

数字基带传输系统设计

信息科学与工程学院 孟麟芝 201800121050

### 目 录

[第 1 章 原理分析 3](#_Toc66371514)

[1.1 数字基带系统 3](#_Toc66371515)

[1.2 滤波器设计 4](#_Toc66371516)

[1.2.1 匹配滤波型 5](#_Toc66371517)

[1.2.2 非匹配滤波型 6](#_Toc66371518)

[1.3 符号说明 6](#_Toc66371519)

[第 2 章 实现思路与测试 7](#_Toc66371520)

[2.1 数字基带系统总函数 7](#_Toc66371521)

[2.2 信源输出 7](#_Toc66371522)

[2.3 高斯白噪声生成 8](#_Toc66371523)

[2.4 抽样判决与误码率分析 8](#_Toc66371524)

[2.5 眼图绘制 9](#_Toc66371525)

[2.6 星座图绘制 10](#_Toc66371526)

[2.7 体会与总结 11](#_Toc66371527)

### 

### 第 1 章 原理分析

#### 1.1 数字基带系统

未对载波调制的待传信号称为基带信号，则直接对基带信号进行传输的系统为基带系统。无论调制与否，在数字通信系统中都必须存在基带信号处理的过程，故对基带系统的研究具有普遍意义。

在通信原理的学习过程中，我们主要从连续域对数字通信系统进行过详细分析，而当使用数字信号处理方法研究时，不可能处理连续的信号，难免要进行抽样，所以如何从离散域分析这一系统是我们讨论的重点。

下面是系统的基本原理框图，所有信号已按照抽样周期经过数字化。



图1. 1 基带数字通信系统离散域原理框图

信源在时钟控制下按比特周期发送二进制比特序列，形成发送信号，其中以1代表比特’1’，以-1代表比特’0’，若一共发送个比特，则有

经过发送滤波器后变为适于在信道中传输的信号，本题中信道为AWGN信道，则有

其中为零均值加性高斯白噪声，其标准差由下式确定

其中

整个系统中，发送与接收滤波器均为FIR滤波器。若系统为匹配滤波型，则发送滤波器与接收滤波器的幅频特性满足共轭匹配关系，均为平方根升余弦滤波器，这时需逼近已有的幅频特性，使用频率抽样法设计更简便。若系统为非匹配滤波型，则无码间串扰的系统特性全部由发送滤波器实现，为一升余弦型滤波器，接受滤波器为直通系统，这时在时域使用窗函数法设计更加简便。

设第一个码元在0时刻发送，信道延时为0，两滤波器群延时分别为与，接收滤波器的输出信号为，这时则可确定理想抽样时刻为

由于所发送为对极性信号，故判决时若抽样值大于0，则可判为’1’，抽样值小于0，则可判为’0’。

#### 1.2 滤波器设计

滤波器是本系统中的关键部分，故在此着重讨论。

FIR滤波器设计的主要方法有窗函数法和频率抽样法，前者是从时域进行逼近，后者则从频率进行逼近。对于匹配滤波型，因对幅频特性有较严格的要求，故用频率抽样法较简便，非匹配滤波型则使用窗函数法即可。

二者的设计都需要从升余弦滤波器出发，其频率响应和单位冲激响应分别为

对模拟滤波器进行数字化，频域将以为周期发生周期延拓，为简化分析，我们认为

要注意的是，一般要与相等，不然信号与滤波器的数字频率无法正确对应。

1.2.1 匹配滤波型

最佳基带系统为消除码间干扰且抗噪声性能最好的系统，根据通信原理的知识，我们知道，匹配滤波型系统在抽样时刻有最大信噪比。这一系统要求发送与接收滤波器共轭匹配，即

下面以从出发的设计流程为例说明。

第一步，对理想的平方根升余弦幅频特性进行离散化，则以为周期延拓混叠。

第二步，取出延拓混叠后(0*,*)内的幅频特性，若FIR滤波器阶数为N（N为奇数），则在这段幅频特性内以为间隔进行频率抽样，得到。

第三步，为这N个点根据第一类线性相位条件赋予相位，公式如下

第四步，对进行IDFT，则可得到对应的冲激响应，并且，由于频域满足圆周共轭对称，对应时域的必为实函数。

最后，由设计。由公式(10)，与之共轭匹配，则有

又因为为FIR滤波器，则

故有

可见发送滤波器与接收滤波器相比仅仅是发生了一个单位的位移，忽略这一延时，完全可以认为。

1.2.2 非匹配滤波型

相对而言，非匹配滤波型的滤波器设计起来要方便许多，只需对公式(8)给出的冲激响应以为抽样间隔，以为观察时间进行时域抽样截短，再进行的时移使之成为FIR滤波器，最后进行加窗即可，即

Matlab程序设计时要特别考虑中分母为0的点，不然计算过程中会出现NaN或Inf的问题。

#### 1.3 符号说明

表1 主要符号说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 符号 | 定义 | 单位 |
|  | 待发送的比特序列 | - |
|  | 对滤波器数字化时的抽样周期 |  |
|  | 对信号数字化时的抽样周期 |  |
|  | 比特周期 |  |
|  | 发送信号 | - |
|  | 发送滤波器输出信号 | - |
|  | 零均值加性高斯白噪声 | - |
|  | 信道输出信号 | - |
|  | 接收滤波器输出信号 | - |
|  | 发送滤波器单位冲激响应 | - |
|  | 接收滤波器单位冲激响应 | - |
|  | 升余弦滤波器滚降系数 | - |
|  | 滤波器群延时系数 |  |
|  | 表征升余弦滤波器的频率响应的常数 |  |
|  | 发送滤波器输出信号平均比特能量 | - |
|  | 信道输出信号信噪比 |  |

### 第 2 章 实现思路与测试

详细的原理介绍、变量说明已在第一章给出，本章以给出实现代码为主。

#### 2.1 数字基带系统总函数

|  |  |
| --- | --- |
|  | function [al,hn,d,x,y,r,sample,judge,error]=basebandSystem(flag,A,B,T,Tc,Ts,N,a,SNR) |
|  | % ------------------------------------ |
|  | % 基带系统 |
|  | % flag为系统选择标志，'0'为非匹配型，'1'为匹配型 |
|  | % A为每码元周期内抽样点数 |
|  | % B为发送比特数 |
|  | % Tc为表征升余弦滤波器的频率响应的常数 |
|  | % T为对信号数字化时的抽样周期 |
|  | % Ts为对滤波器数字化时的抽样周期 |
|  | % N为滤波器阶数 |
|  | % a为滚降因子 |
|  | % SNR为给定信噪比 |
|  | % Eb为平均每比特能量 |
|  | % ------------------------------------ |

该函数可以实现整个数字基带系统，由子函数连接而成，且较冗长，进行文字说明。

选择好是否为匹配型后，函数将调用相应滤波器。先通过信源输出子函数在比特序列中插0生成发送信号，然后使之与卷积，得到。调用高斯白噪生成函数，按公式(2)、(3)叠加高斯白噪声，得到信道输出，将其与卷积可得到根据群延时去除掉尾部的无用点后，调用判决子函数，根据公式(6)，可对进行采样，采样结果即返回值sample，判决结果及误码率由judge和error变量传回。

#### 2.2 信源输出

|  |  |
| --- | --- |
|  | function [al,d]=bipolarSource(B,A) |
|  | % ------------------------------------ |
|  | % 比特序列al与发送信号d(t)的生成 |
|  | % B为发送比特数 |
|  | % A为每个码元周期内抽样点数 |
|  | % ------------------------------------ |
|  | d=zeros(1,A\*B); |
|  | m=1; |
|  | for i=1:A:A\*B |
|  | if rand>=0.5 |
|  | al(m)=1; |
|  | d(i)=1; |
|  | else |
|  | al(m)=0; |
|  | d(i)=-1; |
|  | end |
|  | m=m+1; |
|  | end |
|  | end |

#### 2.3 高斯白噪声生成

|  |  |
| --- | --- |
|  | function AWGN=gaussianNoise(SNR,Eb,L) |
|  | % ------------------------------------ |
|  | % 零均值高斯白噪声的生成 |
|  | % SNR为给定信噪比 |
|  | % Eb为平均每比特能量 |
|  | % L为所需高斯随机序列长度 |
|  | % ------------------------------------ |
|  | sigma=sqrt(Eb/(2\*10^(0.1\*SNR))); |
|  | AWGN=normrnd(0,sigma,1,L); |
|  | end |

#### 2.4 抽样判决与误码率分析

|  |  |
| --- | --- |
|  | function [sample,judge,error]=decision(al,r,A,tau) |
|  | % ------------------------------------ |
|  | % 抽样判决及误比特率计算子程序 |
|  | % al为发送比特序列 |
|  | % r为接受滤波器输出 |
|  | % A为每比特周期内抽样点数 |
|  | % tau为系统总延时 |
|  | % ------------------------------------ |
|  | m=1; |
|  | error=0; |
|  | for i=(1+tau):A:A\*length(al)+tau |
|  | %进行采样 |
|  | sample(m)=r(i); |
|  | if sample(m)>=0 |
|  | judge(m)=1; |
|  | else |
|  | judge(m)=0; |
|  | end |
|  | if judge(m)~=al(m) |
|  | error=error+1; |
|  | end |
|  | m=m+1; |
|  | end |
|  | error=error/length(al); |

根据通信原理所学知识，我们知道，2PAM系统使用匹配滤波解调，信号检测的平均错误概率为

如图2.2所示，利用for循环，可以画出该系统误比特率与SNR之间的关系曲线，并与理论值进行比较。

值得一提的是，使用semilogy或semilogx可以使坐标轴成为对数坐标轴，更易于观察。这里可以发现，非匹配滤波型实测值与理论值有差距，而匹配滤波型吻合较好。在SNR较高时二者误比特率都变为0，无法在图像上显示出来，这可能与测试比特数（一千万个）仍不足有关。



图2. 2 误比特率分析效果（左为非匹配型，右为匹配型）

#### 2.5 眼图绘制

|  |  |
| --- | --- |
|  | function eyeDiagram(T,y,tau) |
|  | % ------------------------------------ |
|  | % 眼图绘制子程序 |
|  | % T为观察时间，为抽样周期的整数倍 |
|  | % y为需绘制成眼图的序列 |
|  | % tau为系统的总延时 |
|  | % ------------------------------------ |
|  | figure |
|  | n=0:1:T-1; |
|  | for i=1+tau:T:length(y)-T |
|  | plot(n,y(i:(i+T-1)),'Color',[0.9 0.55 0.4]) |
|  | hold on; |
|  | end |
|  | title('眼图') |
|  | end |

眼图效果如下：



图2. 3 眼图效果展示

#### 2.6 星座图绘制

|  |  |
| --- | --- |
|  | function constellationGraph(al,sample) |
|  | % ------------------------------------ |
|  | % 星座图绘制 |
|  | % al为发送比特序列 |
|  | % sample为抽样结果 |
|  | % ------------------------------------ |
|  | figure |
|  | n=0; |
|  | for i=1:1:length(al) |
|  | if al(i)==1 |
|  | scatter(sample(i),n,'r','.') |
|  | else |
|  | scatter(sample(i),n,'b','.') |
|  | end |
|  | hold on; |
|  | end |
|  | title('星座图') |
|  | xline(0,'--','linewidth',1); |
|  | end |

星座图的效果如下：

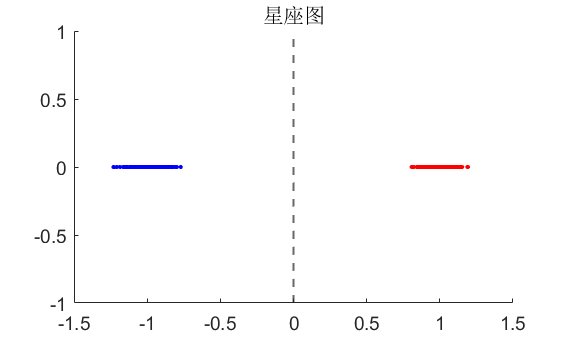
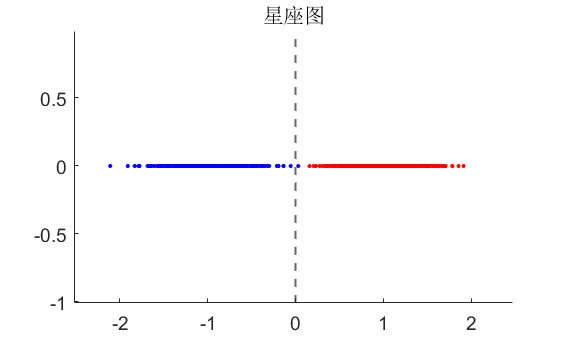


图2. 4 星座图效果展示

#### 2.7 体会与总结

曾经我们仅在课本中学习过通信原理的知识，实际信号是如何在信道中传输的？码间串扰的图景如何？眼图究竟是什么样子的？理论上的误比特率与实际测试相差多少？这一系列的问题我们都没能切身地感受过。而当使用Matlab实现仿真，真真切切地观察到信号的波形时，对知识的理解便更进一步了，也更能感受到Matlab等工具的强大。

在这次实验中，我们根据原理，对数字基带通信系统进行了设计，它能够实现完整的模拟仿真，且能绘制出误比特率曲线、眼图、星座图。我们以硬性指标——误比特率对系统进行了测试，发现匹配滤波型系统误比特率与理论值吻合，而非匹配滤波型系统误比特率稍高，这与预期是一致的，验证了系统的正确性。关于码元速率、滚降系数、码间串扰、抽样速率等等更加详细的性能研究，将在之后的总结报告中给出。