维普资讯 http://www.cqvip.com

基于TMS320F2812的FIR数字滤波器设计

许春梅，孙江峰

（河南理工大学计算机科学与技术学院，河南 焦作 454000）

【摘　要】数字滤波器是现代数字信号处理的重要基础,文章阐述了数字滤波器的基本原理和利用TI公司提供的CCS软件（Code Composer Studio 2.21）进行数字滤波器设计的方法,并给出在CCS软件中实现的滤波器设计效果波形和实验波形。

【关键词】数字滤波器；TMS320F2812；DSP；CCS

【中图分类号】TP311.5　　【文献标识码】B　　【文章编号】1008-1151(2007)08-0087-03

（一）引言

目前数字信号处理DSP应用系统的开发中,绝大部分都采用CCS环境,CCS是TI公司推出的功能强大的软件开发环境，现在该集成软件环境可以用于TI各系列DSP系统的软件程序开发。然而C语言编程本身固有的灵活性及其较强的可移植性极大的促进了DSP的开发速度，C语言是一种用于数值计算的高性能语言,集数值分析、矩阵运算、图形显示于一体。利用C语言的高效性及其灵活性的运算功能,辅助设计DSP应用程序,将大大缩减程序的开发时间。由于CCS集成可视化代码编辑界面，可以直接编写C/C++、汇编、头文件以及CMD文件，集成了代码生成工具，包括汇编器、C编译器、C++编译器和链接器。本文研究了在TMS320F2812DSP实验系统中利用CCS的可编写、编译、链接C语言功能,以FIR滤波器为例，设计了基于TMS320F2812DSP实验系统的数字滤波器。

（二）数字滤波器原理

数字滤波器（Digital Filter,简称DF）是数字信号处理的重要基础之一，数字滤波器是指完成信号滤波处理功能的、用有限精度算法实现的离散时间线形非时变系统，其输入是一组数字量，其输出是经过变换的另一组数字量。因此，它本身既可以是数字硬件装配成的一台完成给定运算的专用数字计算机，也可将所需的运算编成程序，让通用计算机来执行。数字滤波器具有稳定性高、精度高、灵活性大等突出优点。随着数字技术的发展，用数字技术实现滤波器的功能越来越受到人们的注意和广泛的应用。

一个时域离散系统的频率特性可以表示为：

$$Y\left(e^{jw}\right)=X\left(e^{jw}\right)H\left(e^{jw}\right) \tag{1}$$

其中$Y(e^{j\omega})$、$X(e^{j\omega})$分别是数字滤波器的输出序列和输入序列频域特性。

可以看出，处理信号的目的，就是选择适当的$H(e^{j\omega})$，使得滤波后的$X(e^{j\omega})H(e^{j\omega})$满足设计的要求。

数字滤波器按照单位取样响应$h(n)$的时域特性可分为无限脉冲响应(Infinite Impulse Response ,IIR)系统和有限脉冲响应(Finite Impulse Response,FIR)系统。如果单位取样响应是时宽无限的：$n_v \le n < \infty$，称之为IIR系统;如果单位取样响应是时宽有限的：$n_v \le n < h(n)n_u$，称之为FIR系统。

IIR滤波器能够以较低的阶数达到预期的效果,但它为递归结构,对定点处理器的有限字长更加敏感,会产生更多的舍入误差,易出现振荡。但对于一个给定的响应,与FIR相比较,对存储空间的要求少得多,而且执行的循环次数也少很多。所以常用于对非线性相位影响有非常强的忍耐力的语音信号中。

FIR滤波器是非递归结构,它能提供理想的线性相位响应,从而在整个频带上获得常数群时延,这正是零失真信号处理所需要的,而且,与IIR相比较,它可以采用十分简单的算法来实现。

（三）TMS320F2812的基本特点

TMS320F2812是美国德州仪器公司TI最新研制的一代32位定点数字信号处理器(DSP)芯片，是一种实时、快速、特别适合于实现各种数字信号处理运算的微处理器。主要面向逆变器控制、电机控制等自动控制领域，可以很方便地实现诸如AD采样、PWM输出、非屏蔽中断、脉冲测量等功能。而且,由于拥有工作频率达150MHz的32位DSP内核处理器,可以高效可靠地实现诸如自适应控制、卡尔曼滤波和状态控制等先进

【收稿日期】2007-07-04

【作者简介】许春梅（1979-），女，河南商丘人，河南理工大学计算机系通信教研室；孙江峰（1980-），男，河南偃师人，河南理工大学计算机系通信教研室助教，主要研究通信理论及VHDL。

维普资讯 http://www.cqvip.com

控制技术。因此，TMS320F28X系列DSP越来越成为自动控制领域的首选控制芯片。

TMS320F2812采用哈佛总线结构，利用多总线在存储器、外围模块和CPU之间转移数据。程序读总线有22根地址线和32根数据线，数据读写线都是32位，这种多总线结构使得它可以在一个周期内并行完成取指令、读数据和写数据，同时它采用了指令流水线技术，使得信号的处理速度明显提高。DSP中的专用硬件乘法器和特殊指令DMAC的采用，使得在一个处理器时钟周期里可以得到两个数据（操作数）相乘的结果。此外，TMS320F2812片内拥有高达128K×16 位的FLASH程序存储器，可以满足大多数情况下程序存储的需要。

通常，设计一个数字滤波器是繁琐的，但我们利用TI公司提供的CCS开发平台，结合C语言可以快速方便地进行任意数字滤波器的设计，提高产品开发速度。

（四）数字滤波器的设计

数字滤波器根据其冲激响应函数的时域特性，可分为两种，即无限长冲激响应（IIR）滤波器和有限长冲激响应（FIR）滤波器。数字滤波器的设计方法有多种，如双线性变换法、窗函数设计法、插值逼近法和契比雪夫逼近法等。

一般来说，FIR数字滤波器输出 $y(n)$ 的 Z 变换形式 $Y(z)$ 与输入 $x(n)$ 的 Z 变换形式之间的关系如下：

$$Y(z)=H(z)X(z)$$

$$=\left(h(0)+h(1)z^{-1}+\cdots+h(n)z^{-n}\right)X(z) \qquad (2)$$

实现结构如图1所示：

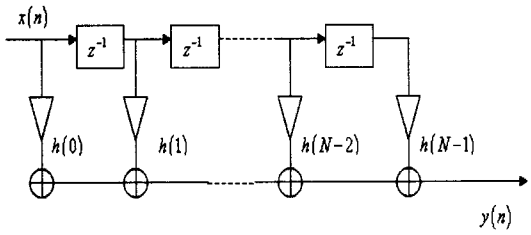

图 1 卷积型 FIR 滤波器

从上面的Z变换和结构图可以很容易得出FIR滤波器的差分方程表示形式。对式(2)进行反Z变换，可得：

$$y(n)=h(1)x(n)+h(2)x(n-1)+\cdots+h(n)x(1) \qquad (3)$$

式(3)为FIR数字滤波器的时域表示方法，其中 $x(n)$ 是在时间 n 的滤波器的输入抽样值。根据式(3)即可对滤波器进行设计。

1. 数字滤波器设计的基本步骤

（1）确定指标

在设计一个滤波器之前，必须首先根据工程实际的需要确定滤波器的技术指标。在很多实际应用中，指标的形式一般在频域中给出幅度和相位响应。幅度指标主要以两种方式给出，相对于对幅度响应函数的要求，分贝值这种指标最受欢迎。对于相位响应指标形式，通常希望系统在通频带中只有线性相位。本文中滤波器的设计就以线性相位FIR滤波的设计为例以窗函数进行设计。

（2）逼近

技术指标确定后，就可以建立一个目标的数字滤波器模型。通常，首先采用理想的数字滤波器模型，然后利用数字滤波器的设计方法，设计出一个实际滤波器模型来逼近给定的目标。

（3）性能分析和计算机仿真

上两步的结果是得到以差分或系统函数或冲激响应描述的滤波器。根据这个描述就可以分析其频率特性和相位特性，以验证设计结果是否满足指标要求；或者利用计算机仿真实现设计的滤波器，再分析滤波结果来判断设计的效果。

2. FIR 数字滤波器的实现方法

线性相位FIR滤波器通常采用窗函数法设计。窗函数法设计FIR滤波器的基本思想是：根据给定的滤波器技术指标，选择滤波器长度N和窗函数ω(n)，使其具有最窄宽度的主瓣和最小的旁瓣。其核心是从给定的频率特性，通过加窗确定有限长单位脉冲响应序列h(n)。

现在常用的FIR数字滤波器的实现方法有以下三种：

（1）利用单片通用数字滤波器集成电路。

（2）采用FPGA/CPLD设计实现。

（3）用通用的可编程DSP芯片实现。

单片通用数字滤波器使用方便，但由于字长和阶数的规格较少，不能完全满足实际需要；长期以来，FPGA一直被用于系统逻辑或时序控制上，很少有信号处理方面的应用，其原因主要是因为在FPGA中缺乏实现乘法运算的有效结构；第三种方法可以通过编程来实现各种数字滤波，而且因有专用的指令来实现滤波运算编程更加容易。

3. FIR 数字滤波器的 DSP 实现

由DSP所构成的基本数字信号处理系统如图2所示。具有一定幅值的模拟信号经初步频率滤除、离散化后送至DSP，处理器按一定算法进行处理，再转化为模拟信号输出。此时的信号具有许多高频成分，重建滤波器可对信号进行平滑。

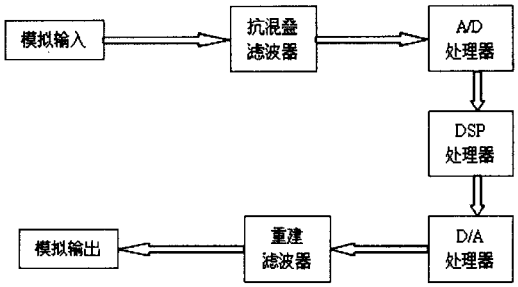

图 2 数字信号处理系统

维普资讯 http://www.cqvip.com

这里为了方便，我们来模拟数字滤波器的DSP实现，即软件产生一个原始波形和构建滤波算法。根据4.1节构造低通滤波器的思路，我们通过C语言编程可求得加窗后的有限长单位脉冲响应序列h(n)，这样可以直接根据它构建FIR滤波算法，在此基础上得到平滑后的输出波形。程序流程图如图3。

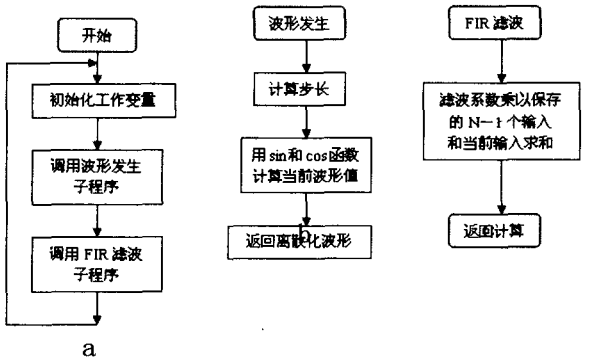

图3a 主程序　图3b 波形发生子程序　图3cFIR滤波子程序

图3 软件流程

三个流程图分别对应主程序、波形发生子程序和FIR滤波子程序。主程序中对输入和输出波形循环离散化，以便软件作图分析；原始波形由两个频率的正弦分量组成；滤波算法是关键，将原始离散数据与脉冲响应序列作卷积。

软件的调试在TI的DSP开发平台CCS 2.2中完成。CCS 2.2集成了很多功能，调试方便，利用Graph功能就能以图形的方式显示指定数据块的数据值，同时也可以很直观地观察到存储数据的波形。在CCS软件开发平台上进行仿真调试运行，得到了输入和输出的波形及其频谱，如图4所示。

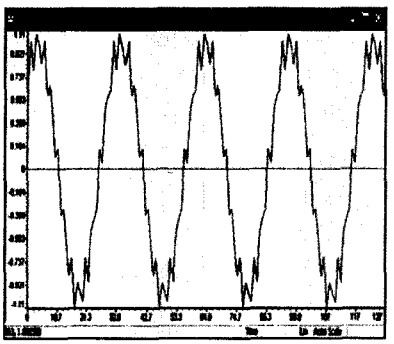

图4a 输入信时域波形

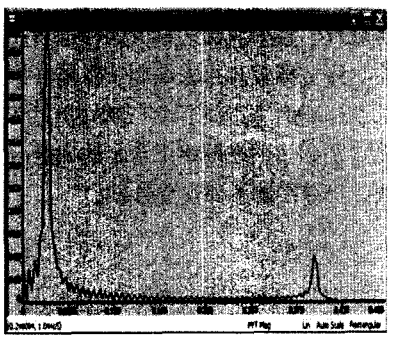

图4b 输入信号频域波形

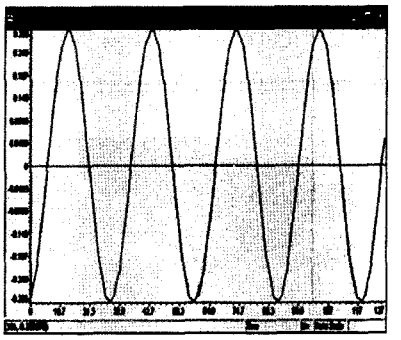

图4c 输出信号时域波形

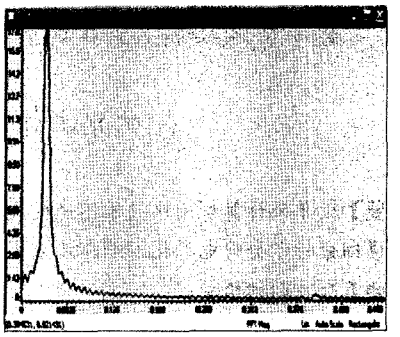

图4d 输出信号频域波形

图4 输入输出信号波形及频谱比较

由频谱图可以看出，输入波形中的低频部分通过了滤波器，而频率在0.333到0.496之间的高频信号则大部分被滤除。反映在时域图上，原始波形上的不规则毛刺得到了很好的平滑。

（五）结束语

随着信息技术的深入和计算机技术的飞速发展，数字信号处理技术已经发展成为一门关键的技术学科。而数字滤波作为数字信号处理的一个基本的学科分支，也得到了越来越广泛地应用。运用C语言，能很容易地设计出具有严格要求（如线性相位等）的滤波器。在实际应用中，对程序稍加修改下载到DSP芯片中做成硬件数字滤波器，运用数字信号处理芯片强大的运算功能，配合外围电路，可方便的对外界输入的模拟信号进行实时滤波处理。如果DSP采用更高的时钟，它的处理速度将更快，将能够满足更高采样率的数字信号的实时滤波处理要求。

【参考文献】

[1] 程佩青.数字信号处理教程[M].清华大学出版社，2002.9.

[2] 徐科军，等.TMS320x2812xDS原理与应用[M].北京航空航天大学出版社，2006.8.

[3] 王世一.数字信号处理[M].北京理工大学出版社，1997.

[4] 杨永国.Visual C++ 6.0 实用教程[M].清华大学出版社，2004.1.