

实验3 滤波器设计与滤波器特性分析

3.1 实验目的

- 1、掌握 Matlab 下滤波器设计工具（fdatool）的使用方法。
- 2、掌握 IIR 滤波器设计方法与 FIR 滤波器设计方法。
- 3、了解 IIR 滤波器设计与 FIR 滤波器设计方法的差异。
- 4、掌握滤波器特性分析的方法。
- 5、了解 Matlab 中 sptool 工具的使用方法。

3.2 实验原理

本实验利用 Matlab 的工具 fdatool 完成,请仔细阅读 Matlab 中滤波器设计工具箱 fdatool 的联机帮助。IIR 与 FIR 滤波器设计的原理请参考课程内容。

3.3 实验内容

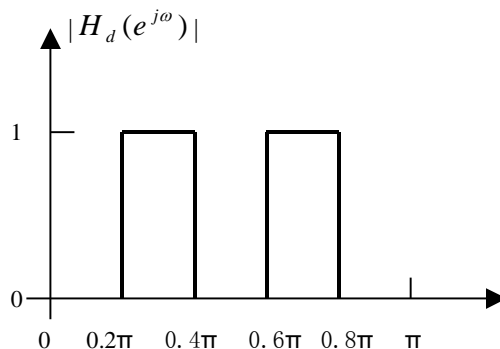
3.3.1 IIR 滤波器设计

- 1、采样频率为 1Hz, 设计一个 Chebyshev 高通数字滤波器, 其中通带临界频率 $f_p = 0.3Hz$, 通带内衰减小于 0.8dB ($\alpha_p = 0.8dB$), 阻带临界频率 $f_s = 0.2Hz$, 阻带内衰减大于 20dB ($\alpha_s = 20dB$)。求这个数字滤波器的传递函数 $H(z)$, 输出它的幅频特性曲线, 观察其通带衰减和阻带衰减是否满足要求。
- 2、采样频率为 1Hz, 设计一个数字低通滤波器, 要求其通带临界频率 $f_p = 0.2Hz$, 通带内衰减小于 1dB ($\alpha_p = 1dB$), 阻带临界频率 $f_s = 0.3Hz$, 阻带内衰减大于 25dB ($\alpha_s = 25dB$)。求这个数字滤波器的传递函数 $H(z)$, 输出它的幅频特性曲线。
- 3、设计 Butterworth 带通数字滤波器, 其上下边带 1dB 处的通带临界频率分别为 20kHz 和

30kHz ($f_{p1} = 20\text{kHz}$, $f_{p2} = 30\text{kHz}$, $\alpha_p = 1\text{dB}$), 当频率低于 15kHz 时, 衰减要大于 40dB ($f_s = 15\text{kHz}$, $\alpha_s = 40\text{dB}$), 采样周期为 $10\mu\text{s}$, 求这个数字滤波器的传递函数 $H(z)$, 输出它的幅频特性曲线, 观察其通带衰减和阻带衰减是否满足要求。

3.3.2 FIR 滤波器设计

- 1、用 Hanning 窗设计一个线性相位带通滤波器, 其长度 $N=15$, 上下边带截至频率分别为 $\omega_1 = 0.3\pi$, $\omega_2 = 0.5\pi$, 求 $h(n)$, 绘制它的幅频和相位特性曲线, 观察它的实际 3dB 和 20dB 带宽。如果 $N=45$, 重复这一设计, 观察幅频和相位特性的变化, 注意长度 N 变化对结果的影响。
- 2、改用矩形窗和 Blackman 窗, 设计步骤 (1) 中的带通滤波器, 观察并记录窗函数对滤波器幅频和相位特性的影响, 比较这三种窗函数的特点。
- 3、用 Kaiser 窗设计一个专用的线性相位滤波器。 $N=40$, 理想的幅频特性如下图所示:



当 β 值分别 4,6,8 时, 设计相应的滤波器, 比较它们的幅频和相位特性, 观察并分析 β 值不同的时候对结果有什么影响。

3.3.3 滤波器特性分析

针对 IIR 滤波器设计实验内容中的三款滤波器 (低通、高通和带通), 采用基于 Blackman 窗函数的 FIR 设计方法重新设计, 比较用 IIR 与 FIR 方法得到的滤波器的幅频特性、相频特性、零极点、群延时、相位延时。

对比较的结论进行原理性解释。

3.3.4 滤波器的实际运用

请调用 Matlab 中的 sptool 工具完成以下要求:

- (1) 用 Matlab 产生信号 $x(t) = 0.5 + 1.2 \sin(2\pi f_1 t) + 0.5 \cos(2\pi f_2 t) + \omega(t)$,

其中 $f_1 = 50\text{Hz}$, $f_2 = 200\text{Hz}$, $\omega(t)$ 为高斯白噪声, 采样频率 $f_s = 1000\text{Hz}$ 。利

用 `sptool` 工具导入该信号并观察其频谱特性。

- (2) 在 `sptool` 中调用 `fdatool` 工具, 设计一个 **Butterworth** 低通滤波器, 通带边界频率为 100Hz , 阻带边界频率为 150Hz , 通带波纹不大于 2dB , 阻带衰减不小于 50dB , 观察所设计滤波器的幅频特性、相频特性、零极点、群延时和脉冲响应。
- (3) 在 `sptool` 中用题 (2) 设计的滤波器对题 (1) 中的信号进行滤波处理, 并用 `sptool` 中的频谱分析模块分析滤波前后信号的频谱变化。
- (4) 在 `sptool` 中调用 `fdatool` 工具, 用 **Kaiser** 窗设计一个能滤除题 (1) 中信号 $x(t)$ 的直流分量和频率分量 f_1 的滤波器, 并观察滤波前后信号的频谱变化。

3.4 实验报告要求

- 1、记录在上机实验内容中所设计的 **IIR** 滤波器的传递函数 $H(z)$ 及对应的幅频特性曲线定性分析它们的性能, 判断设计是否满足要求。
- 2、记录在实验过程中 **FIR** 滤波器设计结果的 $h(n)$ 的幅频和相位特性曲线, 比较它们的性能, 说明滤波器 N 和窗函数对滤波器性能的影响。
- 3、记录滤波器特性分析中滤波器特性比较的结论并进行解释。
- 4、对 **IIR** 滤波器设计和 **FIR** 滤波器设计的优缺点进行总结。
- 5、总结实验中根据实验现象得到的其他个人结论。