

数字滤波器的 Matlab 设计与应用

Designing Digital Filter Based on Matlab and Its Application

火元莲¹ 齐永锋² 甘振业¹

(西北师范大学物理与电子工程学院¹,兰州 730070; 西北师范大学数学与信息科学学院²,兰州 730070)

摘要: 数字滤波在数字信号处理中占有极其重要的地位,并且被广泛应用。研究了在 Matlab 环境下 FIR 数字滤波器的设计方法以及 FIR 滤波器在信号去噪方面的应用。Matlab 因其强大的数据处理功能被广泛应用于工程计算,其丰富的工具箱为工程计算提供了便利,利用 Matlab 信号处理工具箱可以快速有效地设计各种数字滤波器,设计简单方便。

关键词: FIR 数字滤波器 Matlab 窗函数 信号处理 温度漂移

中图分类号: TN713+.7 **文献标志码:** A

Abstract: The digital filters play a very important role and have been widely applied in digital signal processing. The design method for FIR digital filter under Matlab environment and the application of FIR filter in eliminating noise of signals are researched. Matlab can be widely used in engineering calculations because of its powerful functions of data processing. Its rich toolbox makes the calculations easy. With Matlab signal processing toolbox, various digital filters can be designed effectively in simple way.

Keywords: FIR digital filter Matlab Window function Signal processing Temperature drift

0 引言

在数字信号处理中,数字滤波占有极其重要的地位。目前对数字滤波器的设计有多种方法。其中 Matlab 软件已成为设计数字滤波器的强有力工具。该软件是 1984 年由美国 MathWorks 公司推出的一套用于数值计算及图形处理的高性能的可视化软件,它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体,构成了一个方便友好的界面和用户环境,深受工程技术人员及科技专家的欢迎,并很快成为应用学科计算机辅助分析、设计、仿真、教学等领域不可或缺的基础软件。传统的数字滤波器设计过程复杂、计算工作量大、滤波特性调整困难,但利用 Matlab 信号处理工具箱 (signal processing toolbox) 可以快速有效地实现由软件组成的常规数字滤波器的设计、分析和仿真,极大地减轻了工作量,有利于滤波器设计的最优化。

1 数字滤波器简介

数字滤波器是指输入、输出均为数字信号,并对输入信号起到滤波作用的系统^[1]。信号经滤波器处理,在时域就是信号与滤波器的冲击响应相卷积,即输入、输出关系为 $y(n) = x(n) \times h(n)$;而在频域则是信号频

谱与滤波器频响的乘积,即 $Y(e^{j\omega}) = X(e^{j\omega}) \times H(e^{j\omega})$ 。数字滤波器实质上是一个由有限精度算法实现的线性移不变离散时间系统,它的基本工作原理是利用离散系统特性对系统输入信号进行加工、处理和变换,改变输入序列的频谱或信号波形,让有用频率的信号分量通过,抑制无用的信号分量输出^[2-3]。与模拟滤波相比,数字滤波具有很多突出的优点,如:它可以满足滤波器对幅度和相位特性的严格要求,可以避免模拟滤波无法克服的电压漂移、温度漂移和噪声等问题。数字滤波器按其单位样值响应的性质可分为有限冲激响应滤波器 FIR (finite impulse response) 和无限冲激响应滤波器 IIR (infinite impulse response)。其中 FIR 滤波器具有以下优点^[4]: 具有严格的线性相位,同时又具有任意的幅度特性; 单位样值响应是有限长的,因而系统一定是稳定的; 可以用快速傅里叶变换 (FFT) 算法来实现 FIR 滤波,从而可大大提高运算效率。

2 FIR 数字滤波器的 Matlab 设计

2.1 FIR 数字滤波器的设计思想

Matlab 信号处理工具箱为 FIR 数字滤波器的设计提供了两种方法——窗函数法和等波纹最佳一致逼近法^[5]。下面就窗函数法简要说明其设计思想。

窗函数法设计 FIR 的基本思想是:首先根据给定的设计指标求出理想滤波器的频响,其对应的单位样值响应是非因果的无限长序列。设计要用一个有限长序列来逼近它,最有效的办法是用一个有限长的窗函

西北师范大学校级重点课程建设基金资助项目。

修改稿收到日期:2007-07-12。

第一作者火元莲,女,1973 生,2005 年毕业于兰州大学通信与信息工程专业,获硕士学位,讲师;主要研究方向为数字信号处理、图像处理。

数截取理想滤波器的单位样值响应,因而窗函数的形状及长度的选择就成为了关键。在 Matlab 中常用的窗函数有矩形窗、Hanning 窗、Hamming 窗、Blackman 窗、Kaiser 窗等。这些窗函数各有优缺点,所以要根据实际情况合理选择窗函数类型。

2.2 滤波器设计示例

采用 Hamming 窗函数设计一个 95 阶的线性相位数字带通滤波器,其技术指标要求为:采样频率 1 000 Hz,通带下限截止频率为 70 Hz,通带上限截止频率为 84 Hz。其程序为:

```
n = 95; Fc1 = 70; Fc2 = 84; Fs = 1 000;
w1 = 2 * pi * Fc1 / Fs; w2 = 2 * pi * Fc2 / Fs;
window = hamming(n + 1);
h = fir1(n, [w1 / pi w2 / pi], window);
freqz(h, 1, 512);
```

程序运行的结果如图 1a 所示。

也可以考虑用 Matlab 工具箱中专用的滤波器设计分析工具 FDA Tool 来实现^[6~7]。FDA Tool 界面下的滤波器幅频和相频特性如图 1b 所示。

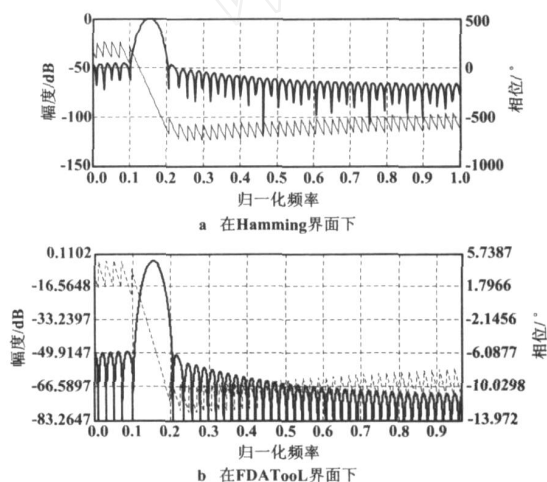


图 1 滤波器的幅频和相频特性

Fig 1 Amplitude frequency and phase frequency characteristics of filter

设计过程如下:打开 FDA Tool 界面后,首先在 Filter Type 中选择 Bandpass (带通滤波器);在 Design Method 选项中选择 FIR Window (FIR 滤波器窗函数法),接着在 Window Specifications 选项中选择 Hamming;指定 Filter Order 项中的 Specify Order 为 95;由于采用窗函数法设计,只要给出通带下限截止频率 F_{C1} 和通带上限截止频率 F_{C2} ,选取 $F_{C1} = 70$ Hz, $F_{C2} = 84$ Hz。设置完以后点击 Design Filter 即可得到所设计的 FIR 滤波器。通过菜单选项 Analysis 可以在特性区看到所设计滤波器的幅频响应、相频响应、零极点配置

和滤波器系数等各种特性。

由此可见,用图形用户界面设计更为简捷,不仅节省大量的时间,还保证了准确性。

3 FIR 滤波器的应用

采用 FIR 滤波器可以有效地对数字信号进行各种期望的处理,最典型的的就是信号噪声的滤除。例如原始信号为 $x = \sin(2 \times \pi \times 70 \times t) + 2 \times \sin(2 \times \pi \times 120 \times t)$,抽样频率为 $F_s = 1 000$ Hz,信号被白噪声污染,实际获得的信号为 $x_n = x + \text{randn}(\text{size}(t))$,要求设计一个 FIR 滤波器恢复出原始信号。

白噪声分布在整个频带,所以需要在不衰减原信号的前提下,对整个频带进行滤波,故使用最小二乘法设计一个多带滤波器。

其程序的主要部分为:

```
n = 90; f = [0 0 12 0 13 0 15 0 16 0 22 0 23 0 25 0 26 0];
m = [0 0 1 1 0 0 1 1 0 0];
b = firls(n, f, m);
Fs = 1000; t = 0: 1 / Fs: 2;
x = sin(2 * pi * 70 * t) + 2 * sin(2 * pi * 120 * t); xn = x + randn(size(t));
y1 = filter(b, 1, xn);
y2 = conv(b, xn);
```

在滤波过程中我们分别应用 filter 和 conv 函数对加噪信号进行了滤波处理,二者执行结果完全一致,都很好地恢复了原始信号。

4 结束语

利用 Matlab 设计数字滤波器,使原来繁琐的程序设计简化成函数的调用。只要以正确的指标参数调用相应的滤波器设计程序或工具箱函数,便可以得到正确的设计结果,使用非常方便,所以 Matlab 已成为数字滤波器研究与应用的一个直观、高效、便捷的利器。

参考文献

- 程佩青. 数字信号处理教程 [M]. 第 2 版. 北京:清华大学出版社, 2004.
- 董长虹. 信号处理与应用 [M]. 北京:国防工业出版社, 2005.
- OPPENHEM AV, SCHAFER RM 著, 董士嘉译. 数字信号处理 [M]. 北京:科学出版社, 1981.
- 胡广书. 数字信号处理—理论、算法与实现 [M]. 北京:清华大学出版社, 1997.
- 薛年喜. Matlab 在数字信号处理中的应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- 陈怀琛, 吴大正, 高西全. Matlab 及其在电子信息课程中的应用 [M]. 北京:电子工业出版社, 2002.
- 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计—Matlab 语言及应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 1996.