

# 基于 Matlab 的数字滤波器的设计与应用研究

火元莲<sup>1</sup>, 齐永锋<sup>2</sup>, 刘亚丽<sup>1</sup>, 杨凯<sup>1</sup>

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

**摘要:**数字滤波是语音和图像处理、模式识别、谱分析等应用中的一个基本处理算法,在数字信号处理中占有极其重要的地位。研究了基于 Matlab 环境下的 IIR 数字滤波器的设计与实现,给出了相应的 Matlab 函数命令,并将滤波器应用于图像噪声的去除,取得了不同的效果,就其结果做了进一步的解释和说明。

**关键词:** IIR 数字滤波器; Matlab; Simulink; 图像处理

中图分类号: TN713

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2007)23-166-02

## Design and Application Study of Digital Filter Based on Matlab

HUO Yuanlian<sup>1</sup>, QI Yongfeng<sup>2</sup>, LIU Yali<sup>1</sup>, YANG Kai<sup>1</sup>

(1. College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou, 730070, China;

2. College of Mathematics and Information Science, Northwest Normal University, Lanzhou, 730070, China)

**Abstract:** Digital filter is a basic algorithm to speech, image processing, pattern recognition and spectrum analysis, it plays a very important role in digital signal processing. This article studies the method of IIR digital filter design and realization based on Matlab environment, gives the corresponding Matlab functions. Applies digital filter to image processing to reduce noises and explains the reasons of the different effect.

**Keywords:** IIR digital filter; Matlab; Simulink; image processing

## 1 引言

数字滤波器是数字信号处理的基础,用来对信号进行过滤、检测与参数估计等处理,在通信、图像、语音、雷达等许多领域都有着十分广泛的应用。尤其在图像处理、数据压缩等方面取得了令人瞩目的进展和成就。鉴于此,数字滤波器的设计就显得尤为重要。

目前数字滤波器的设计有许多现成的高级语言设计程序,但他们都存在设计效率较低,不具有可视图形,不便于修改参数等缺点,而 Matlab 为数字滤波的研究和应用提供了一个直观、高效、便捷的利器。他以矩阵运算为基础,把计算、可视化、程序设计融合到了一个交互式的工作环境中。尤其是 Matlab 工具箱使各个领域的研究人员可以直观方便地进行科学研究与工程应用。其中的信号处理工具箱、图像处理工具箱、小波工具箱等更是为数字滤波研究的蓬勃发展提供了可能。

本文主要介绍基于 Matlab 环境的 IIR 数字滤波器的设计,然后将设计结果应用于图像处理,针对处理结果进一步分析了滤波器性能的优劣。

## 2 IIR 数字滤波器的设计

IIR 数字滤波器最大的优点是给定一组指标时,他的阶数要比相同组的 FIR 滤波器的低得多。基于 Matlab 的 IIR 滤波器的设计方法主要有完全设计法、模拟原型设计法和直接设计法等。

### 2.1 模拟原型法

采用经典低通滤波器作为连续域上的设计模型,通过频域变换得到 IIR 数字滤波器,最后还要进行离散化处理。Matlab 提供的低通模拟滤波器原型函数包括: `besselap`, `buttap`, `cheb1lp`, `cheb2ap`, `ellipap`; 频域变换函数包括: `lp2bp`, `lp2bs`, `lp2hp`, `lp2lp`; 离散化处理函数有 `bilinear` 和 `impinvar`。

### 2.2 完全设计法

Matlab 信号处理工具箱提供了几个直接设计 IIR 数字滤波器的函数,直接调用就可以设计滤波器,这为设计通用滤波器提供了方便。

设计 Butterworth 滤波器用函数 `butter()`, 可以设计低通、高通、带通和带阻的数字和模拟滤波器,其特性是通带内的幅度响应最大限度的平滑,但损失了截止频率处的下降斜度。

设计 Chebyshev I 型滤波器用函数 `cheby1()`。可以设计低通、高通、带通和带阻的数字和模拟 Chebyshev I 型滤波

收稿日期: 2007-05-31

基金项目: 西北师范大学青年教师科研基金资助项目

器,其通带内为等波纹,阻带内为单调。Chebyshev I 型滤波器的下降斜度比 II 型大,但其代价是通带内波纹较大。

设计 Chebyshev II 型滤波器用函数 cheby2()。可以设计低通、高通、带通和带阻的数字和模拟 Chebyshev II 型滤波器,其通带内为单调,阻带内等波纹。Chebyshev II 型滤波器的下降斜度比 I 型小,但其阻带内波纹较大。

设计椭圆滤波器用函数 ellip(),与 cheby1, cheby2 类似,可以设计低通、高通、带通和带阻的数字和模拟滤波器。与 Butterworth 和 chebyshev 滤波器相比,ellip 函数可以得到下降斜度更大的滤波器,得到通带和阻带均为等波纹。一般情况下,椭圆滤波器能以最低的阶实现指定的性能指标。

### 2.3 直接设计法

直接设计方法的思想是基于给定的滤波器参数直接在离散域上寻找合适的数字滤波器,他不限于常规的滤波器类型,如低通、高通、带通和带阻等。这种方法甚至可以设计多带的频率响应,Matlab 提供 yulewalk 函数用于辅助设计。

### 2.4 通用 Butterworth 设计方法

使用这种方法设计的 Butterworth 数字滤波器可以有不同数目的零点和极点,Matlab 提供的 maxflat 函数实现了这一功能。这个函数与 butter 函数很相似,但他可以指定两个阶参数,其中归一化和非归一化各一个。如果这两个参数的值相同,那么他与 butter 函数的结果就是相同的。

### 2.5 参数建模法

寻找接近于所需要设计的滤波器的通用模型,时域上的建模函数为 lpc,prony,Stmcb;频域上的建模函数有 invfreqs 和 invfreqz。

## 3 IIR 数字滤波器的实现

当从设计中求得了滤波器  $H(z)$  的分子分母系数向量之后,用 filter 指令可以实现对应的数字滤波器;也可通过 Simulink 建模仿真来实现滤波器。

示例:已知系统函数为  $H(z) = \frac{1}{z - 0.8} = \frac{z^{-1}}{1 - 0.8z^{-1}}$ ,输入信号为  $X = [100000000]$ ,求滤波器的零状态响应。

#### (1) 用 filter 指令实现

```
b = [0,1]; a = [1, - 0.8]; x = [1 0 0 0 0 0 0 0 0];
>> y = filter(b,a,x)
y =
Columns 1 through 6
0 1.0000 0.8000 0.6400 0.5120 0.4096
Columns 7 through 10
0.3277 0.2621 0.2097 0.1678
```

#### (2) 用 Simulink 实现

首先构建 Simulink 模型:

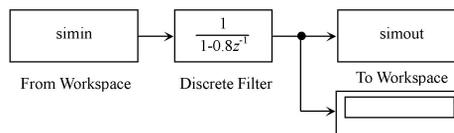


图 1 Simulink 模型

然后设置仿真参数:仿真时间段为 0~1 s,求解器采用固定步长的离散求解器,其余参数采用默认值。设置离散滤波器参数:分子系数向量[0,1],分母系数向量[1,-0.8],采样时间 0.1 s。

再设置数据输入输出模块的参数,输入变量名为 simin,并允许数据外插。输出数据为 simout,设定为向量格式,将设置好的仿真存盘为 discretfilter.mdl 文件。仿真程序:

```
t = [0 :0.1 :1]; x = [1 0 0 0 0 0 0 0 0];
%仿真输入数据序列
>> simin = [t,x]; sim('discretfilter.mdl');
%命令启动仿真
>> figure(1); stem(t,simout); axis([0,1,0,1.5]);
%采用不同的表示方法表达输出序列
>> figure(2); stairs(t,simout); axis([0,1,0,1.5]); simout
%显示仿真输出结果数据
ans =
Columns 1 through 6
0 1.0000 0.8000 0.6400 0.5120 0.4096
Columns 7 through 11
0.3277 0.2621 0.2097 0.1678 0.1342
```

#### (3) 理论计算

```
a = 0.8; k = 0 : 9;
>> hk = a.^(k-1).*(k>0)
%理论计算 H(z) 的单位冲激响应
hk =
Columns 1 through 6
0 1.0000 0.8000 0.6400 0.5120 0.4096
Columns 7 through 10
0.3277 0.2621 0.2097 0.1678
```

由此可见,用 filter 指令和 Simulink 建模仿真结果与理论计算结果是一致的。

## 4 数字滤波器应用于图像处理

示例:用同一指标的低通滤波器对加不同噪声的同一幅图像滤波效果的比较。

由滤波效果图发现,我们设计的 3 阶 butterworth 低通滤波器在  $d_0$ (截止频率)为 20 时,对 3 种噪声的滤除效果相差不多,都达到了滤除噪声的目的,但使图像均不同程度的模糊。这是因为在一幅图像中,图像的边缘、图像中的颗粒噪声均代表了图像信号的高频分量,而图像的背景则代表了其低频分量。用滤波的方法滤除其高频分量就能去掉噪声,但同时使图像的高频分量得到衰减,也就是说滤波后图像变模糊了。当然也不难想象,Butterworth 低通滤波器的截止频率越低,图像信号的高频分量损失就越多,滤波后的图像也就越模糊。

(下转第 170 页)

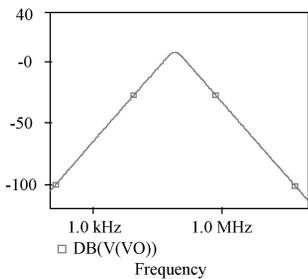


图 6 四阶带通滤波器幅频响应

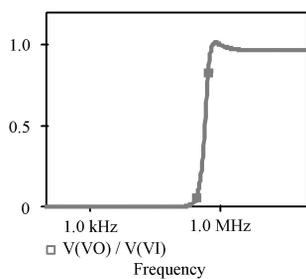


图 7 五阶高通滤波器幅频响应

5 结 语

本文利用信号流图,提出了用 CFA 设计的通用高阶滤波器电路结构,该结构只需通过调整接地阻抗的值就能实现低通、带通、带阻以及高通滤波功能。列举的四阶带通滤波器和五阶高通滤波器的 PSpice 仿真结果证明了本文提出的电路可行。

参 考 文 献

[1] Jiun Wei Horng ,Maw Huei Lee. High Input Impedance

- 作者简介 韩英女,1979 年出生,湖南常德人,2006 年获湖南师范大学工学院工学硕士学位。  
周细凤女,1979 年出生,湖南邵阳人,2006 年获湖南师范大学工学院工学硕士学位。  
彭良玉女,1965 年出生,江西九江人,1995 年在湖南大学获工学硕士学位,2003 年获湖南大学工学博士学位,现为湖南师范大学电子信息科学系教授。研究方向为信号处理和有源滤波器设计,发表学术论文 50 余篇。  
黄满池男,在职博士,副教授。主要从事电子及其计算机应用研究工作。

Voltage-mode Lowpass ,Bandpass and Highpass Filter Using Current-feedback Amplifiers [J]. Electronics Letters ,1997 , 33(11) :947-948.  
[2] Gunes E O ,Anday F. CFA-based Fully Integrated Noth-order Lowpass Filter[J]. Electronics Letters ,1997 ,33(7) :571-573.  
[3] 彭良玉,何怡刚,吴杰,等.基于电流反馈放大器的电压模式五阶低通滤波器实现 [J]. 电路与系统学报,2003 ,8(6) :129-131.  
[4] 杨志民.基于运算放大器的基本电路转换为基于 CFA 的基本电路的方法[J]. 西北师范大学学报:自然科学版,1999 ,35(2) :31-38.  
[5] 席燕辉,彭良玉.一种高阶全极点 CCII 高通滤波器的设计 [J]. 福建工程学院学报,2004 ,2(2) :164-167.  
[6] 何怡刚,吴杰,蔡国昌.一种新颖的高阶全极点 CC 高通滤波器[J]. 科技通报,1998 ,14(5) :326-329.  
[7] 赵蓉,韩庆全.用第二代电流传递器实现通用高阶电流滤波器[J]. 长春邮电学院学报,1994 ,12(4) :6-10.

(上接第 167 页)

图 3 使用的是同一阶数(N=5)不同截止频率的滤波器对加入盐椒噪声的图像的滤波效果比较。

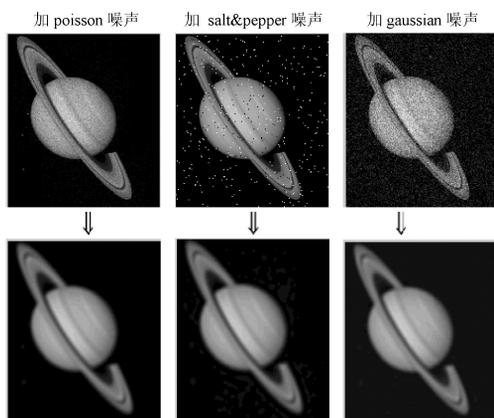


图 2 滤波效果图

快捷地设计和实现各种滤波器,这对于信号的传输和处理有着极其重要的作用。

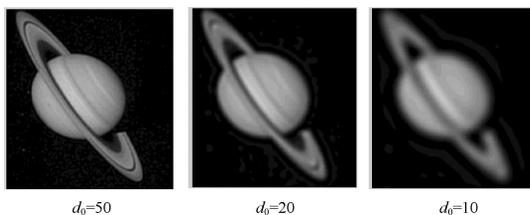


图 3 不同截止频率的滤波器对加入盐椒噪声的图像的滤波效果比较

参 考 文 献

[1] 程佩青. 数字信号处理教程[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社,2004.  
[2] 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.  
[3] 董长虹. 信号处理与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2005.  
[4] 陈杨,陈荣娟,郭颖辉. Matlab 6. x 图形编程与图象处理 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2002.

5 结 语

综上所述,利用 Matlab 的信号处理工具箱能够方便

作者简介 火元莲女,1973 年出生,甘肃兰州人,硕士,讲师。主要研究方向为数字信号处理、图像处理。