

工频参数测量装置中数字滤波器的 Delphi 和 Matlab 实现

赵霞

(重庆大学电气工程学院电力系,重庆,400044)

摘要: 说明分别用 Delphi 和 Matlab 设计实现电力线路工频参数测量装置中所要求的 50Hz \pm 5Hz 带通数字滤波器的方法,提供一种 Delphi 和 Matlab 共享数据的方法。

关键词: 数字滤波器; Delphi; Matlab

中图分类号: TN713+.7

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2002)02-0042-04

1 引言

数字滤波技术是数字信号处理中应用广泛的一种线性系统环节。相对于传统的模拟滤波器,数字滤波器有滤波精度高、稳定性高和灵活性高的优点。数字滤波器按单位脉冲响应的不同可分为无限长单位脉冲响应(IIR)滤波器和有限长单位脉冲响应(FIR)滤波器。其中,FIR滤波器可以在幅度特性随意设定的情况下,保证精确严格的线性相位特性,且不存在不稳定问题。

数字滤波技术在电力系统中应用广泛,如微机保护中故障信号的处理,在线监测中的抗干扰措施都可能采用数字滤波器。笔者曾参与研制与开发基于PC的电力线路工频参数测量装置。该装置多在变电站中使用,电磁环境复杂,且试验电源中也可能含有谐波分量,为了测得准确的线路工频参数,滤波是必要的抗干扰措施之一。考虑到数字滤波器的上述优越性,采用数字滤波器。

参数测量工作的实时性要求不高,因此没有必要采用专用的DSP芯片实现数字滤波。同时,系统对外设的控制没有特殊要求,考虑到人机界面问题、对参数测量资料数据库的管理问题、软件的升级与维护问题,测量装置基于PC实现,而未采用常见智能仪表的单片机模式。装置的硬件结构如图1示:

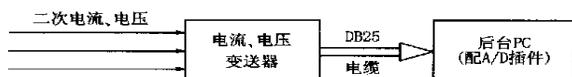


图1 装置硬件框图

二次电流、电压经变送器电平转换、隔离、屏蔽和模拟低通滤波后进入后台PC,软件实现数字滤波算法。考虑到FIR滤波器能保证严格的线性相位,适合计算机实现,本装置中用窗函数法实现50Hz \pm

5Hz带通FIR滤波器。为减小滤波器的截断效应,选择海明窗函数。

N阶FIR滤波器用下述差分方程描述,设计滤波器的任务即是找出一组合适的系数 b_i 使滤波器性能满足设计要求。

$$y(n) = \sum_{i=0}^N b_i x(n-i) \quad (1)$$

窗函数法设计FIR滤波器的步骤为:

- 根据技术要求(即滤波器的理想频响确定待求滤波器的理想单位取样响应。
- 选择窗函数,并估计窗口长度。
- 计算滤波器的单位取样响应,即系数 b_i 。
- 验算技术指标是否符合要求。必要时重复步骤b-d。

2 数字滤波器的 Delphi 实现

Delphi是Inprise(原Borland)公司推出的一种基于Object Pascal语言的面向对象的软件开发工具,采用控件的形式,可以快速、直观地进行Windows应用程序开发。

参数测量装置要求人机界面友好、支持测量结果的入库、查询和报表打印。选择Delphi作为软件开发工具是合适的。对于A/D的底层驱动编程,可以用Delphi的嵌入式汇编实现,这不是本文的重点。下文将说明用Delphi编程实现数字滤波器。

根据FIR的实现方法,设计TFirFilter类,在Delphi中的定义如下。

```
type
  TComplex = record
    Re : double ;
    Im : double ;
    Amp : double ;
    Phase : double ;
```

```

end ;
TFirfilter = class
private
    WinSize :integer ; //窗口长度
    CloseFreq :double ;//通带中心频率
    HighFreq :double ;// 通带上边带
    LowFreq :double ;// 通带下边带
    SamCycle :double ;//采样周期
    SamPoint :integer ;//工频周期采样点数
    Pi :double ;
    HammingArray :array of double ;//海明窗序列
    IdPulseRespArray :array of double ;//理想脉冲响应
    PulseRespArray :array of double ;//脉冲响应 ,即滤波器系数
    DFTArray :array of Tcomplex ;//滤波器频响
    procedure SetHammingArray ;
    procedure SetIdPulseRespArray ;
    procedure SetPulseRespArray ;
    procedure SetDFTArray (ADFTSize :integer) ;
public
    constructor Create (AWinSize : integer ; ACloseFreq ,
    AHighFreq , ALowFreq :double ; ASamPoint : integer) ;
    Procedure GetPulseRespArray (var APulseRespArray :
    array of double) ;
    Procedure GetDFTArray (var ADFTArray : array of
    Tcomplex ;ADFTSize :integer) ;
end ;

```

其中, TComplex 是为了方便处理复数而自定义的复数记录类型。

TFirfilter 的私有变量封装了窗函数长度,理想带通滤波器的截止上、下频率,采样周期等变量以及实现 FIR 滤波器过程中产生的海明窗函数序列、理想滤波器单位脉冲响应序列、经窗函数截断处理后得到的滤波器单位脉冲序列,即(1)式中滤波器的系数序列。私有方法中实现上述各序列的产生过程。窗函数法是经典的 FIR 滤波器的设计方法,编程实现也很容易。因篇幅限制,这里不列出过程的具体代码。TFirfilter 类的公有部分提供外部接口,构造过程 Create 根据生成对象实例时提供的滤波器的相应参数初始化类变量, GetPulseRespArray 过程封装了滤波器系数的产生过程,并通过局部数组变量返回滤波器的设计结果,即系数序列 $\{b_i\}, i = 0, 1, \dots, n$ 。GetDFTArray 过程在需要时,用离散傅立叶变换(长度由 ADFTSize 决定)对滤波器进行谱分析,返回

相应的频域复序列,由此可检验滤波器的频域指标是否符合技术要求。

在参数测量装置中,拟实现 50Hz ± 5 Hz 的工频带通滤波器,采样频率为每工频周波 12 个点,经反复试验,滤波器的长度可考虑选取 31 阶。因此,在 Delphi 中可实现为:

```

var
    MyFilter : TFirFilter ;
    ...
    MyFilter := TFirFilter. Create (32 ,50 ,55 ,45 ,12) ;//
    窗长应为 32
    ...

```

由于采用面向对象的设计方法,TFirFilter 类很容易扩展功能,如要使其适用于低通、带通、带阻、高通滤波器,或适用于不同的窗函数,只需增加相应的滤波器参数变量,如 FilterType, WinType,并重载相应的实现过程。笔者曾将上述 TFirFilter 的代码扩展重用以实现 ± 150 Hz 的低通滤波器,用于变电站蓄电池巡检装置的数字滤波处理,效果良好,工作量很小。

3 数字滤波器的 Matlab 实现

Matlab 是 MathWorks 公司于 1982 年推出的一套高性能的计算和可视化软件,集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体。其中的 Signal Processing 工具箱具有强大的信号处理能力。因此,用 Matlab 来实现上述数字滤波器的想法是很自然的。

上述带通滤波器在 Matlab 中的一种实现如下:

```

function b = myfilter(sampoint ,fl ,fh ,fsize)
%工频周波采样点数 sampoint ;通带截止频率 fl ,fh ;
%滤波器阶数 fsize
fs = 50 * sampoint ;
ns = fs *0.5 ; % Nyquist 频率
fl = fl/ns ;
fh = fh/ns ;
b = fir1 (fsize ,[fl fh] ) ;

```

利用 Matlab 提供的基于窗函数的滤波器生成函数 fir1(缺省窗函数为 Hamming 窗,滤波器的频域参数相对于 Nyquist 频率,即 1/2 采样频率给出)可以很方便地设计实现上述滤波器。相同指标的上述数字滤波器在 Matlab 中可通过下列函数调用实现:b = myfilter(12 ,45 ,55 ,31)。

如何在参数测量装置中利用 Matlab 的设计结果,一种简单的方法是在 Matlab 中先离线生成所需

系数向量 b , 保存在某个数据文件中, 然后在软件中读取该数据文件。因为参数测量的实时性要求不高, 对于定指标的数字滤波器, 上述方法是可行的。

因此, 在 Matlab 的 `myfilter` 函数中续写数据保存的代码:

```
...
%以写方式创建二进制数据文件
fid=fopen('c:\filterdata.bin','w');
%将滤波器的系数向量以双精度格式写入文件
fwrite(fid,b,'double');
fclose(fid);
在 Delphi 中读取上述文件:
Procedure DataFetch(var Barray: array of double; var ArraySize: integer);
var
    UtypeFile: file;
    i: integer;
begin
    if OpenDialog1.Execute then
        begin
            AssignFile(UtypeFile, OpenDialog1.FileName);
            //取记录长度为 double 类型的字节长
            Reset(UtypeFile, 8);
            try
                ArraySize := filesize(UtypeFile);
                BlockRead(UtypeFile, Barray, ArraySize);
            finally
                CloseFile(UtypeFile);
            end;
        end;
end;
```

上述读数据过程利用 Delphi 的无类型文件读过程 `BlockRead` 来完成数据块的读操作。需注意记录的长度应与数据类型相匹配。因此, 在 Matlab 中保存数据时, 应避免使用与 Delphi 不兼容的数据类型, 否则不能正确读数。

4 两种方法的比较

从以下几个方面对前述两种数字滤波器的实现方法进行比较和评述:

a) 在 Matlab 中实现数字滤波器, 利用信号处理工具箱中的函数, 只需理解函数的接口, 包括 Matlab 中一些特殊的处理, 如对 `Nyquist` 频率的使用, 但不需了解滤波器的具体实现过程。在 Delphi 中实现时, 需自定义滤波器的设计过程, 要求有一定的关于

数字信号处理的基础。

b) 用 Delphi 实现时, 可动态改变滤波器的参数, 实现灵活的人机交互。而前述 Matlab 方法只适用于离线预生成滤波器。若要求在线应用, 则存在 Matlab 与 Delphi 的接口问题。Matlab 本身没有提供和 Delphi 的接口程序。一种可行的方法是利用 MathTools 公司开发的 .m 文件解释和调试工具 `Matcom` 将前述 `myfilter.m` 翻译为 `cpp` 代码, 并编译为 .dll (动态链接库) 文件, 再用 Delphi 调用。或者利用 Matlab 与 VC 的接口函数, 如 VC 下的 Matlab 引擎 (engine), 再通过 DLL 实现 Matlab 与 Delphi 的接口, 该方法需要 Matlab 平台的支持。不管采取哪种方法, 都会增加软件代码。

下面, 列出两种方法设计所得的滤波器的频谱, 进一步比较两种方法在分析滤波器性能上的不同, 并借以验证 Delphi 中 `TFirfilter` 类的正确性。为与 Matlab 中 DFT 的有关缺省参数保持一致, DFT 的长度选为 512, 即 Delphi 的谱分析过程中 `ADFTSize` 赋值为 512。

在 Delphi 中可利用第三方提供的共享控件 `sp.XYLine`, `sp.XYPlot`, `sp.SpectrLines` 绘制相应的滤波器幅频特性, 如图 2 示。

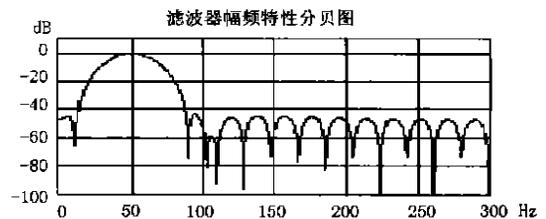


图 2 用 Delphi 所得的频谱

Matlab 本身则有强大的绘图功能, 获取以模拟域频率 (Hz) 为横坐标的幅频分贝特性可编程如下。

```
[h,w]=freqz(b,1);%求滤波器的频率响应
%横坐标从数字域角频率转换为模拟域频率
%纵坐标转换为 dB
plot(w*50*12/(2*pi),20*log10(abs(h)));
axis([0,300,-100,10]);
grid on;
幅频特性如图 3 示。
```

对比图 2、图 3 可知, 两图仅由于绘图工具不同而有细小差别, 曲线则几乎是相同的。从而说明用 `TFirFilter` 设计的滤波器及相应的 DFT 分析程序是正确的。

若利用 Matlab 预生成滤波器系数, 再用 Delphi

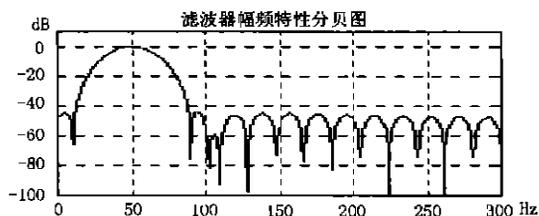


图 3 用 Matlab 所得的频谱

的绘图工具作频谱特性,则所得的特性与图 2 完全相同。

Matlab 的图形功能十分强大,plot 及一些相关的函数对于绘制 xyz 域的各种曲线、设置曲线性质、标注曲线等操作都十分简便和快捷。比较而言,上述 Delphi 控件的处理能力则有限。

5 结语

在电力线路工频参数测量装置中,采用数字滤波技术作为抗谐波干扰的措施之一。文章阐述了分别利用 Delphi 中自定义的类和 Matlab 中提供的数字信号处理函数来实现上述数字滤波器的方法,并对两种方法进行了比较分析。文章提供了一种 Delphi 与 Matlab 通过数据文件进行数据交换的方法,对于

使用 Delphi 进行系统开发,而用 Matlab 进行信号处理与分析的应用具有一定的参考价值。

在参数测量装置中,设计实现滤波器的计算量并不大,而且用户也不要求对滤波器进行在线的谱分析,因此,采用 Matlab 实现方法的意义不大,更没有必要刻意追求 Delphi 与 Matlab 的混合编程。最后发布给用户的装置配套软件用 Delphi 方法实现数字滤波器,经实验室仿真和现场测试,抗谐波干扰的效果良好。

参考文献:

- [1] 陈树德. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京:水利电力出版社,1992.
- [2] Steve Teixeira, Xavier Pacheco 著,任旭钧等译. Delphi 5 开发人员指南[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 楼顺天,李博菡. 基于 MATLAB 的系统分析与设计 - 信号处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1998.
- [4] 赵敏,江帆. Delphi 与 Matlab 接口软件的设计[J]. 计算机自动测量与控制,2000,8(4):26-28.

收稿日期: 2001-06-04

作者简介: 赵霞(1975 -),女,硕士,主要从事微机在电力系统中的应用研究。

Design digital filter using Delphi and Matlab for power frequency parameters measure apparatus

ZHAO Xia

(Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper describes how to design and analyze a 50Hz ± 5 Hz band - pass FIR digital filter used in power frequency parameters measure apparatus using respectively a self - defined Delphi class and the functions supplied by Matlab. A method to share data between Delphi and Matlab is also given.

Keywords: digital filter; Delphi; Matlab

(上接第 37 页)

- [5] 彭承柱. SDH 传送网技术[M]. 电子工业出版社,1996, 12.
- [6] 杨祥林. 光纤通信系统[M]. 国防工业出版社,2000,1.

收稿日期: 2001-10-18

作者简介: 路光辉(1968 -),男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化; 文劲宇(1970 -),男,博士后,研究方向为电力系统控制; 程时杰(1945 -),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为电力系统分析与控制、人工智能在电力系统中的应用。

Switching over of the communication channels for the current differential protection of transmission lines

LU Guang-hui, WEN Jin-yu, CHENG Shi-jie

(Dept. Of Electrical Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper describes the importance of the back up channel in the optical fiber current differential protection of transmission lines. Some methods used to realize the channel back up of the optical fiber are presented. Several schemes of the channel switching over including manual and automatic one are also proposed in the paper.

Keywords: optical fiber communication channel; back up channel; channel switching over