

电子科技大学自动化工程学院

标准实验报告

课程名称	数字信号处理
实验名称	基于 MATLAB 的数字滤波器的设计
学生姓名	胡云博
学生学号	2017070907031

电子科技大学

实 验 报 告

学生姓名：胡云博 学 号：2017070907031 指导教师： 金卫

实验地点：家

实验时间：2020/5/13

一、实验项目名称：基于 MATLAB 的数字滤波器的设计

二、实验学时：2

三、实验原理：

IIR 滤波器常用的一种设计方法是借助模拟滤波器的设计方法进行的，即，先设计模拟滤波器得到传输函数，然后将按某种方法转换成数字滤波器的系统函数。转换方法主要有脉冲响应不变法和双线性变换法。脉冲响应不变法就是使数字滤波器的单位脉冲响应模仿模拟滤波器的冲激响应，由于时域采样后造成频域的周期延拓，可能会造成频域的混叠，因此不适合高通、带阻滤波器的设计。另一种常用的方法是双线性变换法。双线性变换法为了克服 s 平面与 z 平面的非一一对应关系，采用了非线性频率压缩方法：首先将原 s 平面压缩到 s_1 平面的一条横带内，再将 s_1 平面映射到 z 平面上。虽然双线性变换法的模拟频率与数字频率间是非线性的关系，但消除了频率的混叠。

FIR 滤波器常用的一种设计方法是窗口法。如果希望滤波器的频率响应为 $H_d(e^{j\omega})$ ，则其对应的单位脉冲响应为 $h_d(n)$ 。窗函数设计法的基本原理是用有限长单位脉冲响应序列 $h(n)$ 逼近 $h_d(n)$ 。由于 $h_d(n)$ 往往是无限长序列，且是非因果的，所以用窗函数 $w(n)$ 将 $h_d(n)$ 截断，并进行加权处理，得到 $h(n) = h_d(n)w(n)$ ， $h(n)$ 就作为实际设计的 FIR 数字滤波器的单位脉冲响应序列，其频率响应函数为 $H(e^{j\omega})$ ，式中 N 为所选窗函数 $w(n)$ 的长度。

用窗函数法设计的滤波器性能取决于窗函数的类型及窗口长度。设计中，要根据对阻带最小衰减和过渡带宽度的要求选择合适的窗函数类型和窗口长度。选定窗函数类型和窗口长度后，求出单位脉冲响应和频率响应。频率响应是否满足要求，要进行验算，如果不满足要求，则要重新选择窗函数类型和长度，再次验算，直至满足要求为止。

如果要求线性相位特性，则单位脉冲响应还必须满足偶对称或奇对称特性。根据单位脉冲响应的奇偶对称性和长度的奇偶性又将线性相位 FIR 滤波器分成四类，要根据所设计的滤波特性正确选择其中一类。

四、实验目的：

- 1) 熟悉 IIR 数字滤波器设计的原理与方法。
- 2) 熟悉用窗函数法设计 FIR 数字滤波器设计的原理与方法。
- 3) 掌握 IIR 和 FIR 数字滤波器的计算机仿真方法。
- 4) 通过观察对实际心电信号的滤波作用，获得数字滤波的感性知识。

五、实验内容：

- 1) 复习有关 Butterworth 模拟滤波器设计和用双线性变换法设计 IIR 数字滤波器的内容，掌握用双线性变换法设计数字滤波器的方法。
- 2) 复习用窗函数法设计 FIR 数字滤波器的内容，掌握设计数字滤波器的方法。
- 3) 设计给定指标的 Butterworth 数字低通滤波器。
- 4) 设计给定指标的 FIR 数字低通滤波器。
- 4) 用所设计的数字滤波器对实际心电信号进行仿真滤波处理。

六、实验步骤：

数字低通滤波器的设计指标参数为：在通带内 $[0, 0.2\pi]$ 频率区间上，最大衰减小于 1dB；在阻带 $[0.3\pi, \pi]$ 内，最小衰减大于 15dB。

- 1) 画出心电信号的时域和频域波形。
- 2) 用双线性变换法设计 Butterworth 数字低通滤波器，给出系统函数并画出滤波器的频响特性曲线。

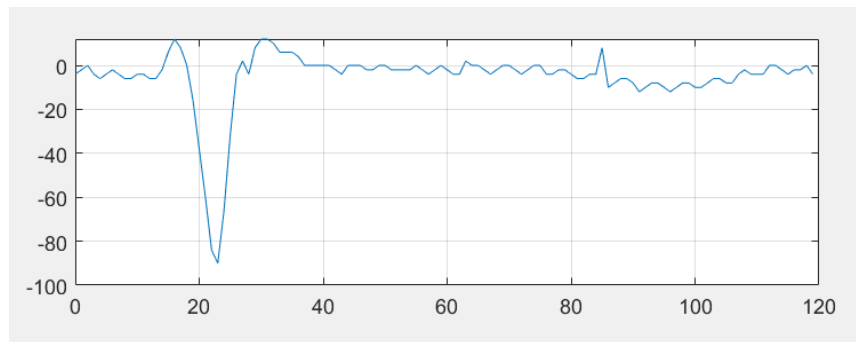
- 3) 用窗函数法设计线性相位 FIR 数字低通滤波器，给出系统函数并画出滤波器的频响特性曲线。

过渡带宽： 0.1π 通带边沿衰减 1dB 阻带最小衰减 15dB

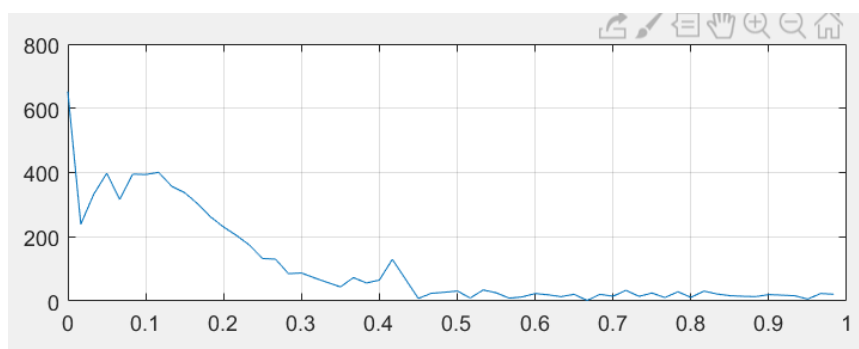
- 4) 用设计出的滤波器对心电信号进行分别进行滤波处理，画出滤波后的信号时域与频域波形。
- 5) 用 C 语言编写滤波器仿真程序，对心电信号进行滤波处理，将结果与步骤 4) 的结果进行比较。

七、实验数据及结果分析：[代码位于附录部分]

1. 心电图原数据

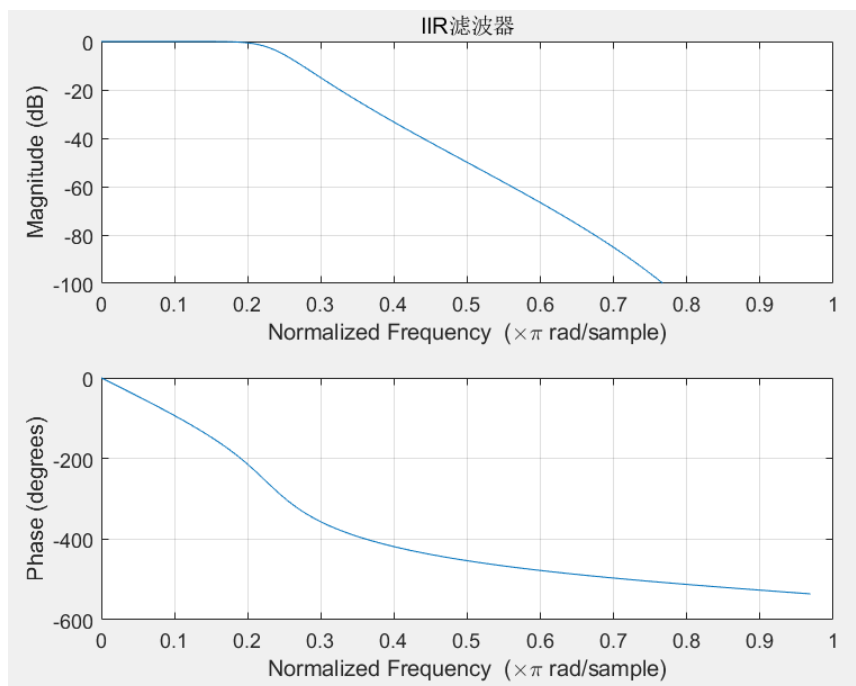


7.1 心电图时域图像

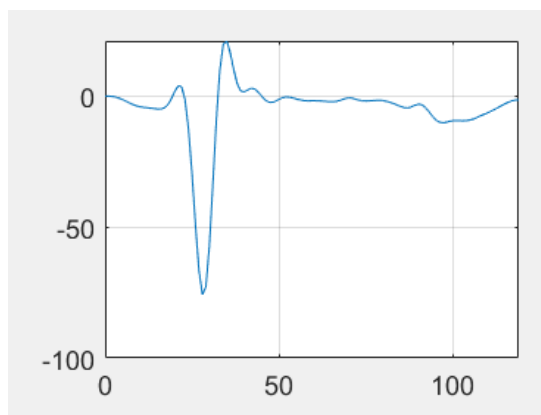


7.2 心电图频域图像

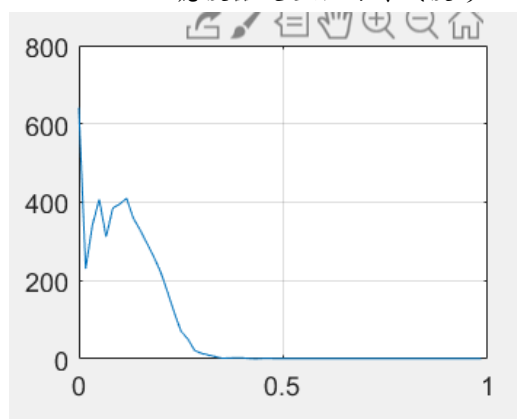
2. IIR 滤波器波特图和滤波效果



7.3 IIR 滤波器波特图



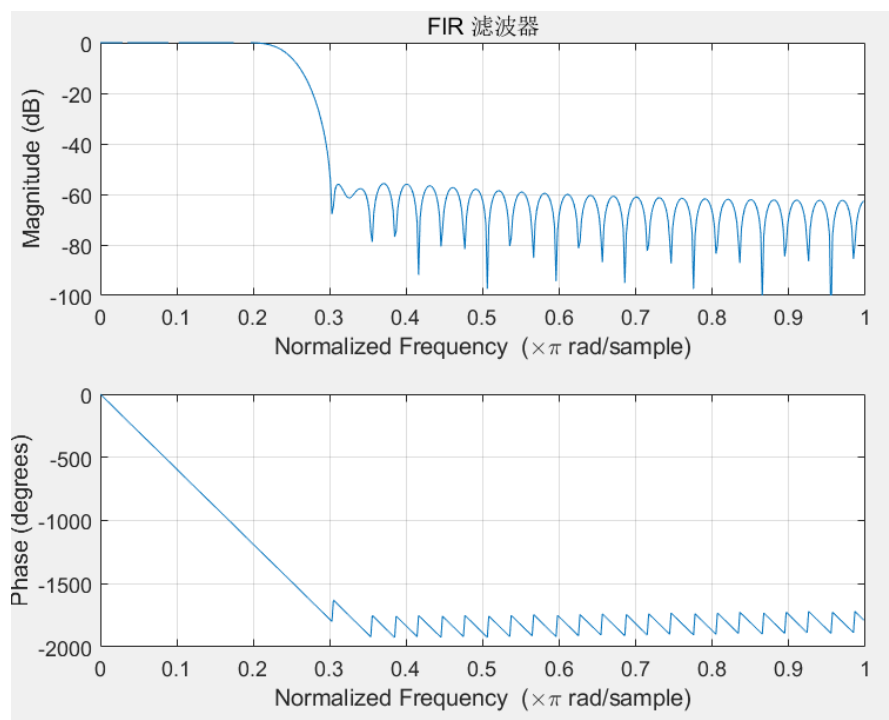
7.4 IIR 滤波器处理后的时域波形



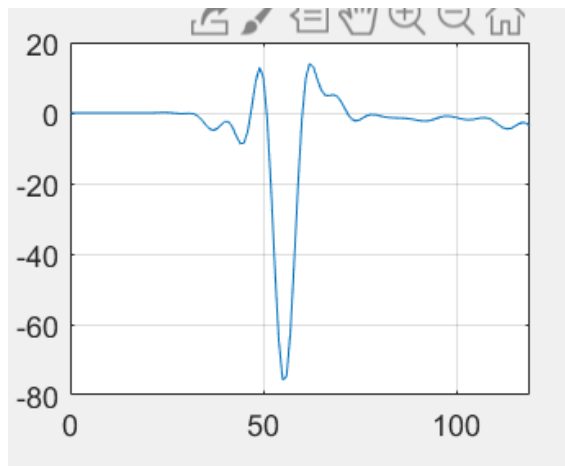
7.5 IIR 滤波器处理后的频域波形

滤波结果分析:IIR 滤波器处理后的波形相对平滑, 频谱也更集中于低频段。

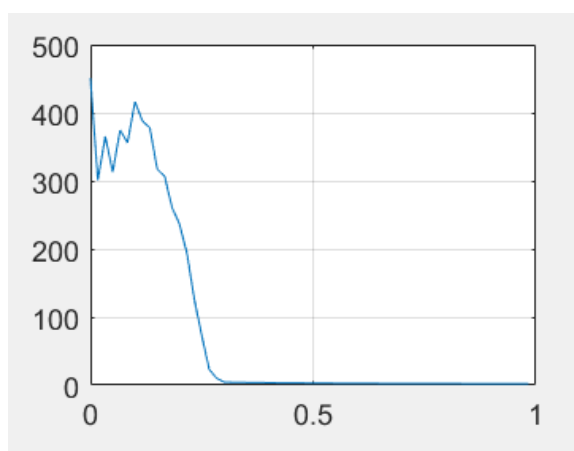
3. FIR 滤波器波特图和滤波效果



7.6 FIR 滤波器的波特图



7.7 FIR 滤波器处理后的时域波形

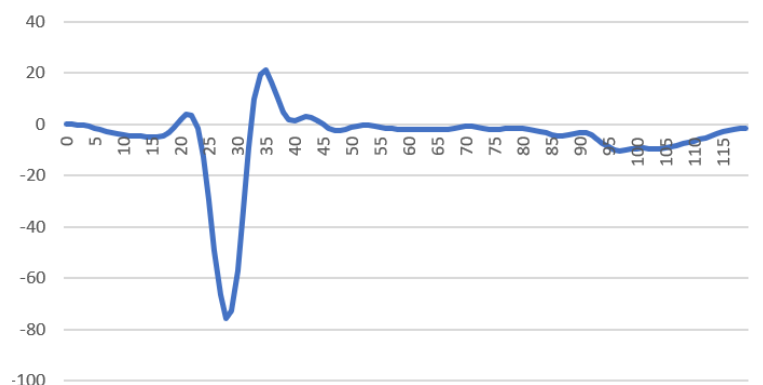


7.8 FIR 滤波器处理后的频域波形

结果分析：FIR 滤波器处理后的信号波形相对更加平滑，有一定长度的延时，其频谱也更多集中在低频段。

4. C 语言实现 filter 输出结果(利用 fprintf() 将数据导出到 excel 中绘图)

C语言IIR滤波器



7.9 利用 C 语言实现的 IIR 滤波器处理后的频域波形



7.10 利用C语言实现的FIR滤波器处理后的频域波形

对比结果：C语言滤波的效果和Matlab fir1函数的滤波效果基本一致。

八、实验结论：

1. 满足要求的IIR巴特沃斯滤波器在通带很平坦，但是过渡带下降速度很慢。同样满足要求的FIR在通带也相对平坦，但是在过渡带的下降速度更快。
2. FIR滤波器会对输入信号产生一个 $N/2$ 的线性时延。
3. FIR滤波器系统函数的阶数很高，在本次实验中需要保存含67个数的单位冲击响应数组。还需要保存之前67次的采样结果用于做运算，硬件上比较浪费存储空间。

附录 1 matlab 代码:

```
clc;
%%心电图数据
pulse=[-4,-2,0,-4,-6,-4,-2,-4,-6,-6,-4,-4,-6,-6,-2,6,12,8,0,
-16,-38,-60,-84,-90,-66,-32,-4,2,-4,8,12,12,10,6,6,6,4,0,0,
0,0,0,-2,-4,0,0,0,-2,-2,0,0,-2,-2,-2,-2,0,-2,-4,-2,0,-2,-4,
-4,2,0,0,-2,-4,-2,0,0,-2,-4,-2,0,0,-4,-4,-2,-2,-4,-6,-6,-4,-4,
,8,-10,-8,-6,-6,-8,-12,-10,-8,-8,-10,-12,-10,-8,-8,-10,-10,-8,
,-6,-6,-8,-8,-4,-2,-4,-4,-4,0,0,-2,-4,-2,-2,0,-4];
F_pulse = fft(pulse,120);
figure(1);
subplot(2,1,1);
plot(0:119,pulse);
grid on;
subplot(2,1,2);
plot((0:59)/60,abs(F_pulse(1:60)));
grid on;
%%IIR butterworth
Fs=0.5;
Rp=1;As=15;
OmegaP_1= 2*Fs*tan(0.2*pi/2);
OmegaS_2= 2*Fs*tan(0.3*pi/2);
[n,Wn] = buttord(OmegaP_1,OmegaS_2,Rp,As,'s');%确定最小阶数 n 和反归一化截止频率 Wn
[b,a]=butter(n,Wn,'low','s');%b、a 分别为模拟滤波器的分子、分母按降幂排列的多项式系数
[bd,ad]=bilinear(b,a,Fs);
disp([bd;ad]);
figure(2);
freqz(bd,ad);
ylim([-100,0]);
title('IIR 滤波器');
grid on;

%%FIR 滤波器
OmegaP_2=0.2;
OmegaS_2=0.3;

w = hamming(67);
b = fir1(66,(OmegaP_2+OmegaS_2)/2,w);
figure(3);
freqz(b,1);
ylim([-100,0]);
```



```
title('FIR 滤波器');

%% 滤波
y1=filter(bd,ad,pulse);
y2=filter(b,1,pulse);
Y1=fft(y1);
Y2=fft(y2);
figure(4);

subplot(2,2,1);
plot(0:119,y1);
grid on;
subplot(2,2,2);
plot(0:119,y2);
grid on;
subplot(2,2,3);
plot((0:59)/60,abs(Y1(1:60)));
grid on;
subplot(2,2,4);
plot((0:59)/60,abs(Y2(1:60)));
grid on;
```

附录 2: C 语言 filter 代码

```
#include "stdio.h"
#include "windows.h"

void filter(double* b,double* a,int N,double* x,double* y,int len);
int main()
{
    FILE* excel;
    double pulse[120]={-4,-2,0,-4,-6,-4,-2,-4,-6,-6,-4,-4,-6,-6,-
2,6,12,8,0,-16,-38,-60,-84,-90,-66,
-32,-4,2,-4,8,12,12,10,6,6,6,4,0,0,0,0,0,-2,-4,0,0,0,-2,-2,0,0,-2,-
2,-2,-2,0,
-2,-4,-2,0,-2,-4,-4,2,0,0,-2,-4,-2,0,0,-2,-4,-2,0,0,-4,-4,-2,-2,-
4,-6,-6,-4,-4,8,-10,-8,
-6,-6,-8,-12,-10,-8,-8,-10,-12,-10,-8,-8,-10,-10,-8,-6,-6,-8,-8,-
4,-2,-4,-4,-4,
0,0,-2,-4,-2,-2,0,-4};

    double
iir_b[7]={0.000737819930593520,0.00442691958356223,0.0110672989588974
,0.0147563986118748,0.0110672989588987,0.00442691958356162,0.00073781
9930593887};
    double iir_a[7]={1, -3.18359174954726, 4.62223731890790, -
3.77947741952335, 1.81360468776801, -0.479997500209159,
0.0544451381618481};

    double fir_b[67]={0.000546024755771983, -8.00488171187003e-19, -
0.000641650065867609, -0.00104725705356440, -0.000877258147492076,
1.27886017174141e-18, 0.00127652786106233, 0.00218580141828661,
0.00186568941030091, -2.32847245018841e-18, -0.00267514624146246,
-0.00448838701221188, -0.00374221969880826, 3.79895321245428e-18,
0.00511581347459534, 0.00839744539407861, 0.00686453751885322,
-5.47963530561660e-18, -0.00909146654707184, -0.0147536388082741,
-0.0119626104967189, 7.12973726512319e-18, 0.0157664648229160,
0.0256998900276194, 0.0210528838383762, -8.51285866278668e-18, -
0.0290097940801829, -0.0492117508516849, -0.0427435305950880,
9.43084780939840e-18, 0.0736794505899312, 0.157941404747747,
0.224766065816018, 0.250173419845741, 0.224766065816018,
0.157941404747747, 0.0736794505899312, 9.43084780939840e-18, -
0.0427435305950880, -0.0492117508516849, -0.0290097940801829,
-8.51285866278668e-18, 0.0210528838383762, 0.0256998900276194,
0.0157664648229160, 7.12973726512319e-18, -0.0119626104967189, -
0.0147536388082741, -0.00909146654707184, -5.47963530561660e-18,
```

```

0.00686453751885322,    0.00839744539407861,    0.00511581347459534,
3.79895321245428e-18,   -0.00374221969880826,   -0.00448838701221188,
-0.00267514624146246,   -2.32847245018841e-18,   0.00186568941030091,
0.00218580141828661,    0.00127652786106233,    1.27886017174141e-18,
-0.000877258147492076,  -0.00104725705356440,   -0.000641650065867609,
-8.00488171187003e-19,   0.000546024755771983};

double fir_a[67];
fir_a[0]=1;
for(int i=1;i<67;i++)
{
    fir_a[i]=0;
}
double y_1[120]={0};
double y_2[120]={0};
filter(iir_b,iir_a,7,pulse,y_1,120);
filter(fir_b,fir_a,67,pulse,y_2,120);

excel=fopen("data.xls","w");
for(int i=0;i<120;i++)
{
    fprintf(excel,"%d\t%lf\t%d\t%lf\n",i,y_1[i],i,y_2[i]);
}
fclose(excel);
system("pause");
return 0;
}

void filter(double* b,double* a,int N,double* x,double* y,int len)
{
    for(int i=0;i<len;i++)
    {
        y[i]=x[i]*b[0];
        for(int j=1;i-j>=0 && j<N;j++)
        {
            y[i] = y[i] + x[i-j]*b[j]-a[j]*y[i-j];
        }
        y[i]/=a[0];
    }
}

```

报告评分:

指导教师签字: