

Design and Realization of a Digital FIR Filter

Jun Li

Department of Electronic Engineering, Hubei University of Economic, Wuhan
Email: lijun@hbue.edu.cn

Received: Oct. 20th, 2013; revised: Nov. 4th, 2013; accepted: Nov. 9th, 2013

Copyright © 2013 Jun Li. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: A low-pass filter is designed under MATLAB environment in this paper by using the window function method. Simulation test and implement are finished under the CCS integrated development environment, and the details of realization process on the DSP chip are also presented. Fdatool toolbox is also used for filter design so that the parameters can be changed at any time according to the design requirements, which will make the filter achieve the optimization.

Keywords: FIR Filter; MATLAB; Fdatool; CCS

FIR 数字滤波器的设计与实现

李俊

湖北经济学院电子工程系, 武汉
Email: lijun@hbue.edu.cn

收稿日期: 2013 年 10 月 20 日; 修回日期: 2013 年 11 月 4 日; 录用日期: 2013 年 11 月 9 日

摘要: 本文在 MATLAB 环境下采用窗函数法设计了一个低通滤波器, 并在 CCS 集成开发环境下进行了仿真, 给出了在 DSP 芯片上进行了实现的过程。Fdatool 工具箱也被用来进行滤波器的设计, 可方便地根据设计要求随时改变参数, 以使滤波器达到最优化。

关键词: FIR 滤波器; MATLAB; Fdatool; CCS

1. 引言

数字滤波器利用离散时间系统的特性对输入序列进行加工处理, 将输入序列经过一定的运算后转变为输出数字序列, 从而达到改变信号频谱的效果^[1]。作为一种典型的数字信号处理系统, 数字滤波器具有稳定性高、精确度高、灵活性大等优点。而其中其中有限脉冲响应(FIR)滤波器, 又因为其稳定性和精确的相位条件, 受到人们的广泛关注, 在图像处理、数字通信、语音识别和模式识别等许多信号处理领域中均占有重要地位^[2,3]。

FIR 数字滤波器的实现主要方法有: 利用单片通

用数字滤波器集成电路; 利用可编程逻辑器件和利用 DSP 芯片来实现^[4,5]。单片通用数字滤波器使用方便, 但计算和缓存能力较差, 只适合于字长和阶数较小的滤波器设计, 不能完全满足实际需要; 可编程逻辑器件计算能力较强大, 连线资源丰富, 能够实现较复杂的信号处理, 然而系统结构复杂, 实现成本高^[6,7]; DSP 器件由于接口资源丰富, 成本适中, 在很多领域得到广泛的应用, 然而传统滤波器的设计与实现的过程较繁琐, 参数调整麻烦, 结果显示不够直观^[8,9]。因此, 本文提出了一套方案, 能够方便快捷地完成滤波器的设计与实现全过程, 在 Matlab 和 CCS 集成开发

环境下开发的系统，同时兼具实时性和灵活性，具备参数可调整，易于设置，开发简便，结果直观等优点。

2. 数字滤波器理论基础

一般数字滤波器从功能上分类，可以分为低通、高通和带通等滤波器。从实现的网络结构或单位脉冲响应分类，可以分成无限脉冲响应(IIR)滤波器和有限脉冲响应(FIR)滤波器。他们的系统函数分别为：

$$H(z) = \frac{\sum_{r=0}^M b_r z^{-r}}{1 + \sum_{n=0}^{N-1} h(n) z^{-n}} \quad (1)$$

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) z^{-n} \quad (2)$$

(1)式中的 $H(z)$ 称为 N 阶 IIR 滤波器函数，(2)式中 $H(z)$ 称为 N-1 阶 FIR 滤波器函数。

FIR 滤波器在实现时，不断地对输入样本 $x(n)$ 延时后，再作乘法累加算法，输出滤波结果 $y(n)$ ，因此，FIR 滤波器实际上是一种乘法累加运算。在数字滤波器中，FIR 滤波器的最主要的特点是没有反馈回路，不存在不稳定的问题；可以随意设置幅度特性的同时，还能保证精确的线性相位。稳定和线性相位特性是 FIR 滤波器的最突出的优点，同时它还有其他特点，

如：设计方式是线性的；硬件容易实现；滤波器过渡过程具有有限区间；相对 IIR 滤波器而言，阶次较高，其延迟也要比同样性能的 IIR 滤波器大得多等等。

3. 基于 MATLAB 的 FIR 数字滤波器的设计

3.1. 设计指标

本文设计的 FIR 低通滤波器，设计指标为：采样频率是 100 kHz，通带截止频率 5 kHz，阻带截止频率 10 kHz，通带最大衰减 0.1 dB，阻带最小衰减 65 dB。

3.2. 使用 FDATool 确定抽头系数

FDATool 是 MATLAB 信号处理工具箱里专用的滤波器设计分析工具，它可以灵活地采用不同方法设计几乎所有的经典滤波器，查看滤波器的各种指标，并得到所设计滤波器的系数。在 MATLAB 的 Start 菜单中选择 Toolboxes→Fiter Design→Fiter Design & Analysis Tools(fdatool)选项，或者在命令行中输入 fdatool 来启动滤波器设计分析器。根据设计指标，选择 Blackman 窗设计方法，填写参数，Fs = 100 kHz，Fc = 5 kHz，Specify order = 80，FDATool 界面如图 1 所示。左上角显示的是滤波器各种特性，其中包括设计滤波器所需最少的阶数是 30，直接型结构及良好的

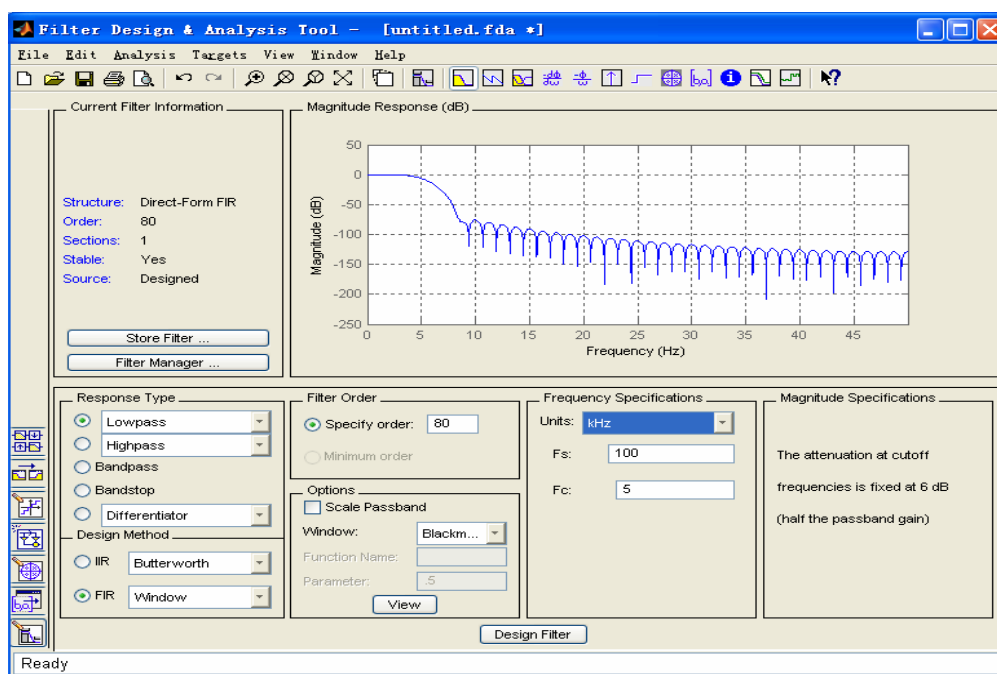


Figure 1. Interface of digital lowpass filter design in FDATool by using Blackmann Windows
图 1. 采用布莱克曼窗设计低通滤波器的 FDATool 界面

幅频响应特性。图 1 为所设计出的滤波器实例。

从 matlab 中导出 FIR 滤波器系数步骤。如图 2 所示，得到设计的滤波器的参数如下：

```
const int BL = 81;
const int16_T B[81] = {0, 0, 0, -1, -3, -4, -6, -8,
-8, -5, 0, 9, 22, 38, 56, 72, 83, 85, 74, 46, 0, -64, -144,
-231, -316, -386, -425, -419, -352, -215, 0, 291, 651,
1064, 1509, 1958, 2381, 2749, 3035, 3215, 3277, 3215,
3035, 2749, 2381, 1958, 1509, 1064, 651, 291, 0, -215,
-352, 419, -425, -386, -316, -231, -144, -64, 0, 46,
74, 85, 83, 72, 56, 38, 22, 9, 0, -5, -8, -8, -6, -4, -3,
-1, 0, 0};
```

4. FIR 数字滤波器的 DSP 实现

4.1. DSP 简介

数字信号处理器(DSP)作为一种可编程专用芯片，是数字信号处理理论实用化过程的重要技术工具，在语音处理、图像处理等技术领域得到了广泛的应用。由 TI 公司提供专业的开发工具 CCS，自带 DSP/BIOS 操作系统，可以直接编写适合 DSP 开发工程及文件，满足 DSP 程序设计要求。由 MathWorks 公司和 TI 公司联合开发的 DSPMATLAB Link for CCS Development Tools(简称 CCSLink)是 MATLAB6.5 版

本(Release13)中增加的一个全新的工具箱，它提供了 MATLAB、CCS 和 DSP 目标板的接口，利用此工具可以像操作 MATLAB 变量一样来操作 DSP 器件的存储器和寄存器，使开发人员在 MATLAB 环境下完成对 DSP 的操作，从而极大地提高 DSP 应用系统的开发进程。

4.2. MATLAB 产生输入信号

将下面代码另存为 M 文件，在 MATLAB 中运行后将会生成 input.out 文件。该数据文件中含有 500 Hz，3000 Hz，8000 Hz 三种频率的信号，用于滤波器效果的测试。信号的时域和频谱分别如图 3 和图 4 所示。

```
f11 = 500;
f12 = 3000;
f13 = 8000;
fs = 10000;
N = 1000;
T = 1/fs;
n = 0:N;
x11 = sin(2*pi*f11*n*T);
x12 = 0.7*sin(2*pi*f12*n*T);
x13 = 0.5*sin(2*pi*f13*n*T);
x_base = (x11 + x12 + x13);
figure(1);
```

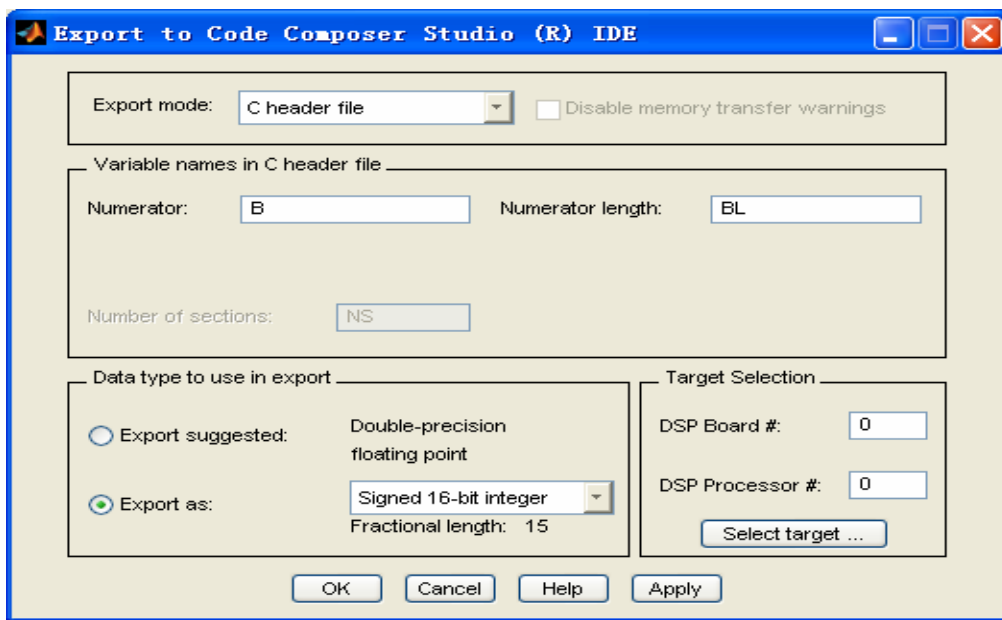


Figure 2. Output data type setting
图 2. 设置输出数据类型

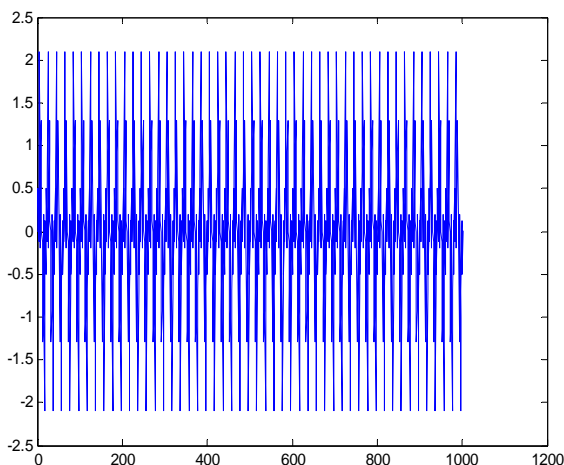


Figure 3. Input signals in the time domain
图 3. 输入信号的时域图

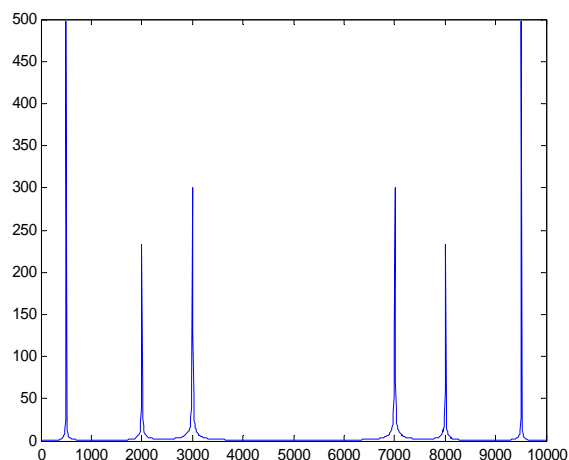


Figure 4. Spectral image of input signals
图 4. 输入信号的频谱图

```

plot(x_base);
figure(2);
yff = abs(fft(x_base));
df = n*(fs/N);
plot(df,yff);
xout = x_base/max(x_base);
xto_ccs = round(32767*xout)
fid = fopen('input.dat','w');
fprintf(fid,'1651 1 0 0 0\n');
fprintf(fid,'%d\n',xto_ccs);
fclose(fid);
    
```

4.3. DSP 实现

在 CCS 上建立 FIRfilter 工程，编写实现 FIR 低

通滤波器的 main.c 程序，如下：

```

#include"stdio.h"
#define N 81
#define LEN 200
long yn;
int input[LEN]; //输入缓冲，在仿真时将从内存载入
int output[LEN]; //输出缓冲，直接存放在内存中
void main()
{
int i,j;
int *x;
const long B[81] = {0, 0, 0, -1, -3, -4, -6, -8, -8,
-5, 0, 9, 22, 38, 56, 72, 83, 85, 74, 46, 0, -64, -144,
-231, -316, -386, -425, -419, -352, -215, 0, 291, 651,
1064, 1509, 1958, 2381, 2749, 3035, 3215, 3277, 3215,
3035, 2749, 2381, 1958, 1509, 1064, 651, 291, 0, -215,
-352, 419, -425, -386, -316, -231, -144, -64, 0, 46,
74, 85, 83, 72, 56, 38, 22, 9, 0, -5, -8, -8, -6, -4, -3, -1,
0, 0};
for(j = 0;j<LEN-1;j++)
{
x = &input[j];
yn = 0;
for(i = 0;i<N-1;i++)
yn+= B[i]*(x[i]);
output[j] = yn>>15;
}
while(1);
}
    
```

最后将链接文件 my.cmd 添加到工程中，对程序进行调试、链接；调试无误后生成 filter.out 程序。在 CCS 软件的 File→Load program 里打开这个 .out 文件。下面将 File→Data→Load 菜单项打开之前 MATLAB 生成的 input.out 文件，如图 4~5 所示，将 Address 设置为 Input，Length 设置为 0x00C8，page 设置为 data，运行程序。

4.4. 结果分析

滤波器的滤波效果可以采用 CCS 图形显示功能

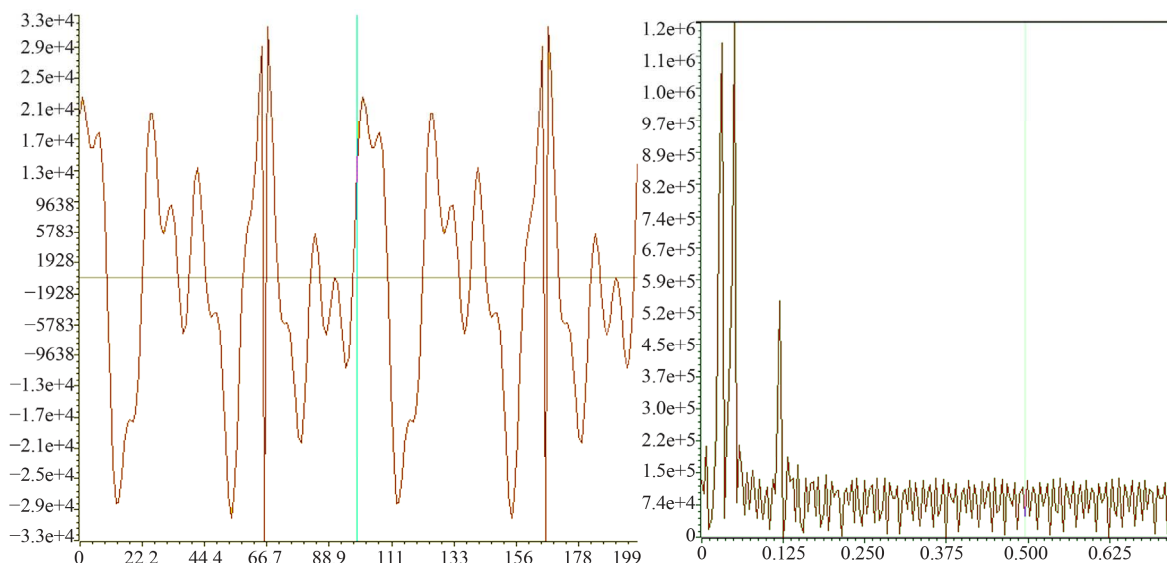


Figure 5. Image of input signals in time domain
图 5. 输入信号的时域和频谱图

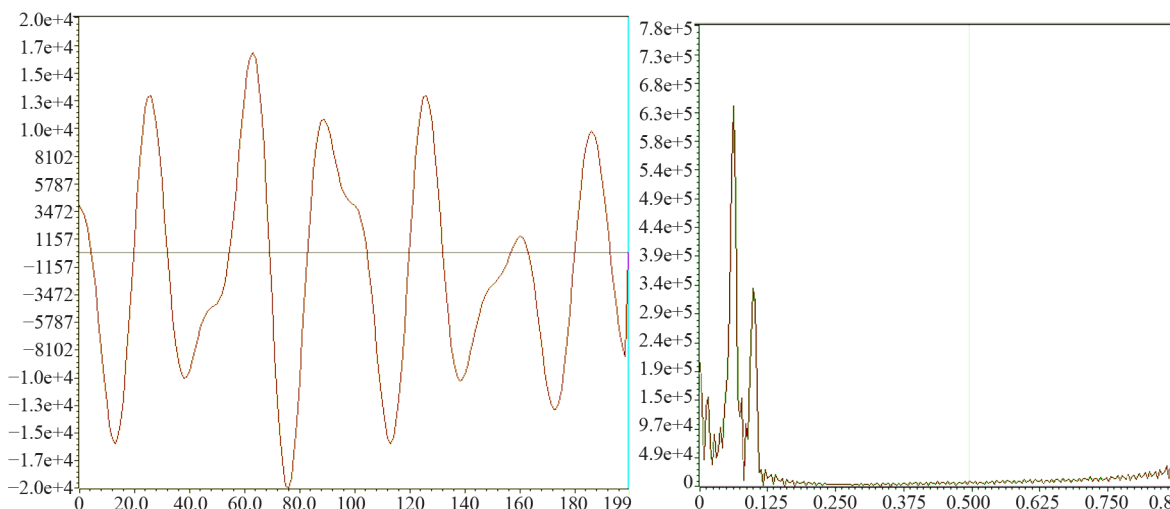


Figure 6. Image of output signals in time domain and spectral field
图 6. 输出信号的时域和频谱图

来进行观察，图 5 是输入信号的时域和频域波形图，图 6 是输出信号的时域和频域波形图。将图 5 和图 6 的波形进行比较可知，图 5 中的输入波形在频域有 3 个峰值，而图 6 中频率为 8000 Hz 的信号已经被滤掉，图 6 的时域波形也更加平滑。这表明滤波效果良好，所设计出的滤波器符合参数要求。滤波结果与输出信号理论吻合，所以仿真结果清晰明了，完全符合参数要求。

5. 总结

本文在 Matlab 和 CCS 集成开发环境下，完成了

对于 FIR 低通滤波器设计、实现、仿真的全过程。利用 FDAtools 工具箱设计了一个 FIR 数字低通滤波器，非常便利地生成了 FIR 滤波器的抽头系数，能够给出了幅频特性曲线和其他相关参数。依据所设计出的滤波器的系数，在 CCSlink 开发环境下，将设计出的数字滤波器进行了仿真并在 DSP 上进行了实现，并完成了对信号进行滤波处理的实例。实例表明该滤波器滤波效果良好，参数合理。本文所采用的方法能完整地解决 FIR 数字滤波器的设计与实现全部过程，设计方法简便可行，结果可靠可信，可方便地根据设计要求随时改变参数，以使滤波器达到最优化，也为数字信

号的滤波处理提供了一种很好的解决方案。

参考文献 (References)

- [1] Williams, A.B. and Taylor, F.J., 著 (2008) 宁彦卿, 姚金科, 译. 电子滤波器设计. 科学出版社, 北京.
- [2] 赵瑞杰 (2012) 二维 FIR 数字滤波器优化设计理论与二维优化设计算法研究. 硕士论文, 山东大学, 济南.
- [3] 王恺, 吕英俊, 亓学广 (2011). 基于 LabVIEW 的语音噪声数字滤波器的设计. *工矿自动化*, **8**, 26-28
- [4] 王兵锋 (2009) FIR 数字滤波器设计与仿真研究. 硕士论文, 哈尔滨理工大学, 哈尔滨.
- [5] 王春兴, 张彬 (2011) 基于 Matlab 的 FIR 数字滤波器设计. *现代电子技术*, **18**, 83-85,88.
- [6] 刘福泉 (2012) 基于 FPGA 的 FIR 数字滤波器实现. 硕士论文, 北京邮电大学, 北京.
- [7] 孙耀奇, 高火涛, 熊超, 饶坤 (2008) 基于 Matlab 和 FPGA 的 FIR 数字滤波器设计及实现. *现代电子技术*, **11**, 89-92.
- [8] 赵秀玲 (2007) 基于定点 DSP 的 FIR 数字滤波器的研究与设计. 硕士论文, 曲阜师范大学, 曲阜.
- [9] 赵顺珍, 马英 (2009) 基于 DSP 的 FIR 数字滤波器设计与实现. *微计算机信息*, **5**, 162-163.