

$$\mathbf{s}_1=(\sqrt{7},0,0,0)$$
$$\mathbf{s}_2=(-6/\sqrt{7},\sqrt{42}/7,0,0)$$
$$\mathbf{s}_3=(3/\sqrt{7},4/\sqrt{42},\sqrt{21}/3,0)$$
$$\mathbf{s}_4=(4/\sqrt{7},-18/\sqrt{42},-3/\sqrt{21},\sqrt{126}/7)$$

（3）任意一对信号之间的距离：

$$d_{12}=\sqrt{\|\mathbf{s}_1-\mathbf{s}_2\|^2}=5 \qquad d_{34}=\sqrt{\|\mathbf{s}_3-\mathbf{s}_4\|^2}=\sqrt{19}$$

$$d_{13}=\sqrt{\|\mathbf{s}_1-\mathbf{s}_3\|^2}=\sqrt{5}$$

$$d_{14}=\sqrt{\|\mathbf{s}_1-\mathbf{s}_4\|^2}=\sqrt{12}$$

$$d_{23}=\sqrt{\|\mathbf{s}_2-\mathbf{s}_3\|^2}=\sqrt{14}$$

$$d_{24}=\sqrt{\|\mathbf{s}_2-\mathbf{s}_4\|^2}=\sqrt{31}$$

Chapter 6

- 6-13 一个在AWGN信道中传输数据的PAM通信系统，其发送比特的先验概率是$P(a_m = 1) = 1/3$和$P(a_m = -1) = 2/3$。

（1）试求检测器的最佳门限；

（2）试求系统的平均错误概率；

知识点：最佳门限和错误概率

方法一：求解最佳判决门限就是要使平均错误概率最小，见书上6.3.7节推导

（1）设信号的能量是E_b，AWGN噪声的功率谱密度为$N_0/2$，检测器判决门限为λ

当发送$s_1(t) = “1”$时，错误概率 $P(e|s_1) = \int_{-\infty}^{\lambda} p(r|s_1)dr = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \int_{-\infty}^{\lambda} \exp\left[-\frac{(r-\sqrt{E_b})^2}{N_0}\right] dr$

当发送$s_2(t) = “-1”$时，错误概率 $P(e|s_2) = \int_{\lambda}^{+\infty} p(r|s_2)dr = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \int_{\lambda}^{+\infty} \exp\left[-\frac{(r+\sqrt{E_b})^2}{N_0}\right] dr$

平均错误概率

$$P_{be} = P(s_1)P(e|s_1) + P(s_2)P(e|s_2) = \frac{1}{3\sqrt{\pi N_0}} \int_{-\infty}^{\lambda} \exp\left[-\frac{(r-\sqrt{E_b})^2}{N_0}\right] dr + \frac{2}{3\sqrt{\pi N_0}} \int_{\lambda}^{+\infty} \exp\left[-\frac{(r+\sqrt{E_b})^2}{N_0}\right] dr$$

为了使平均错误概率最小，令$\frac{\partial P_{be}}{\partial \lambda} = 0$，得 $\lambda_o = \frac{N_0 \ln 2}{4\sqrt{E_b}}$

（2）平均错误概率

$$P_{be} = \frac{1}{3} Q\left(\frac{\sqrt{E_b} - \lambda_o}{\sqrt{N_0/2}}\right) + \frac{2}{3} Q\left(\frac{\lambda_o + \sqrt{E_b}}{\sqrt{N_0/2}}\right)$$

Chapter 6

- 6-13 一个在AWGN信道中传输数据的PAM通信系统，其发送比特的先验概率是$P(a_m=1)=1/3$和$P(a_m=-1)=2/3$。

（1）试求检测器的最佳门限；

（2）试求系统的平均错误概率；

知识点： 最佳门限和错误概率

$$\|r-s_1\|^2+N_0\ln P(s_2)>\|r-s_2\|^2+N_0\ln P(s_1)\text{，判发}s_1(t)$$

$$\|r-s_2\|^2+N_0\ln P(s_1)>\|r-s_1\|^2+N_0\ln P(s_2)\text{，判发}s_2(t)$$

方法二：应用最大后验准则（MAP），书P167

（1）设信号的能量是E_b，AWGN噪声的功率谱密度为$N_0/2$，检测器判决门限为λ

设基函数为 $\varphi(t)=\frac{1}{\sqrt{E_b}}s(t)$，对于二元对映信号为$s_1(t)=\sqrt{E_b}\cdot\varphi(t)$ $s_2(t)=-\sqrt{E_b}\cdot\varphi(t)$

接收到信号为 $r(t)=s_i(t)+n(t),i=1,2$

相关接收的判决变量为 $r=\int_0^T r(t)\varphi(t)dt$

最大后验概率准则为：$\|r-s_1\|^2+N_0lnP(s_2)<\|r-s_2\|^2+N_0lnP(s_1)$，判发$s_1(t)$

$\|r-s_1\|^2+N_0lnP(s_2)>\|r-s_2\|^2+N_0lnP(s_1)$，判发$s_2(t)$

即 $r>\lambda_0=\frac{N_0\ln 2}{4\sqrt{E_b}}$，判发$s_1(t)$；$r<\lambda_0=\frac{N_0\ln 2}{4\sqrt{E_b}}$，判发$s_2(t)$

（2）平均错误概率

$$P_{be}=P(s_1)P(e|s_1)+P(s_2)P(e|s_2)=\frac{1}{3\sqrt{\pi N_0}}\int_{-\infty}^{\lambda}\exp\left[-\frac{(r-\sqrt{E_b})^2}{N_0}\right]dr+\frac{2}{3\sqrt{\pi N_0}}\int_{\lambda}^{+\infty}\exp\left[-\frac{(r+\sqrt{E_b})^2}{N_0}\right]dr=\frac{1}{3}Q\left(\frac{\sqrt{E_b}-\lambda_o}{\sqrt{N_0/2}}\right)+\frac{2}{3}Q\left(\frac{\lambda_o+\sqrt{E_b}}{\sqrt{N_0/2}}\right)$$

Chapter 6

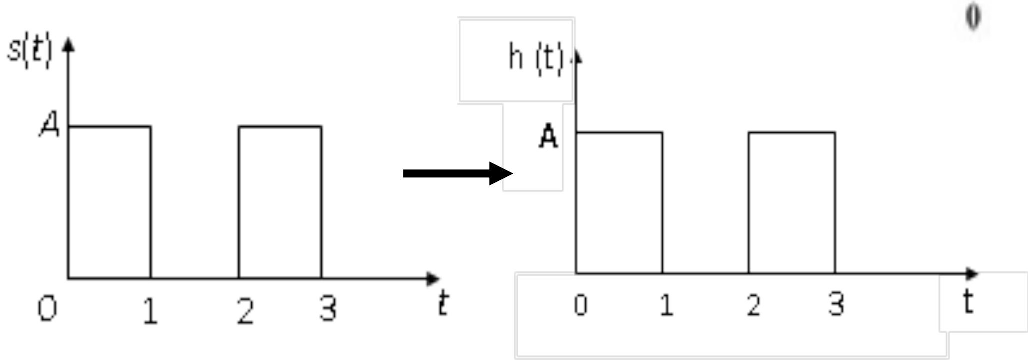
- 6-14 一个使用对映信号传输信息的二进制通信系统，其接收信号是r(t)+s(t)+n(t)，其中s(t)如图所示，n(t)是功率谱密度为$N_0/2(\mathrm{W/Hz})$的AWGN噪声。

（1）画出信号s(t)的匹配滤波器的脉冲响应波形；（2）画出输入信号为s(t)时，匹配滤波器的输出信号波形；

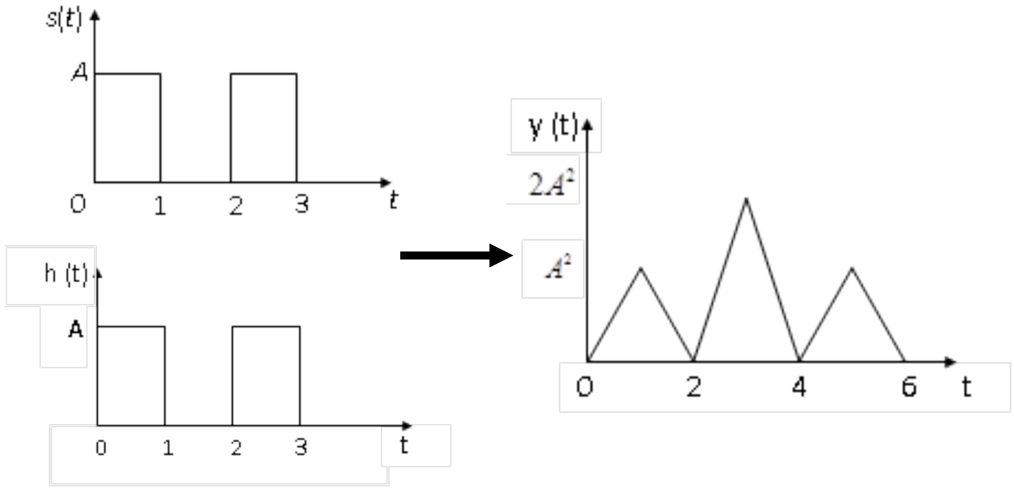
（3）试求出t=3时，匹配滤波器的输出噪声的方差；（4）试写出用A和N_0表示的错误概率表达式；

知识点： 匹配滤波器，P162-164

（1）匹配滤波器脉冲响应h(t)=s(T-t)



(2)匹配滤波器对该输入信号的输出$y(t)=s(t)*h(t)$



（3）t=3时刻匹配滤波器输出的噪声方差

利用书P163式(6.3.31) $E\left[y_n^2(3)\right]=\frac{N_0}{2}\int_0^3 h^2(3-t)dt=A^2N_0$

（4）二进制对映信号的平均错误概率和AWGN信道上二电平对称PAM信号的差错概率一样，$E_b=\int_0^3 s^2(t)dt=2A^2$

二进制对映信号的平均错误概率为 $P_b=Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)=Q\left(\sqrt{\frac{4A^2}{N_0}}\right)$

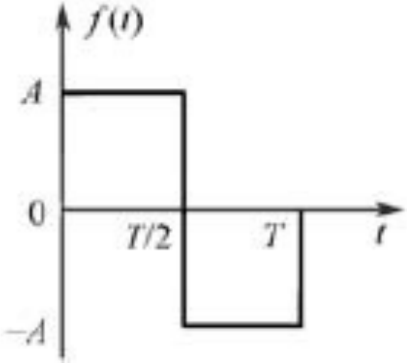
Chapter 6

- 6-18 在功率谱密度为$N_0/2$的加性白高斯噪声下，设计一个与图示波形f(t)匹配的滤波器。

（1）如何确定最大输出信噪比的时刻？

（2）求匹配滤波器的冲激响应和输出波形，并绘出相应图形；

（3）求最大输出信噪比的值；



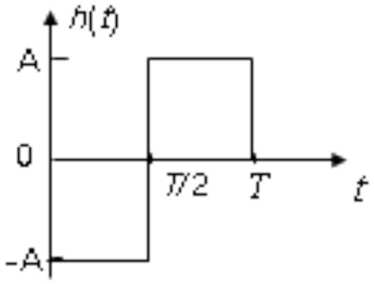
知识点： 匹配滤波器

（1）当 $t_0 = T$时，输出信号的功率最大，相应的输出信噪比最大。

（2）匹配滤波器的冲激响应

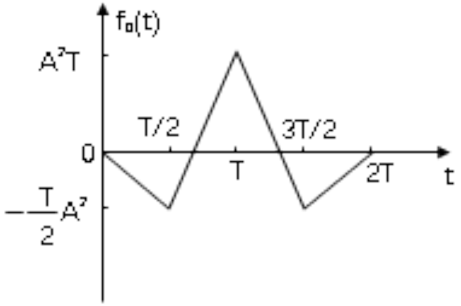
$$h(t) = f(t_0 - t) = f(T - t)$$

$$= \begin{cases} -\mathrm{A},\ 0 \le t \le T/2 \\ \mathrm{A},\ T/2 < t \le T \\ 0,\ 其他 \end{cases}$$



输出 $f_0(t) = f(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)h(t-\tau)d\tau$

$$= \begin{cases} -A^2 t & 0 \le t \le T/2 \\ A^2(3t - 2T) & \frac{T}{2} < t \le T \\ A^2(4T - 2t) & T < t \le \frac{3T}{2} \\ A^2(t - 2T) & \frac{3T}{2} < t \le 2T \\ 0 & 其他t \end{cases}$$



（3）书P163式（6.3.34），其中Es为输入信号的能量，$N_0/2$为噪声的功率谱密度

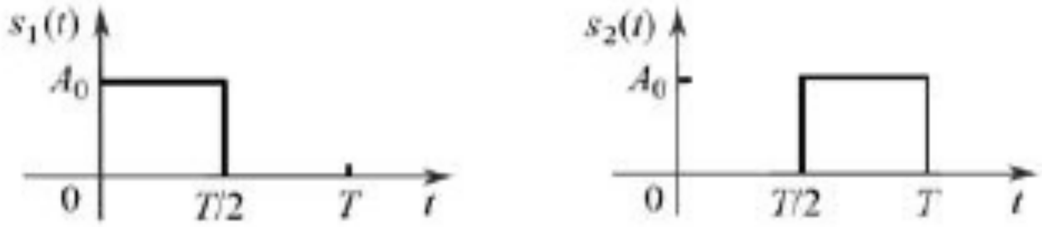
$$SNR_o \le \frac{\int_0^T s^2(\tau)d\tau}{N_0/2} = \frac{2E_s}{N_0} = \frac{2A^2T}{N_0}$$

- 6-22 设到达接收机输入端的二元信号码元$s_1(t)$及$s_2(t)$的波形如图所示，输入高斯噪声功率谱密度为$N_0/2$(W/Hz)：

（1）画出匹配滤波器形式的最佳接收机结构；

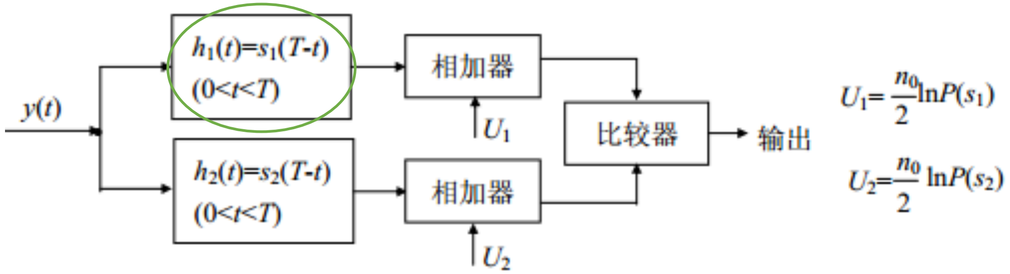
（2）确定匹配滤波器的单位冲激响应及可能的输出波形；

（3）求系统的误码率；



知识点： 匹配滤波器

（1）匹配滤波器的最佳接收机



（2）匹配滤波器的单位冲激响应

$$h_1(t)=s_1(T-t)=\begin{cases}A_0 & t\in[T/2,T]\\ 0 & \text{其他}\end{cases}=s_2(t)$$

$$h_2(t)=s_2(T-t)=\begin{cases}A_0 & t\in[0,T/2]\\ 0 & \text{其他}\end{cases}=s_1(t)$$

输入信号$s_1(t)$时，匹配滤波器$h_1(t)$、$h_2(t)$输出波形$y_1(t)$、$y_2(t)$

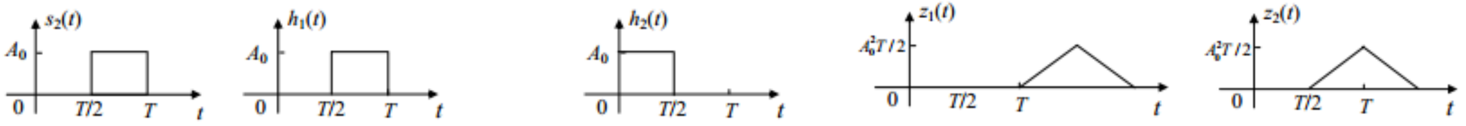
$$y_1(t)=s_1(t)*h_1(t)=\int_{T/2}^{T}h_1(\tau)s_1(t-\tau)d\tau=A_0\int_{T/2}^{T}s_1(t-\tau)d\tau$$

$$y_1(t)=s_1(t)*h_2(t)=\int_{0}^{T/2}h_2(\tau)s_1(t-\tau)d\tau=A_0\int_{0}^{T/2}s_1(t-\tau)d\tau$$

输入信号$s_2(t)$时，匹配滤波器$h_1(t)$、$h_2(t)$输出波形$z_1(t)$、$z_2(t)$

$$z_1(t)=s_2(t)*h_1(t)=\int_{T/2}^{T}h_1(\tau)s_2(t-\tau)d\tau=A_0\int_{T/2}^{T}s_2(t-\tau)d\tau$$

$$z_1(t)=s_2(t)*h_2(t)=\int_{0}^{T/2}h_2(\tau)s_2(t-\tau)d\tau=A_0\int_{0}^{T/2}s_2(t-\tau)d\tau$$



（3）构成二维正交基，由书P171式(6.3.75)

$\mathbf{s}_1=(\sqrt{E_b},0)$, $\mathbf{s}_2=(0,\sqrt{E_b})$ 得$d_{12}^2=2E_b$ 根据$P_e=Q\left(\sqrt{\frac{d_{12}^2}{2N_0}}\right)=Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)=Q\left(\sqrt{\frac{A_0^2T}{2N_0}}\right)$

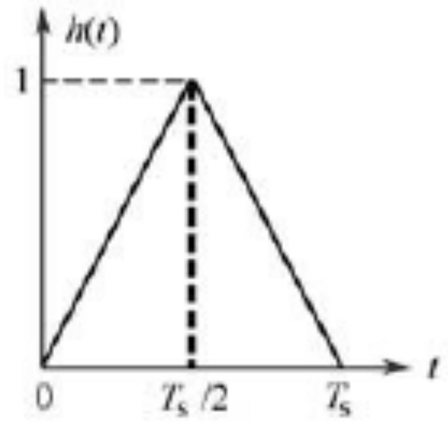
Chapter 6

- 6-25 某基带传输系统接收滤波器输出信号的基本脉冲波形时如图所示的三角形。

（1）求该基带传输系统的传输函数H(f)；

（2）假设信道传输函数C(f)=1，收发滤波器相同，即$G_T(f)=G_R(f)$，试求这时$G_T(f)$和$G_R(f)$的表示式；

知识点： 收发滤波器

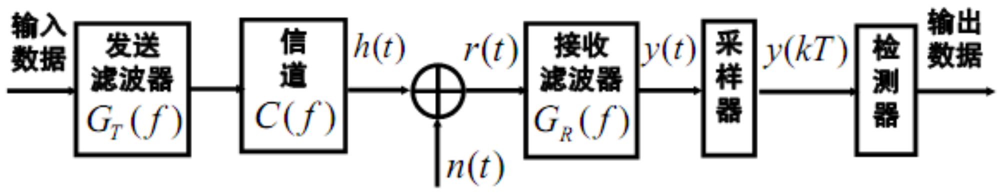


（1） $H(f)=\int_{-\infty}^{+\infty} h(t)e^{-j2\pi ft}dt$

$$=\int_{0}^{\frac{T_s}{2}}\frac{2}{T_s}te^{-j2\pi ft}dt+\int_{\frac{T_s}{2}}^{T_s}(2-\frac{2}{T_s}t)e^{-j2\pi ft}dt$$

$$=\frac{T_s}{2}\sin c^2(f\frac{T_s}{2})e^{-j\pi fT_s}$$

（2）求收发滤波器表示式



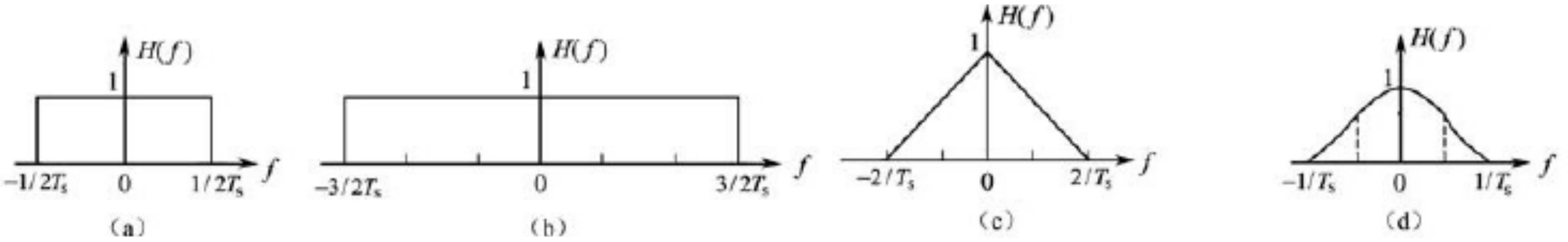
$$H(f)=G_T(f)\cdot C(f)\cdot G_R(f)$$

已知$C(f)=1$, $G_T(f)=G_R(f)$

$$G_T(f)=G_R(f)=\sqrt{H(f)}=\sqrt{\frac{T_s}{2}\text{sinc}(f\frac{T_s}{2})e^{-j\pi f\frac{T_s}{2}}}$$

- 6-27 设基带传输系统的发送滤波器、信道及接收滤波器组成的H(f)，若要求以$2/T_s$波特的速率进行数据传输，试检验如图所示各种H(f)满足消除抽样点上码间干扰条件否？

知识点： 码间干扰



根据奈奎斯特准则，无码间干扰的传输系统总特性应满足 $\sum_{m=-\infty}^{\infty} H(f+\frac{m}{T_s/2})=$ 常数

仅(c)满足条件。

码间干扰是由信道的非理想引起的。现实中的信道总是带限的，频域的截断会造成时域传输码元的拖尾，因此相邻几个码元之间会相互影响，这就是所谓的码间干扰。无码间干扰系统设计的目标就是将系统设计成接近理想信道能满足这个条件，升余弦函数就是其中一个范例。

- 6-29 使用二元PAM在长为1000km的有线信道上传输数据。该系统中每隔50km使用一个再生中继器。新到的每一段在0≤f≤1200Hz频段上具有理想（恒定）的频率响应，且具有1dB/km的衰减。信道噪声为AWGN。

（1）请问无ISI时能传输的最高比特速率是多少？

（2）请问每个中继器为达到$P_b = 10^{-7}$的比特错误概率所需的E_b/N_0；

（3）为达到要求的E_b/N_0，每个中继器的发送功率是多少？其中$N_0 = 4.1\times10^{-21} W/Hz$；

（1） 求无ISI时最高传输速率，P185式(6.4.35) $R_b = R_B = 2W = 2400$ bit/s

（2） $$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) = 10^{-7}$$

查表，$\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}$ 取5+0.2=5.2，可得$E_b/N_0=(5.2^2)/2=13.52$

A.3 对于大 x 的 $Q(x)$表

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
3	.00135	$.0^{3}968$	$.0^{3}687$	$.0^{3}483$	$.0^{3}337$	$.0^{3}233$	$.0^{3}159$	$.0^{3}108$	$.0^{4}723$	$.0^{4}481$
4	$.0^{4}317$	$.0^{4}207$	$.0^{4}133$	$.0^{5}854$	$.0^{5}541$	$.0^{5}340$	$.0^{5}211$	$.0^{5}130$	$.0^{5}793$	$.0^{6}497$
5	$.0^{6}287$	$.0^{6}170$	$.0^{7}996$	$.0^{7}579$	$.0^{7}333$	$.0^{7}190$	$.0^{7}107$	$.0^{8}599$	$.0^{8}332$	$.0^{8}182$
6	$.0^{9}87$	$.0^{9}530$	$.0^{9}282$	$.0^{9}149$	$.0^{10}777$	$.0^{10}402$	$.0^{10}206$	$.0^{10}104$	$.0^{11}523$	$.0^{11}260$

（3）接收处信号功率为 $P_R = E_b R_b = 4.1\times10^{-21}\times13.52\times2400=1.33\times10^{-16}$ W

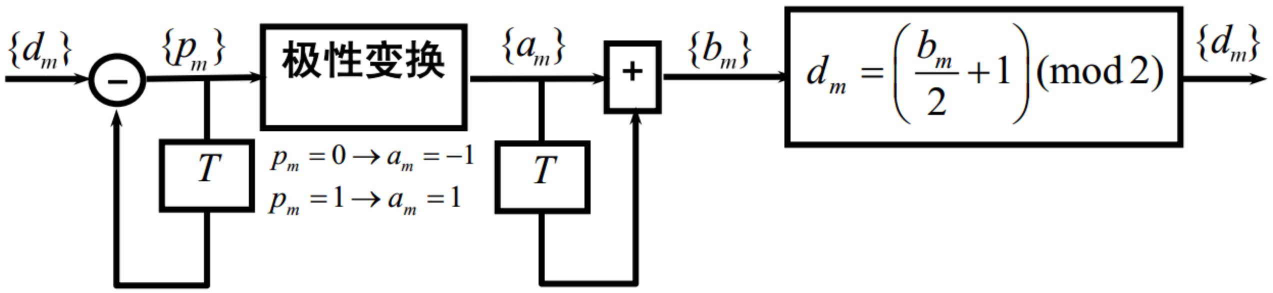
50km共衰减50dB，50dB=10^5，因此发送功率为 $P_T = P_R\times10^5 = 1.33\times10^{-11}$ W

Chapter 6

- 6-34 输入到预编码器的二进制序列为10010110010，其输出用来调制一个双二进制发送滤波器。试写出该序列相应的预编码序列、发送幅度电平、接收信号电平和译码序列。

知识点： 预编码的传输系统

带预编码的双二进传输系统的原理框图



参考书P189的例子

[解]

输入序列		1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	d_m
预编码序列	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	$p_m = d_m - p_{m-1}(\mathrm{mod}\ 2)$
发送幅度电平	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	$a_m = 2p_m - 1$
接收信号电平		0	2	2	0	-2	0	0	-2	-2	0	2	$b_m = a_m + a_{m-1}$
译码序列		1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	$d_m = \left(b_m/2+1\right)(\mathrm{mod}\ 2)$

Chapter 6

- 6-36 对于修正双二元部分响应信号方式，试画出包括预编码在内的系统组成方框图。

知识点： 预编码的传输系统，P189

对于修正双二进信号 $x(nT)=\begin{cases}1 & n=-1\\ -1 & n=1\\ 0 & 其它\end{cases}$ P192

接收端匹配滤波器输出为 $y(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}a_n x(t-nT)+\xi(t)$

在$t=mT$时的采样值为 $y_m=y(mT)=a_{m+1}-a_{m-1}+\xi_m$ ， 记 $b_m=a_{m+1}-a_{m-1}$

对 d_m 进行预编码，得到预编码序列 p_{m+1}： $p_{m+1}=d_m\oplus p_{m-1}$

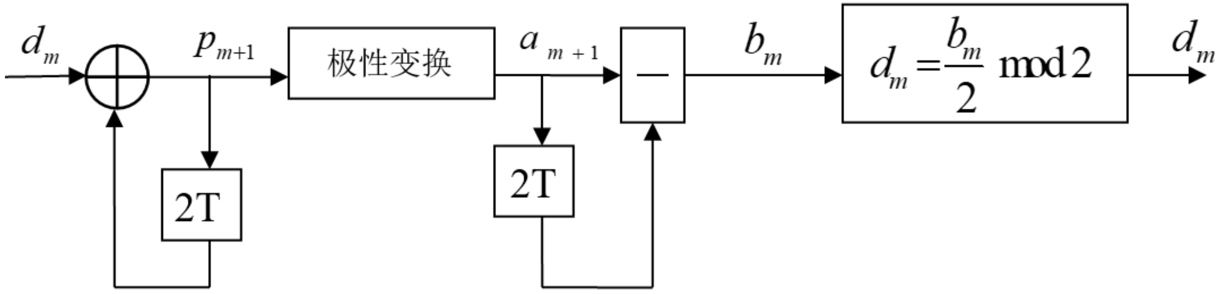
对p_m进行极性变换 $p_m=0\rightarrow a_m=-1$， $p_m=1\rightarrow a_m=1$ 即 $a_m=2p_m-1$

因此，若不考虑噪声，则接收滤波器的采样输出为 $b_m=a_{m+1}-a_{m-1}=2(p_{m+1}-p_{m-1})$

又因为 $d_m=p_{m+1}-p_{m-1}$（模2减），所以 $d_m=b_m/2\ (\text{mod}\ 2)$

即当 $b_m=\pm 2$ 时, $d_m=1$；当 $b_m=0$时, $d_m=0$ 。

采用预编码的修正双二元传输系统的框图如下：



Chapter 6

- 6-37 某信道的码间干扰长度为3，信道脉冲响应采样值为x(0)=1，x(-T)=0.3，x(T)=0.2，求3抽头迫零均衡器的抽头系数以及均衡后的剩余码间干扰值。

知识点： 抽头迫零均衡器

参照书P198例题6.6.2

设抽头矢量为 $\mathbf{c}^{\mathrm{T}}=\left(c_{-1},c_{0},c_{1}\right)$

$$\mathbf{X}=\begin{pmatrix} x(0) & x(-T) & x(-2T) \\ x(T) & x(0) & x(-T) \\ x(2T) & x(T) & x(0) \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 1 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 1 & 0.3 \\ 0 & 0.2 & 1 \end{pmatrix} \qquad \mathbf{q}^{\mathrm{T}}=\left(0,1,0\right)$$

抽头矢量为 $\mathbf{c}=\mathbf{X}^{-1}\mathbf{q}=\left(-0.3409,1.1346,-0.2273\right)^{\mathrm{T}}$

均衡以后脉冲响应的采样值为

$$q(mT)=\sum_{n=-1}^{1}c_{n}x(mT-nT)$$

剩余码间干扰值

$q(2T)=-0.0455$ $\quad q(T)=0$ $\quad q(0)=1$ $\quad q(-T)=0$ $\quad q(-2T)=-0.1023$