数字信号处理实验报告

班级：通信1802 姓名：刘增运 学号：1808030220 指导老师：顾朝志

实验4 IIR数字滤波器设计

及在FDM复用信号滤波中的应用

**一、实验目的：**

1．熟悉用双线性变换法设计IIR数字滤波器的原理与方法；

2．掌握根据频谱图及滤波需求确定滤波器的指标参数的方法；

3．通过FDM复用信号数字滤波器的设计，掌握IIR数字滤波器的MATLAB实现方法；

4．通过观察FDM复用信号滤波前后的时域及其频谱图，建立数字滤波的感性认识。

**二、实验原理：**

IIR 数字滤波器的设计一般采用间接法：脉冲响应不变法和双线性变换法，应用最广泛的是双线性变换法，其基本过程是：

（1） 先将给定的数字滤波器的指标转换成过渡模拟滤波器的指标；

（2） 设计过渡模拟滤波器；

（3） 将过渡模拟滤波器的系统函数转换成数字滤波器的系统函数。 MATLAB信号处理工具箱中的各种IIR数字滤波器设计函数都是采用双线性

变换法。教材第6章介绍的滤波器设计函数butter、cheby1、cheby2和ellip可以分别被调用来设计巴特沃斯、切比雪夫1、切比雪夫2以及椭圆模拟和数字滤波器。

说明：

（1）实验可调用如上函数直接来设计IIR数字滤波器，即根据数字滤波器

指标设计相应的DF。

（2）实验的数字滤波器的MATLAB实现是指调用MATLAB信号处理工具箱函数filter对给定的输入信号x(n)进行滤波，得到滤波后的输出信号y(n)。

**三、实验内容**

1.利用双线性变换法，设计Butterworth低通数字滤波器，假设信号 ，其中=5Hz，。要求通带波纹小于1dB，幅度衰减大于15dB，采样周期 T=0.01s。

用间接设计方法设计数字低通 DF 的步骤：

(1)产生时域信号xt

要求给出xt的时域波形图。

(2)信号xt的频谱分析

确定采样频率和采样点数N=64; Fs=64;对xt信号进行采样得到序列xtnT。要求给出 xt的频谱图。

k=0:N-1;

wk=2\*pi/N\*k; % k对应的数字频率

stem(wk/pi,abs(Xk)/max(abs(Xk))); %为避免幅度值随变换区间N变化的缺点，画图时可归一化幅度谱。

（提示：通带截止频率大致为，通带截止频率大致为。）

(3)根据读出的数字滤波器的截止频率及已知的通带波纹、阻带衰减，利用双线性变换法的频率转换形式得到模拟滤波器的频率。

(4)IIR 数字滤波器的设计及实现

①本实验采用 Butterworth 模拟滤波器设计来完成相应低通滤波器的设计，具体可调用 buttord、butter 函数完成 DF 设计。

②滤波实现

可调用滤波器实现函数 filter 来完成此功能。

要求1：绘图显示低通滤波器的损耗函数曲线；

要求2：显示滤波后的时域波形图，观察滤波效果。

1. clc,clear,close all
2. % 数字低通技术指标
3. wp=0.2\*pi;
4. ws=0.3\*pi;
5. ap=1;
6. as=15;
7. T=0.01;
9. % 产生时域信号xt，要求给出xt的时域波形图
10. f1=5; f2=30;
11. t=0:0.001:1;
12. xt=sin(2\*pi\*f1\*t)+0.5\*cos(2\*pi\*f2\*t);
13. subplot(221)
14. plot(t,xt)
15. xlabel('t');
16. ylabel('xt');
17. title('时域信号xt')
18. grid on
20. % xt的频谱分析
21. N=64;
22. Fs=64;
23. Ts=1/Fs;
24. k=0:N-1;
25. xnT=sin(2\*pi\*f1\*k\*Ts)+0.5\*cos(2\*pi\*f2\*k\*Ts);
26. Xk=fft(xnT,N);
27. wk=2\*pi/N\*k;% k对应的数字频率
28. subplot(222)
29. stem(wk/pi,abs(Xk)/max(abs(Xk)));   %为避免幅度值随变换区间N变化的缺点，画图时可归一化幅度谱。
30. xlabel('w/\pi');
31. ylabel('xnT');
32. title('Xk')
33. grid on
35. % 利用双线性变换法的频率转换形式得到模拟滤波器的频率
36. Wp=(2/Ts)\*tan(wp/2);
37. Ws=(2/Ts)\*tan(ws/2);
39. % IIR 数字滤波器的设计及实现
40. [NN,Wc]=buttord(Wp,Ws,ap,as,'s');  %之前用过N，这里使用NN表示阶数
41. [B,A]=butter(NN,Wc,'s');
42. [Bz,Az]=bilinear(B,A,Fs);
43. [H,w]=freqz(Bz,Az,N);
44. subplot(223);
45. plot(w/pi,20\*log10(abs(H)/max(abs(H))))
46. xlabel('w/\pi');
47. ylabel('dB');
48. title('损耗函数')
49. grid on
51. % 滤波后的时域波形图
52. subplot(224);
53. yt=filter(Bz,Az,xnT);
54. plot(k\*Ts,yt)
55. title('滤波后信号的时域波形')
56. xlabel('t');
57. ylabel('yt');
58. grid on

**问题1-1：观察xt的频谱图，给出信号xt的频率分量对应的数字频率。**

答： 和

**问题1-2：给出数字边界频率的双线性转换关系。**

答：关系式： 。

2.IIR 滤波器设计在 FDM 频分多路复用信号滤波分离过程中的应用

用数字频率直接设计数字低通 DF 的步骤：

(1)产生三路调幅信号构成的FDM时域复用信号st

已知调制信号形式为，试分别用频率为30Hz、60Hz、120Hz的三路信号去调制频率为300Hz、600Hz、1200Hz的余弦载波信号，实现三路抑制载波调幅信号，并由三路调幅信号构成FDM复用信号st。

要求给出st的时域波形图。

(2)FDM复用信号st的频谱分析

要求给出st幅频特性曲线。

取N=2048; Fs=4096;对st信号进行采样得到序列stnT。

问题1：观察st的频谱图，分别给出三路调幅信号的数字频率范围。

(3)确定数字滤波器设计指标

根据题目2中读出的三路调幅信号的频率范围，分别确定可以分离 st 中三路调幅信号的三个滤波器（低通、带通、高通）的通带截止频率和阻带截止频率，并要求滤波器的通带最大衰减为 0.1dB，阻带最小衰减为 60dB。

说明：为了使滤波器阶数尽可能低，每个滤波器边界频率的选择原则是尽量使滤波器过渡带宽一些。

(4)IIR 数字滤波器的设计及实现

①本实验选用椭圆滤波器完成相应滤波器的设计，具体可利用数字频率指标调用ellipord 和ellip函数完成DF设计。

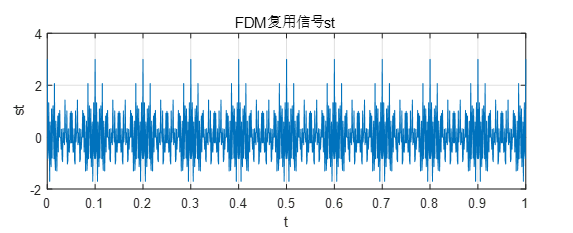
②滤波实现

用三个滤波器分别对信号st进行滤波，分离出st中的三路不同载波频率的调幅信号 y1(n)、y2(n)、y3(n)。可调用滤波器实现函数filter来完成此功能。

要求1：绘图显示各滤波器的损耗函数曲线；

要求2：显示 y1(n)、y2(n)和 y3(n)的时域波形图，观察分离效果。

**时频域信号分析：**

1. clc,clear,close all
3. % 产生三路调幅信号构成的FDM时域复用信号st
4. t=0:0.001:1;
5. fm1=cos(2\*pi\*30\*t);
6. fm2=cos(2\*pi\*60\*t);
7. fm3=cos(2\*pi\*120\*t);
8. f1=cos(2\*pi\*300\*t);
9. f2=cos(2\*pi\*600\*t);
10. f3=cos(2\*pi\*1200\*t);
11. st=fm1.\*f1+fm2.\*f2+fm3.\*f3;
12. subplot(211)
13. plot(t,st);
14. xlabel('t');
15. ylabel('st');
16. title('FDM复用信号st')
17. grid on
19. % FDM复用信号st的频谱分析
20. N=2048;
21. n=0:N-1;
22. Fs=4096;
23. Ts=1/Fs;
24. fm11=cos(2\*pi\*30\*n\*Ts);
25. fm22=cos(2\*pi\*60\*n\*Ts);
26. fm33=cos(2\*pi\*120\*n\*Ts);
27. f11=cos(2\*pi\*300\*n\*Ts);
28. f22=cos(2\*pi\*600\*n\*Ts);
29. f33=cos(2\*pi\*1200\*n\*Ts);
30. stnT=fm11.\*f11+fm22.\*f22+fm33.\*f33;
31. Sk=fft(stnT,N);
32. wk=2\*pi/N\*n;
33. subplot(212)
34. stem(wk/pi,abs(Sk)/max(abs(Sk)));
35. xlabel('w/\pi');
36. ylabel('Sk');
37. title('FDM信号频域波形')
38. grid on

**滤波器设计与实现：**

1. clc,clear,close all
3. % 产生三路调幅信号构成的FDM时域复用信号st
4. t=0:0.001:1;
5. fm1=cos(2\*pi\*30\*t);
6. fm2=cos(2\*pi\*60\*t);
7. fm3=cos(2\*pi\*120\*t);
8. f1=cos(2\*pi\*300\*t);
9. f2=cos(2\*pi\*600\*t);
10. f3=cos(2\*pi\*1200\*t);
11. st=fm1.\*f1+fm2.\*f2+fm3.\*f3;
12. % FDM复用信号st的频谱分析
13. N=2048;
14. n=0:N-1;
15. Fs=4096;
16. Ts=1/Fs;
17. fm11=cos(2\*pi\*30\*n\*Ts);
18. fm22=cos(2\*pi\*60\*n\*Ts);
19. fm33=cos(2\*pi\*120\*n\*Ts);
20. f11=cos(2\*pi\*300\*n\*Ts);
21. f22=cos(2\*pi\*600\*n\*Ts);
22. f33=cos(2\*pi\*1200\*n\*Ts);
23. stnT=fm11.\*f11+fm22.\*f22+fm33.\*f33;
24. Sk=fft(stnT,N);
25. wk=2\*pi/N\*n;
27. % 确定数字滤波器设计指标
28. ap=0.1; as=60;
29. Wp1=2\*pi\*340\*Ts; Ws1=2\*pi\*350\*Ts;% 低通
30. Wp2=[2\*pi\*500\*Ts,2\*pi\*700\*Ts]; Ws2=[2\*pi\*450\*Ts,2\*pi\*750\*Ts];% 带通
31. Wp3=2\*pi\*1000\*Ts; Ws3=2\*pi\*950\*Ts;% 高通
33. % 设计滤波器,
34. [N1,wp1]=ellipord(Wp1/pi,Ws1/pi,ap,as); % 低通
35. [N2,wp2]=ellipord(Wp2/pi,Ws2/pi,ap,as); % 带通
36. [N3,wp3]=ellipord(Wp3/pi,Ws3/pi,ap,as); % 高通
37. [Bz1,Az1]=ellip(N1,ap,as,wp1);  % 低通
38. [Bz2,Az2]=ellip(N2,ap,as,wp2);  % 带通
39. [Bz3,Az3]=ellip(N3,ap,as,wp3,'high');   % 高通
41. % 画损耗函数
42. [H1,w1]=freqz(Bz1,Az1,1024);
43. [H2,w2]=freqz(Bz2,Az2,1024);
44. [H3,w3]=freqz(Bz3,Az3,1024);
45. subplot(321)
46. plot(w1/pi,20\*log10(abs(H1)/max(abs(H1))));
47. title('低通滤波器损耗函数')
48. xlabel('w/\pi');
49. ylabel('dB');
50. grid on
51. subplot(323)
52. plot(w2/pi,20\*log10(abs(H2)/max(abs(H2))));
53. title('带通滤波器损耗函数')
54. xlabel('w/\pi');
55. ylabel('dB');
56. grid on
57. subplot(325)
58. plot(w3/pi,20\*log10(abs(H3)/max(abs(H3))));
59. title('高通滤波器损耗函数')
60. xlabel('w/\pi');
61. ylabel('dB');
62. grid on
64. % 画信号波形
65. y1=filter(Bz1,Az1,stnT);
66. y2=filter(Bz2,Az2,stnT);
67. y3=filter(Bz3,Az3,stnT);
68. subplot(422)
69. plot(t,st)
70. xlabel('t');
71. ylabel('st');
72. grid on
73. subplot(424)
74. plot(n\*Ts,y1)
75. xlabel('t');
76. ylabel('y1');
77. grid on
78. subplot(426)
79. plot(n\*Ts,y2)
80. xlabel('t');
81. ylabel('y2');
82. grid on
83. subplot(428)
84. plot(n\*Ts,y3)
85. xlabel('t');
86. ylabel('y3');
87. ****grid on

**问题2：根据上述原则，分别给出三个数字滤波器的设计指标。**

αp = 0.1dB

αs = 60dB

低通：wp=2\*340\*π\*Ts，ws=2\*350\*π\*Ts

带通：wpl=2\*500\*π\*Ts，wsl=2\*450\*π\*Ts；wph=2\*700\*π\*Ts，wsh=2\*750\*π\*Ts

高通：wp=2\*1000\*π\*Ts，ws=2\*950\*π\*Ts

**四、实验思考**

**1．如何设计采样点数N，对st 进行N点FFT可以得到6根理想谱线。改变采样点数N的值，观察频谱图，验证你的设计是否正确。**

st的周期 T=1/30 。又因为采样频率Fs=4096，所以当采样区间N/Fs等于st的整数倍周期时（N/Fs=a\*T），可得到6根理想的谱线。

**2．实验中为何选用椭圆滤波器完成数字滤波器的设计？**

相比于其他滤波器，椭圆滤波器在同等阶数N的情况下，具有最窄的过渡带，比较符合实验要求，因此实验中选用椭圆滤波器完成数字滤波器的设计。