

高速数字存储示波器的数字滤波器设计与实现

邓 颖, 陈光福

(电子科技大学 自动化工程学院, 四川 成都 610054)

摘要: 介绍一种基于 1GSPS 高速数字存储示波器的数字滤波器的设计与实现方法。应用 MATLAB 信号处理工具箱, 通过对数字滤波器算法的描述、分析、实验仿真及性能比较, 最终获得满足要求的数字滤波程序。文中给出了应用 MATLAB 编译器自动编译成 C++ 源代码文件的方案。

关键词: 数字存储示波器; 数字滤波器; MATLAB; C++

中图分类号: TM935.3, TP274

文献标识码: A

文章编号: 1006-2394(2004)06-0026-03

Design and Realization of Digital Filters Based on High-speed DSO

DENG Ying, CHEN Guang-ju

(UESTC, Chengdu 610054, China)

Abstract: This paper introduces algorithms and realizations on digital signal process technology in high-speed DSO. This paper achieves expected digital filters program through algorithms descriptions, analyzing, simulation, comparing performance.

Key words: DSO(digital storage oscilloscope); digital filter; Matlab; C++

数字存储示波器(DSO)中,数字滤波器位于模数转换器与信号处理模块之间,消除前端系统本身的噪声,从而提高带宽内信号的信噪比。与模拟滤波器相比,数字滤波器能进行更灵活更复杂的信号处理。

1 数字滤波器的设计要求

设计数字滤波器程序,是为了滤除被测信号和系统本身可能带有的较高频率的噪声,提取出有用的信号。本系统的设计要求为:

(a)最高采样频率为 1GSPS;(b)线性相位低通滤波;(c)三种截止频率(250MHz、100MHz、50MHz),使其相应的数字量的有效位数分别为 6bits, 7bits, 8bits;(d)滤波器的阻带衰减不小于 40dB;(e)滤波器的通带波纹低于 -3dB。

2 数字滤波器的设计

对于数字滤波器,从设计方法上分类,有 IIR 滤波器(无限冲激响应数字滤波器)和 FIR 滤波器(有限冲激响应数字滤波器)之分。在本专题的高速实时示波器中,对数字滤波器的要求可归纳为具有低通频响特性和线性相移特性的稳定系统。基于 FIR 和 IIR 滤波器的性能比较,选择 FIR 滤波器才能满足系统要求。

2.1 FIR 数字滤波器的算法描述

FIR 数字滤波器又称为卷积滤波器,因为它在时间域上的输入 $x(n)$ 和输出信号 $y(n)$ 的数学关系是卷积运算:

$$y(n) = h_d(n) * x(n)$$

其中 $h_d(n)$ 是 FIR 滤波器的单位冲激响应函数,其表达式是由理想滤波器频响的幅度函数 $H_d(\omega)$ 进行傅里叶逆变换得到的,式中 ω_c 为滤波器的截止频率:

$$\begin{aligned} h_d(n) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H_d(\omega) e^{jn\omega} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_c}^{\omega_c} e^{jn\omega} d\omega \\ &= \frac{\omega_c}{\pi} \text{sinc}\left(\frac{\omega_c}{\pi} n\right) \end{aligned}$$

2.2 FIR 滤波器的窗函数设计法

窗函数法的基本思想是,由于滤波器的时间响应函数 $h_d(n)$ 是无限长的,不能用 FIR 滤波器实现,所以,要截取 $h_d(n)$ 幅度较大的部分,舍弃 $h_d(n)$ 幅度较小部分来近似表示 $h_d(n)$ 。截取的方法是选用某一种窗函数和截取 $h_d(n)$ 的一段进行卷积以得到实际滤波器的相应 $h(n)$ 。窗函数不同,窗口宽度不同,实际频响会有较大区别。如,加海明窗的频响曲线的通带和阻带特性比矩形窗好;窗口宽度 N 的阶数高,也能提高滤波器频响性能,但实时信号处理的时间会相应增加。因此,应根据滤波参数要求确定选用窗函数的类型和阶数。

2.3 FIR 滤波器与 A/D 转换有效位数的关系

评价模/数转换器的有效位数不仅与模/数转换器本身的位数(理想的模/数转换器的位数)有关,而且与输入信号的信噪比有关。高速数字存储示波器中的模/数转换器采用了 8bits 的字长;但由于量化噪声和系统噪声的存在,使它的有效位数达不到 8bits,需要通过数字滤波器滤除较高频率的噪声,才能提高模数转换的实际有效位数。这三者间的关系见表 1。

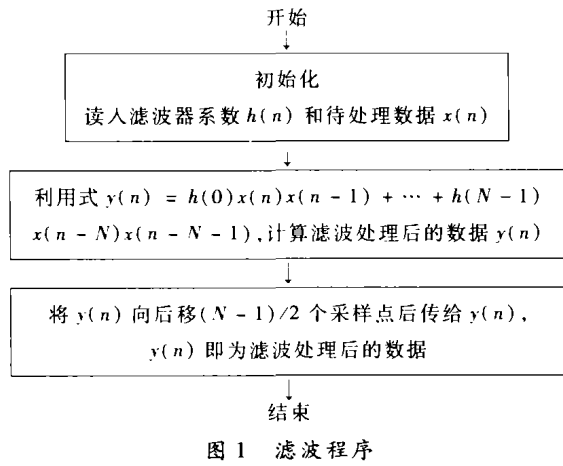
收稿日期: 2004-07

作者简介: 邓颖(1972—),女,博士研究生,教师,从事测量技术及仪器专业的教学和科研工作;陈光福,教授,博导。

表1 滤波器状态与模数转换的实际有效位数的关系

8bit的模/数转换器的有效位数(bits)	低通数字滤波器的截止频率(MHz)	数字滤波器的状态
实际	系统带宽	Off
6	250	On
7	100	On
8	50	On

2.4 FIR 滤波器的程序流程图和滤波程序片段



下面分析一段滤波程序,来说明滤波实现的过程:

```

% model of filter
n = 30; % 滤波器的阶数设置为 31 阶
Wn = 0.5; % 滤波器的数字化截止频率为 0.5, 对应为 250MHz
b = fir1(n, Wn, 'hamming'); % 设置 31 阶低通海明窗滤波器

% creat input of filter
f = 4000000;
fs = 250 * f; % 设 fs 为 1G
k = [0:1/fs:2/f]; % 设置 501 个输入点
x = 2 * sin(2 * pi * f * k) + 0.1 * randn(1, 501); % 设置输入信号

% calculate response according to convolution
imp = [1; zeros(30, 1)]; % 设置一脉冲波
h = filter(b, 1, imp); % 求出滤波器的脉冲响应
y = conv(h, x); % 求出输入信号与滤波器系数的卷积
yc = y(15:515); % 延迟 15 个点用来描述响应输出序列
.....
  
```

3 数字滤波器的特性仿真分析

仿真中采用频率为 4MHz、振幅为 2 的正弦波,叠加振幅为 0.1 的白噪声作为原始信号,分别通过 6、7、8bits 数字滤波器滤波效果如图 2;仿真该数字滤波器的幅值响应和相位响应图如图 3,图 4。可以看出,该滤波器满足本专题示波器的要求,即阻带衰减不小于 40dB;滤波器的通带波纹低于 -3dB,且具有线性相位特性(线性相位是指滤波器相频特性是一条经过原点的直线)。

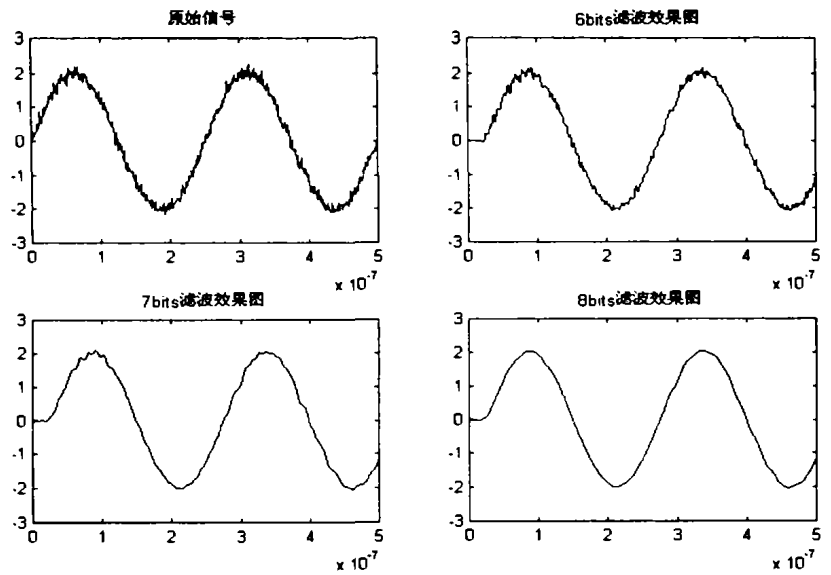


图2 滤波器的时频仿真效果

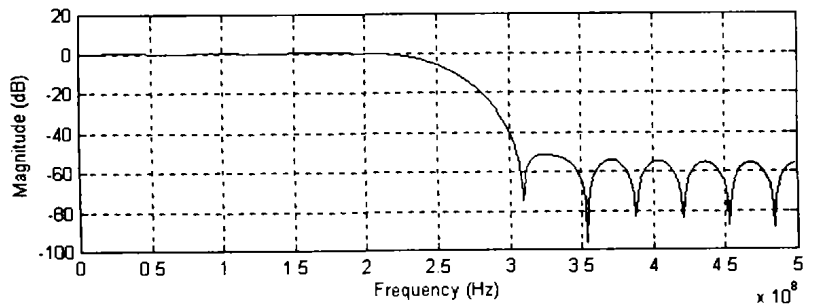


图3 当采样频率为 1GSps,截止频率为 250MHz 时滤波器的幅频图

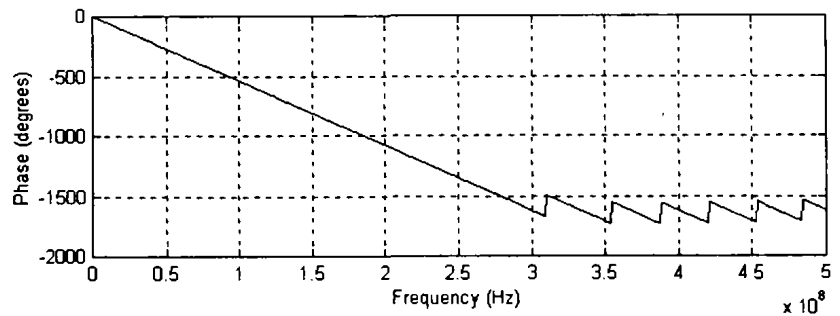


图4 当采样频率为 1GSps,截止频率为 250MHz 时滤波器的相频图

4 MATLAB 与 C++ 的接口设计及实现

如前所述,在高速数存示波器上采用的是 C++ 语言编写的主程序,其实时性强,而利用 MATLAB 开发出的数字滤波程序只有脱离 MATLAB 平台,与主程序实现完全兼容,才能满足系统的需求。因此,将 MATLAB 的源文件经编译器编译后,自动生成 C++ 源程序(C++ Build Source File)\C++ 头文件(C++ Header File),以及应用程序(EXE 文件),如图 5 所示。然后,再定义一个头文件 DSOMATH.H 和对应的源文件 DSOMATH.C。头文件 DSOMATH.H 包括源文件 DSOMATH.C 的所有函数。它仅供主程序的调用,而不影响主程序,从而便于主程序联调时的修改和调试。

名称	大小	类型
myfilter	3KB	C++Builder Sour
myfilter	764KB	应用程序
myfilter	1KB	C/C++ Header File
myfilter	1KB	Matlab files
myfilter_main	2KB	C++Builder Sour
myinterp	1KB	C Source File
myinterp	3KB	C++Builder Sour
myinterp	144KB	应用程序
myinterp	1KB	C/C++ Header File
myinterp	1KB	Matlab files
myinterp_main	1KB	C++Builder Sour
mytest1	4KB	C++Builder Sour
mytest1	776KB	应用程序

图5 生成滤波器的C源程序及应用程序等

头文件 DSOMATH.H 的具体内容为:

```
void Real18_Proc(unsigned char *);
.....
```

```
void nolineinsertpReal500ps(int, unsigned char *);
```

源文件 DSOMATH.C 包括的有关数字滤波器的函数有:

```
void Real6_Proc(unsigned char *);
.....
```

通过数字滤波器程序与系统进行联调,证明了该方案的可行。

5 结束语

本系统软件设计采用 MATLAB 信号处理专用工具箱进行程序设计和模型仿真,最后利用 MATLAB 自动编译器编译成 C++ 源代码的滤波器程序,完成了与主程序的接口调试,使系统具有更高的可靠性和高实时性。本系统可作进一步改进,针对不同类型的应用,可加入 FFT 频谱分析或波形运算等单元,实现更多的功能。

参考文献:

- [1] Measurement Products Catalog 1988/1999[Z]. Agilent Technologies, 1999.
- [2] Test and Measurement Catalog 2000[Z]. Tektronix Company, 2000.
- [3] 周耀华,汪凯仁. 数字信号处理[M]. 复旦大学出版社, 1996.
- [4] 张志涌,等. 精通 MATLAB5.3 版[M]. 北京航空航天大学出版社, 2000.
- [5] 刘志俭,等. MATLAB 应用程序接口用户指南[M]. 科学出版社, 2000.

(郁红编发)

自动抄表系统中定时自动读数功能的实现

赵芳,胡晓岚,赵逸峰

(上海大学 自动化系,上海 200072)

摘要: 介绍如何在自动抄表系统中实现定时自动读数功能,如何实现多用户读数、协调串口等。文中使用 VB 中的 MSComm 控件控制串口,给出了实现该功能的程序流程图,并结合程序给出了相关程序代码。

关键词: 自动抄表系统;定时;串口;VB;Mscomm

中图分类号: TM933.4

文献标识码: B

文章编号: 1006-2394(2004)06-0028-03

Perform the Function of the Timing Reading of the Automatic Meter Reading System

ZHAO Fang, HU Xiao-lan, ZHAO Yi-feng

(Dept. of Automatic, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: How to perform the function of the timing reading of the automatic meter reading system is introduced in this paper. The active control called MSComm of VB is introduced. The flow chat to complete the task is proposed with some correlative program codes.

Key words: reading the meters automatically; timing; serial port; VB; MSComm

在本项目研制的三表自动抄表系统中,上位机采用 Visual Basic 编程工具,通过 VB 中的 MSComm 控件实现串口数据的发送和接收,通过 RS232 总线实现和下位通讯控制器的通讯;通讯控制器和具有水、煤气、电三通道的抄表装置连接。

程序编制中的难点在于:1. 计算机与下位通讯控

制器的通信只能通过一个串口进行,存在串口的协调问题(必须避免串口冲突);2. 计算机读数只能一户一户地读,而定时自动抄的是所有用户的读数,也就是程序要实现多用户自动抄表;3. 如果有一户用户的数据抄表不成功,不能影响下一户的抄表。总之,考虑的因素很多。

收稿日期: 2004-06

作者简介: 赵芳(1979—),女,硕士研究生,研究测试技术和仪器技术;胡晓岚,女,副教授。