**安徽大学人工智能学院**

**《数字信号处理》**

**实验案例设计报告**

**课程名称：** 数字图像处理实验

**专 业：** 机器人工程

**班 级：** 3班

**学 号：** WA2224013

**姓 名：** 郭义月

**任课老师： 谭春雨**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 实验名称 | IIR数字滤波器的设计 | 实验次序 | 5 |
| 实验地点 | 笃行南楼A104 | 实验日期 | 11.13 |
| 实验内容：  **例11.1**  试设计一个巴特沃斯模拟低通滤波器，要求在通带频率低于1khz时，允许幅度误差衰减在1dB以内，在频率大于1.5khz的阻带内，衰减大于15dB  **实验目的：**  深刻理解低通巴特沃斯模拟滤波器的设计步骤  **实验原理：**  根据题意，模拟巴特沃斯的技术指标为  通带频率，通带处的最大衰减  阻带频率，通带处的最大衰减  因此，可以根据巴特沃斯滤波器的设计步骤编写函数butterworthord求巴特沃斯模拟滤波器的阶数和omegac  **实验代码：**  clc;clear;close all;  wp = 2000\*pi;rp = 1;ws = 3000\*pi;rs = 15;  [N,omegac] = butterworthord(wp,ws,rp,rs)  [N,omegac] = buttord(wp,ws,rp,rs,'s')  function [N,omegac] = butterworthord(wp,ws,rp,rs)  if wp<0  error('通带截止频率必须大于0');  end  if ws<=wp  error('阻带截止频率必须大于通带截止频率');  end  if(wp<0)||(rs<0)  error('通带衰减频率必须大于0')  end  N = ceil((log10((10^(rp/10)-1)/(10^(rs/10)-1)))/(2\*log10(wp/ws)));  omegac = ws/((10^(rs/10)-1)^(1/(2\*N)));  end  **实验结果：**    根据阶数N=6，查表得到归一化模拟低通滤波器的系统函数为    由于3dB的截止频率7086.5rad/s,将带入到归一化系统函数中，即可得到实际的模拟低通滤波器。  **实验内容：例11.2**  设模拟滤波器的系统函数为，试用冲激响应不变法和双线性变换法设计IIR数字滤波器  **实验目的：**  通过本实验，掌握冲激响应不变法和双线性变换法设计IIR数字滤波器的方法。具体来说，我们将设定一个模拟滤波器的系统函数 H(s)，然后分别使用冲激响应不变法和双线性变换法将其转换为数字滤波器。通过实验，理解这两种方法的实现过程及其在数字信号处理中滤波器设计中的应用。  **实验原理：**  数字滤波器的设计是数字信号处理中的一个重要课题。在设计过程中，我们常常需要将模拟滤波器转换为数字滤波器。冲激响应不变法和双线性变换法是两种常用的转换方法。冲激响应不变法通过保持模拟滤波器的冲激响应来进行转换，而双线性变换法则通过双线性变换将模拟滤波器的s域变换到z域。通过使用这两种方法设计IIR数字滤波器，可以比较和分析它们的优缺点及适用场景，从而更好地理解数字滤波器的设计原理及其在实际应用中的效果。  **实验代码：**  clc;clear;close all;  num=[1];  den=[1,sqrt(5),2,sqrt(2),1];  [B1,A1]=impinvar(num,den)  [B2,A2]=bilinear(num,den,1)  **实验结果：**    这样，根据所得的分子，分母的系数，可以得到采用冲激响应不变法和双线性变换法设计的IIR数字滤波器的系统函数  **实验内容：11.3**  设抽样周期T=250us，试用冲激响应不变法和双线性变换法设计一个三阶巴特沃斯低通滤波器，其3dB截止频率为1kHz  **实验目的：**  本实验旨在设计一个三阶巴特沃斯数字低通滤波器，了解并掌握冲激响应不变法和双线性变换法在数字滤波器设计中的应用。通过设定采样周期和3dB截止频率，分别使用两种方法设计数字滤波器，并分析其频率响应特性，比较两种方法的效果和适用场景。  **实验原理：**  数字滤波器设计是数字信号处理中的重要内容，其中巴特沃斯滤波器因其平滑的频率响应而被广泛应用。设计数字滤波器的一种方法是先设计模拟滤波器，然后将其转换为数字滤波器。冲激响应不变法通过保持模拟滤波器的冲激响应来进行转换，这种方法适用于低频率应用，但在高频率下可能会引入频率混叠。双线性变换法则通过双线性变换将模拟滤波器的s域变换到z域，能够避免频率混叠问题，但可能会导致频率失真。通过对一个三阶巴特沃斯滤波器的设计和频率响应分析，可以直观地理解这两种方法的特点和适用范围，从而为实际应用中的滤波器设计提供理论依据和技术支持。  **实验代码：**  clear;close all;clc;  N=3;T=250\*10^(-6);  fs=1/T;fc=1000;  [B,A]=butter(N,2\*pi\*fc,'s');  [num1,den1]=impinvar(B,A,fs)  [h1,w]=freqz(num1,den1);  [B,A]=butter(N,2/T\*tan(2\*pi\*fc\*T/2),'s');  [num2,den2]=bilinear(B,A,fs)  [h2,w]=freqz(num2,den2);  f=w/pi\*2000;  plot(f,abs(h1),'k',f,abs(h2),'b--');  grid on;  xlabel('频率(Hz)');ylabel('幅值(dB)');  legend('冲击响应不变法','双线性变换法');  **实验结果：**  从两种设计方法所得到的幅频特性曲线可以清晰的观察到冲激响应不变法由于混叠效应，使得过渡带和阻带的衰减特性变差。      **实验内容：例11.4**  分别用冲激响应不变法和双线性变换法，设计一个巴特沃斯低通滤波器，该滤波器的通带截止频率为100hz，阻带截止频率为300hz，通带最大衰减为1dB，阻带最大衰减25db，抽样周期为1ms  **实验目的：**  设计巴特沃斯低通滤波器：通过冲激响应不变法和双线性变换法设计一个巴特沃斯低通滤波器，确保滤波器在给定的通带和阻带频率下满足最大衰减要求。  理解和实现滤波器设计方法：掌握冲激响应不变法和双线性变换法的原理及其在数字滤波器设计中的应用，了解如何通过这些方法将模拟滤波器转化为数字滤波器。  验证滤波器性能：通过MATLAB工具，验证所设计的滤波器是否符合通带和阻带的衰减要求，以及是否满足抽样周期下的性能标准。  **实验原理：**  巴特沃斯滤波器的设计原理：巴特沃斯滤波器的特点是具有平坦的通带响应，且其频率响应的幅度在通带内保持恒定。滤波器的截止频率和阶数决定了其通带与阻带的性能。在模拟滤波器设计中，通过计算巴特沃斯滤波器的原型低通滤波器的传递函数，可以得到一个满足通带截止频率和阻带截止频率的滤波器设计。  冲激响应不变法：冲激响应不变法是一种将模拟滤波器转化为数字滤波器的方法。通过将模拟滤波器的冲激响应离散化，并与数字滤波器的冲激响应相匹配，从而得到相应的数字滤波器。该方法能够精确保留模拟滤波器的频率响应，尤其是在低频范围内。在数字化过程中，冲激响应不变法通过保持模拟滤波器的冲激响应与离散滤波器之间的时间关系，确保滤波器的性能不受失真影响。  双线性变换法：双线性变换法是一种将模拟滤波器转换为数字滤波器的技术，它通过将模拟频率s域中的变换公式映射到离散的z域，从而完成转换。该方法的优点是可以避免频率变换中的频率失真（例如，奈奎斯特失真），并能够直接控制数字滤波器的截止频率。  在MATLAB中，设计的步骤包括计算模拟滤波器的传递函数，使用冲激响应不变法或双线性变换法将其转换为数字滤波器，最后验证设计的滤波器是否符合通带和阻带的要求。  **实验代码：**  方法1：按模拟滤波器的数字化设计IIR数字滤波器的步骤设计实现  clear; clc; close all  fe = 1000;  ap = 1; as = 25; fp = 100; fs = 300;  wp = 2 \* pi \* fp / fe;  ws = 2 \* pi \* fs / fe;  Wanp = wp \* fe;  Wans = ws \* fe;  [N, Wanc] = buttord(Wanp, Wans, ap, as, 's');  [b, a] = butter(N, Wanc, 's');  [B1, A1] = impinvar(b, a, fe)  [H1, w] = freqz(B1, A1, 'whole');  subplot(2, 1, 1);  plot(w \* fe / (2 \* pi), 20 \* log10(abs(H1))); grid on;  axis([0, 1000, -40, 0]); ylabel('幅值 (dB)');  title('采用冲激响应不变法设计的数字低通滤波器');  ap = 1; as = 25; fp = 100; fs = 300;  fe = 1000;  wp = 2 \* pi \* fp / fe;  ws = 2 \* pi \* fs / fe;  anp = 2 \* fe \* tan(wp / 2);  ans1 = 2 \* fe \* tan(ws / 2);  [N, anc] = buttord(anp, ans1, ap, as, 's');  [b, a] = butter(N, anc, 's');  [B2, A2] = bilinear(b, a, fe)  [H2, w] = freqz(B2, A2, 'whole');  subplot(2, 1, 2);  plot(w \* fe / (2 \* pi), 20 \* log10(abs(H2))); grid on;  axis([0, 1000, -100, 0]);  xlabel('频率 (Hz)'); ylabel('幅值 (dB)');  title('采用双线性变换法设计的数字低通滤波器');  方法二：直接调用matlab函数实现  clear; clc; close all  fe = 1000;  ap = 1; as = 25; fp = 100; fs = 300;  wp = 2 \* fp / fe;  ws = 2 \* fs / fe;  [N, Wn] = buttord(wp, ws, ap, as);  [B, A] = butter(N, Wn)  [H, W] = freqz(B, A, 'whole');  subplot(2, 1, 1);  plot(W \* fe / (2 \* pi), 20 \* log10(abs(H))); grid on;  axis([0, 1000, -100, 0]);  ylabel('幅值 (dB)');  title('直接设计IIR滤波器的幅度响应');  subplot(2, 1, 2);  plot(W \* fe / (2 \* pi), angle(H));  xlabel('频率 (Hz)'); ylabel('相位 (弧度)'); grid on;  **实验结果：**  方法1结果：      方法二结果：      **实验内容：11.5**  设计一个工作于抽样频率为80khz的切比雪夫1型数字低通滤波器，要求通带边界频率是4khz，通带最大衰减为.05db，阻带边界频率为20khz，阻带最小衰减为45db  **实验目的：**  设计满足特定频率要求的数字低通滤波器：通过设计切比雪夫I型低通滤波器，满足通带和阻带的频率及衰减指标。掌握切比雪夫I型滤波器设计方法：学习和理解如何使用MATLAB中的相关函数（如cheb1ord和cheby1）设计切比雪夫I型滤波器，掌握其在滤波器设计中的实际应用。验证滤波器性能：通过MATLAB绘制滤波器的幅频响应图，验证设计的滤波器是否满足通带和阻带的性能要求。  **实验原理：**  切比雪夫I型滤波器：切比雪夫I型滤波器具有波动的通带响应，能够以较低阶数实现指定的通带和阻带衰减。其通带内有最大允许的波动，频率响应满足在阻带内的衰减要求。设计时，需要先确定滤波器的阶数和截止频率，然后使用设计函数创建滤波器的传递函数。  滤波器设计步骤：   1. 归一化处理：将给定的通带和阻带频率归一化为数字域频率，通常以奈奎斯特频率的一半为基准进行归一化。 2. 阶数和截止频率计算：使用cheb1ord函数根据通带和阻带的指标来确定滤波器的最小阶数及相应的归一化截止频率。 3. 滤波器设计：使用cheby1函数创建切比雪夫I型滤波器的传递函数，该函数返回滤波器的分子和分母系数。 4. 性能验证：使用freqz函数计算滤波器的频率响应，并绘制其幅频响应图，以验证是否符合设计要求。   **实验代码：**  clc;clear;close all;  f1 = 4000;Rp = 0.5;  f2 = 20000;Rs = 45;  fs = 80000;  wp = 2\*pi\*f1;  ws = 2\*pi\*f2;  [N,Wn] = cheb1ord(wp,ws,Rp,Rs,'s');  [b,a] = cheby1(N,Rp,Wn,'low','s');  [B,A] = impinvar(b,a,fs);  [H,w] = freqz(B,A);  subplot(2,1,1);  f = w/2/pi\*fs;  plot(f,20\*log10(abs(H)));grid on;  ylabel('幅值dB');  title('按IIR数字滤波器的步骤设计');  f1 = 4000;Rp = 0.5;  f2 = 20000;Rs = 45;  fs = 80000;  wp = 2\*f1/fs;  ws = 2\*f2/fs;  [N,Wn] = cheb1ord(wp,ws,Rp,Rs);  [B,A] = cheby1(N,Rp,Wn);  [H,w] = freqz(B,A);  subplot(2,1,2);  f = w/2/pi\*fs;  plot(f,20\*log10(abs(H)));grid on;  ylabel('幅值dB');xlabel('频率（HZ）')  title('直接设计');  **实验结果：**    **实验过程中遇到的问题**  当使用变量名字为ans时，出现以下警告，查找资料发现，在MATLAB中，不建议使用ans作为变量名，因为ans是MATLAB的默认变量名，用于存储没有显式赋值的计算结果。当运行一行代码且不指定输出变量时，MATLAB会将结果存储在ans中。因此，如果你使用ans作为变量名，很容易出现以下问题：   1. 覆盖问题：ans在每次未指定输出变量的操作时都会被覆盖。如果在代码中频繁使用ans作为变量名，可能会导致原本存储在ans中的值意外被覆盖，从而引发错误或逻辑问题，尤其是在调试或执行多行代码时。 2. 降低代码的可读性：ans的语义不明确，无法直接表明它的用途。使用更具描述性的变量名可以让代码更清晰、易于理解，也便于他人阅读和维护。 3. 影响调试和变量追踪：如果代码中多次使用ans，在调试时很难判断每一处的ans代表什么，可能会导致混淆和误解，增加错误的可能性。   为了提高代码的可读性和可靠性，建议使用具有描述性的变量名，避免使用ans以减少意外覆盖的风险。 | | | |