选 课 时 间 段 周五3-5

序 号（座位号） 31



杭 州 电 子 科 技 大 学

实 验 报 告

课程名称 数字信号处理实验

实验名称 IIR数字滤波器设计——双线性变换法

指导教师 吴超

学生姓名 萧化壹

学生学号 21081226

学生班级 21083411

所学专业 通信工程

试验日期 2023.12.22

一：实验目的

1.理解IIR数字滤波器设计原理

2.IIR数字滤波器设计步骤

3.双线性变换法

二：实验原理

设计原理：

IIR数字滤波器设计的最终目的是寻找合适的H(z)以满足要求的幅频特性。

对于IIR数字滤波器，通常采用模拟滤波器设计技术来实现IIR数字滤波器的设计，即先得到满足设计目的的模拟滤波器系统函数H(s)，再通过数字化方法得到H(z)。

设计步骤：

步骤1：确定IIR数字滤波器性能指标。

步骤2：根据要求选择适当的数字化方法，确定对应的模拟滤波器性能指标。

步骤3：选取合适的模拟原型滤波器，得到满足设计的Han(s)。

步骤4：采用频率转换得到满足设计的Ha(s)。

步骤5：利用步骤2中选好的数字化方法，得到IIR数字滤波器。

双线性变换法：

双线性变换法中，为了克服冲激响应不变法多值映射的问题，双线性变换法首先将整个s平面映射到s1平面中的一个带宽为2/T的横带上，然后通过变换关系z=es1T 把s1平面映射到整个z平面。



  



  

由上述转换过程，可从满足设计要求的模拟滤波器Ha(s)得到满足设计要求的IIR数字滤波器系统函数H(z)，即：



在双线性变换中，模拟角频率Ω和数字角频率ω 的变换关系为：



可以看出，在双线性变换法中，模拟角频率Ω和数字角频率 ω 呈非线性关系。

双线性变换是一种特别的共形映射（即莫比乌斯变换，又称保形变换），常被用来将线性非时变系统滤波器在连续时域的传递函数转换成线性且平移不变滤波器在离散时域的传递函数。将s平面中位置在轴的点映射到复平面上的单位圆|z|=1。其他的应用还有扭曲任何的离散时间线性系统的频率响应（例如用来估计人类听觉系统的非线性频率清晰度）或是被用在离散域以取代一个系统经过一阶全通滤波器的单位延迟。

三：预习与参考

1.所使用的主要函数

|  |
| --- |
| **应用实例** |
| clc; clear; close all;  T = 0.001; fc =1/T; %抽样频率  ap=1; as=15; fp = 100; fs = 150; %数字滤波器的技术指标要求  wp = 2\*pi\*fp/fc; %数字滤波器通带截止频率  ws = 2\*pi\*fs/fc; %数字滤波器阻带截止频率  % \* \* \* \* \*双线性变换法\* \* \* \* \*  %要求数字滤波器技术指标转化成模拟滤波器技术指标  Wanp = 2\*fc\*tan(wp/2); %通带截止频率  Wans = 2\*fc\*tan(ws/2); %阻带截止频率  %设计模拟滤波器阶数和截止频率  [N,Wanc]=buttord(Wanp,Wans,ap,as,'s');  [b,a]=butter(N,Wanc,'s'); %设计模拟滤波器系统函数Ha(s)  [B1,A1]=bilinear(b,a,fc); %用双线性变换法设计数字滤波器系统函数Hz |

butter使用格式：

如果Wn是一个双元素向量，则Wn = [W1 W2]，则butter返回an

2N阶带通滤波器，通带W1 < W < W2。

[B,A] = butter(N,Wn，'high')设计一个高通滤波器。

[B,A] = butter(N,Wn，'low')设计了一个低通滤波器。

[B,A] = butter(N,Wn，'stop')是带阻滤波器

四：实验内容以及步骤

8.1 分别用冲激响应不变法和双线性变换法设计Butterworth数字低通滤波器，已知通带截至频率fp=200Hz，阻带截至频率fs=400Hz，δp=1dB，δs=30dB，抽样间隔T=1ms；要求：

(1) 观测幅频特性曲线，记录带宽和衰减量。

(2) 比较两种方法优缺点。

五：实验结果与数据处理、分析

5.1实验代码及其运行结果

|  |
| --- |
| **第一题** |
| clc; clear; close all;  T = 0.001; fc =1/T; %抽样频率  ap=1; as=30; fp = 200; fs = 400; %数字滤波器的技术指标要求  wp = 2\*pi\*fp/fc; %数字滤波器通带截止频率  ws = 2\*pi\*fs/fc; %数字滤波器阻带截止频率  % 冲激响应不变法  %要求数字滤波器技术指标转化成模拟滤波器技术指标  WanpC = wp\*fc; %通带截止频率  WansC = ws\*fc; %阻带截止频率  %设计模拟滤波器阶数和截止频率  [NC,WancC]=buttord(WanpC,WansC,ap,as,'s');  [bC,aC]=butter(NC,WancC,'s'); %设计模拟滤波器系统函数Ha(s)  [BC,AC]=impinvar(bC,aC,fc); %用冲激响应不变法设计数字滤波器系统函数Hz  [HC,wC]=freqz(BC,AC,'whole'); %求数字滤波器的频率响应  % 双线性变换法  %要求数字滤波器技术指标转化成模拟滤波器技术指标  WanpS = 2\*fc\*tan(wp/2); %通带截止频率  WansS = 2\*fc\*tan(ws/2); %阻带截止频率  %设计模拟滤波器阶数和截止频率  [NS,WancS]=buttord(WanpS,WansS,ap,as,'s');  [bS,aS]=butter(NS,WancS,'s'); %设计模拟滤波器系统函数Ha(s)  [BS,AS]=bilinear(bS,aS,fc); %用双线性变换法设计数字滤波器系统函数Hz  [HS,wS]=freqz(BS,AS,'whole'); %求数字滤波器的频率响应  figure(1);  subplot(2,1,1);  plot(wC\*fc/2/pi,20\*log10(abs(HC)));  xlabel('频率 Hz'); ylabel('幅值 (dB)');  title('冲激响应不变法设计的低通数字滤波器');  subplot(2,1,2);  plot(wS\*fc/2/pi,20\*log10(abs(HS)));  xlabel('频率 Hz'); ylabel('幅值 (dB)');  title('双线性变换法设计的低通数字滤波器');  IMG_256 |

5.2实验结果观察分析

观察和对比两种方法：双线性不变法能够更好地保持频率响应的形状，而冲击响应不变法可能会引入频率响应畸变，尤其在高频段。故双线性不变法可以保证系统的稳定性，因为它将连续时间域的系统映射到离散时间域时会考虑单位圆内的极点位置。

六：解答实验思考题

**1.IIR数字滤波器设计的优缺点分析及改进措施。**

①优点方面：

1. 设计灵活性：IIR滤波器相比于FIR滤波器，通常可以更灵活地设计出较窄的通带和较陡峭的阻带。

2. 效率高：相较于FIR滤波器来说，IIR滤波器能够在处理相同任务时，采用较低阶数设计，从而节省系统资源。

3. 时域特性：IIR滤波器对于一些特定应用而言，由于其反馈结构，可以更有效地产生所需的时域特性。

②缺点方面：

1.相位失真：IIR滤波器的设计可能导致在通带和阻带中出现相位失真，这在某些应用中可能会造成问题。

2. 设计复杂性：相对于FIR滤波器来说，IIR滤波器的设计可能更加复杂，特别是对于高阶滤波器而言。

改进措施：优化设计时从均衡的角度出发，考虑优略，比如选择合适的设计方法来减少设计复杂性，以确保设计的稳定性和适用性。还可以采用混合结构比如采用FIR和IIR的混合结构，可以在保持IIR优势的同时，减少其缺点。

七：实验总结

IIR数字滤波器设计实验，加深了理解双线性变换法的原理，也学会将模拟滤波器设计转换为数字滤波器设计的实际流程，同时通过对比直接离散化设计和双线性变换法设计的数字滤波器，更加清楚它们的性能和特点，并据此思考了改进措施，以及如何分析和优化数字滤波器的性能。这些知识对我在信号处理和滤波器设计方面的学习和实践都具有重要意义。