

测量数据的分析与处理软件设计

许川佩^{1,2} 徐金地^{1,2}

(1. 桂林电子科技大学电子工程与自动化学院 桂林 541004; 2. 广西自动检测技术与仪器重点实验室 桂林 541004)

摘 要:介绍了采用 LabWindows/CVI 软件平台开发离线测量数据分析处理软件的设计方法。软件实现了对数据的读取与预处理,波形的显示与调节,信号的参数测量以及对频谱、功率谱和谐波失真进行了分析,利用多线程技术实现了软件的多任务同步进行。实验结果表明软件的分析结果正确,界面友好,性能可靠。

关键词:离线测量数据;预处理;参数测量;频谱分析;多线程

中图分类号: TP311 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.4099

Design of software for analysis and processing of measurement data

Xu Chuanpei^{1,2} Xu Jindi^{1,2}

(1. School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic and Technology, Guilin 541004, China;
2. Guangxi Key Laboratory of Automatic Detection Technology and Instrument, Guilin 541004, China)

Abstract: Design method of the offline data analysis software based on LabWindows/CVI is introduced. The software realizes The software realizes the data reading and pretreatment, the display and adjustment of the waveform, the parameter measurement of the signal, and the analysis of the spectrum, power spectrum and harmonic distortion. Multi-thread technique was used to multiple tasks simultaneously of software. According to the results of the experiment show that the software has a friendly interface, the analysis results are correct and the performance is reliable.

Keywords: offline data; pretreatment; parameter measurement; spectrum analysis; multi-thread

0 引 言

随着科技的迅猛发展,数据采集的速率越来越高,以致各行各业都面临着更加繁重的数据分析处理任务,传统硬件平台已经无法实时处理海量的数据,而且功能的多样性也无法得到满足,自然地会将数据转移到功能更加强大的应用软件上来处理。对实时的数据分析软件而言,为了满足对时间的要求,必须付出降低测量精度的代价,而对离线的数据分析软件则没有此限制,再加上电脑计算功能的强大,使得数据的吞吐量和分析的精度上有了质的提高。例如业界知名的 3 大数学软件 MATLAB、Mathematica 和 Maple,均可用来处理大量的测量数据。MATLAB 专注于在数学科技应用软件中的数值计算,例如矩阵运算、绘制函数等,主要应用于工程计算、控制设计、信号和图像处理、信号检测等领域。而 Maple 和 Mathematica 是以符号计算著称,其数学和分析功能覆盖几乎所有的数学分支,如微积分、微分方程、特殊函数、线性代数、图

像声音处理、统计、动力系统等,所以更侧重于数值的数学分析功能。再例如美国 NI 公司开发的数据管理软件 DI-Adem,集管理、检测、分析与报告测量数据等功能于一身,可直接利用图形化显示数据快速生成交互式结果,其功能库提供基本公式和函数,FFT,数字滤波,曲线拟和,统计,高级代数等功能来获取正确结果并用以做出工程决策,为大量文件格式提供数据输入接口,如 ASCII,Excel,二进制和 ADO 兼容数据库,能处理超过 10 亿个数据点。

纵观硬件行业的发展,随着时间的推移,数据采集设备的采样率将会越来越高,庞大的数据量急需更加强大的离线数据分析处理能力。在国内这一类的数据处理软件尚属空白,所以,设计离线数据分析软件就显得非常必要了。

1 软件功能及总体设计方案

1.1 软件结构

本文是建立在数字化仪或者示波器等设备采集到的

数据基础上的分析软件。不同类型的数据采集设备在性能指标上各不相同,因此本文致力于设计出一款通用的数据分析软件,运用算法来进行数据的预处理,自动屏蔽设备采样率大小的差异,尽最大努力还原信号的本来面貌。一般的采集设备其存储类型有二进制数据、csv 数据、各类图像格式。本文提供 csv 数据文件的解析。

软件的功能模块具体由数据来源与预处理、参数测量、频谱与功率谱分析、谐波失真分析与波形显示与调节 5 个模块组成,软件整体功能结构如图 1 所示。

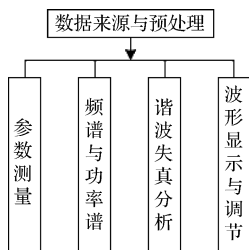


图 1 软件的结构组成

1.2 软件总体工作流程

在软件初始化后,由用户选择需要分析的数据文件,软件在读取的过程中自动分析数据特征,通过设备的采样率来判断应对数据进行怎样的预处理,处理后的数据即可用来进行用户想要的分析处理,并将结果动态显示,可通过波形调节来达到更好的观测状态。软件工作流程如图 2 所示。

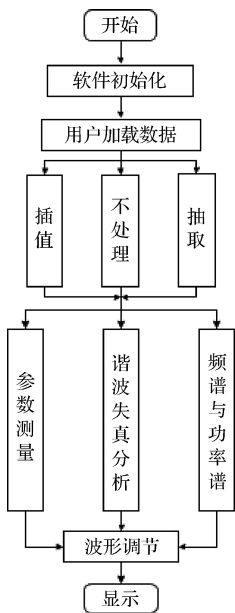


图 2 软件的工作流程

2 软件各功能模块详细设计

2.1 数据来源与预处理

csv 是一种以纯文本的形式存储数据的文件^[1],存储

特点是每条记录被分隔为字段,因其相对简单的文件格式,被用户、商业和科学广泛应用,市面上绝大部分示波器都支持以此格式的文件来保存采样数据。本文的数据也来源于此。为了读取其保存的数据,可以调用 LabWindows/CVI 提供的 fgets 函数来读取数据。

由信号的频率(f)与硬件的采样率(F_s)可以推算出信号一个周期的采样点(N), $N = F_s / f$ 。 N 取值的大小,对之后波形在屏幕上的显示效果起着至关重要的作用,经过多次试验,本文规定 N 的范围要在 $100 \sim 330$,即 $100 \leq N \leq 330$ 。若 $N < 100$,说明信号一个周期的采样点不足 100,这样显示的波形会不够“真实”,显得棱角分明,此时需要插值;若 $N > 330$,表示一个周期的采样点过多,会导致波形在屏幕上无法显示完整,精度虽高却不可取,此时需要抽取。因此,每当读取一次数据,都需要通过计算 N 的值来判断并进行相应的预处理。

插值的方法有很多种,如线性插值,三次样条插值^[2-3]等。线性插值算法简单,其插值效率高,速度快,但是在设备的采样率不够,导致信号的采样点数很少时,用线性插值方法重建出来的信号效果较差,而三次样条插值方法具有较好的收敛性与稳定性,其重建信号时效果会更加平滑,适应性更好,但其插值算法实现起来较为复杂,内插速度较慢。由于每一次读取的数据量较大,从开销等方面综合考虑选择线性插值,可直接调用 LabWindows/CVI 中的 PolyInterp 函数。

抽取的方法有等间隔抽取,均值抽取等。等间隔抽取算法实现简单,开销较小,并且能够快速显示出波形的大致轮廓,但是其仅适用于频率较低的信号,因为对于较高频的信号,信号的峰值会被过滤掉,所以无法真实反映信号的峰值。均值抽取是通过求相邻采样点的平均值来抽点的,实际上与等间隔抽样一样,其在处理高频信号时也会对信号的峰值产生影响,但是可以保证相邻点之间的时间间隔均等,又能够使抽取的波形与原波形尽可能的保持一致。故选择均值抽取。

2.2 参数测量

2.2.1 时间类参数测量

本文中采用窗口法^[3]来计算周期,图 3 所示为算法原理。

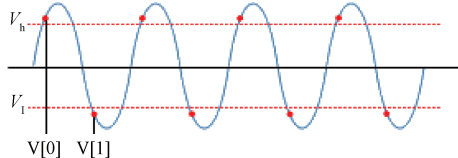


图 3 窗口法测量信号周期

图 3 中 $V_h = V_{pp}/2 + 5\% \times V_{pp}$, $V_l = V_{pp}/2 - 5\% \times V_{pp}$, V_h 表示高参考值, V_l 表示低参考值, V_{pp} 表示峰峰值。首先找出第一个穿越高或低参考值的点,并记录其下标,然后不断往后搜索下一个穿越高或低参考值的点,并判断上一个记录点穿越的参考值类型(即高、低参考值)是否与

此次穿越参考值的类型不同,若不同,则记录下该点下标,将帮助计算周期数目的变量自加;若相同,则不做处理,继续往后搜索。例如图中,记录下第一次穿越 V_h 的点的下标 $V[0]$,继续搜索找到满足条件的穿越 V_h 的点,记录其下标为 $V[1]$,所以在搜索过程中,满足条件穿越 V_h 和 V_l 的点总是成对出现的。

2.2.2 幅值类参数测量

本文中提供 10 个幅度类参数的测量,它们是最大值、最小值、峰峰值、高参考值、低参考值、幅度、周期平均值、周期均方根、上冲、下冲^[4-5]。具体计算可以直接使用 LabWindows/CVI 所提供的高级分析函数,方便而快捷。

2.3 频谱与功率谱分析

一些信号在时域中的特征很微小,难以观察,而傅里叶变换的出现,彻底解决了这一问题,它使得信号的微小特征能够频谱中清晰地显现。通过对信号进行快速傅里叶变换(FFT)处理来获得其频谱(幅度谱与相位谱)^[6-7]。FFT 是离散傅里叶变换(DFT)的一种快速算法,其本质完全与 DFT 等价,以下为 DFT 的计算公式:

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)W_N^{nk} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

功率谱是表示信号的功率谱密度在频域中随频率的变化情况,它对研究信号的功率的分布,决定信号所占有的频带等问题有着重要的作用。特别对于随机信号,无法用确定的时间函数来表示,也就不能用频谱来表示。在这种情况下,往往用功率谱来描述其频域特性。以下为信号的单边功率谱公式:

$$X(n) = \frac{FFT(x(n))FFT^*(x(n))}{n^2} \quad n = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (2)$$

2.4 谐波失真分析

谐波失真(THD)是指信号输入系统时,输出信号比输入信号多出的谐波成分,因而产生原有频率的各种倍频的有害干扰^[8]。以下为谐波失真的计算公式:

$$THD = \frac{\sqrt{A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2}}{A_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中: A_1 为基波幅值, A_n 为 n 次谐波幅值, n 为谐波次数。

LabWindows/CVI 提供的谐波失真分析函数 HarmonicAnalyzer 可以进行谐波失真分析,并得到基频、所有谐波的幅值电平,以及总谐波失真。在进行谐波分析前,可选择是否对信号进行加窗处理^[9-10],窗函数的作用是对信号进行截断,如果窗长不等于信号周期的整数倍,离散频谱中就会有泄漏效应产生,会导致分析的频谱产生畸变,给分析结果带来误差。HarmonicAnalyzer 函数提供了海宁窗,汉明窗等 8 种窗函数对信号进行处理。

2.5 波形显示与调节

与示波器相似,在波形显示的过程中,可以调节其 X 增益、Y 增益、Y 位移来“展开”、“收缩”、“移动”波形,以此

来更好的观察波形的某些特征。本文中也给出了调节波形的实现方法^[11-13]。

调用 PlotWaveform 函数可以在 GRAPH 控件上画图,其中,函数的四个 double 型的参数:Y_Gain, Y_Offset, Initial_X, double X_Increment 可以分别用来控制波形的 Y 轴增益, Y 轴位移, X 轴初始值, X 轴增益。为了能够实时调节波形,需要添加一个调节水平时基的控件,实时显示所调节的档位,本文一共设置了 1 ns/格, 2 ns/格, 5 ns/格到 10 s/格, 20 s/格, 50 s/格等 33 个时基档位。

每一个时基档位都有一个值(x_scale)与其相对应,该值会用以最终确定参数 X_Increment 的值,表 1 给出了部分时基档位对应的值。

表 1 时基档位与其对应值

时基档位/(ns/格)	对应值(x_scale)
1	0.000 000 01
2	0.000 000 02
5	0.000 000 05
10	0.000 000 1
20	0.000 000 2
50	0.000 000 5
...	...

由表 1 中参数的规律,可以推算得到所有时基档位的对应值。

参数 X_Increment 的值决定了点与点之间的间隔,即每个点在 X 轴上的增量,一般来说,将该值设置为采样间隔($1/F_s$)是一种最真实的情况,但是,为了实现调节波形的功能,必须将该值纳入到软件所定义的标准当中,即是无论信号的频率(f)、硬件的采样率(F_s)如何,当其显示在软件的屏幕上,都能通过控件来调节波形并真实的反映波形的特点,之所以将 X 轴的最大值设置为 1.0,正是为了实现数据的归一化处理。根据以上分析,最终设置参数 $X_Increment = 1/F_s/x_scale$ 。

3 多线程技术的运用

3.1 多线程机制

软件具有读取,显示和分析数据 3 个主要任务,单线程的程序设计已经很难满足软件的需求,为了使软件的性能更加可靠,运行流畅,采用了多线程机制来设计来实现这些要求。LabWindows/CVI 提供了线程池和异步定时器两种实现多线程技术的机制^[14-15]。一般来说,线程池比较适合执行重复性高的任务,例如在一个循环内的任务。所以,可以采用线程池机制来创建线程,完成波形的显示和调节任务。异步定时器的原理是在满足定时的条件下触发并执行,所以它更适用于需要定期执行的任务,故可利用这种机制来完成数据的读取。主线程用来实现数据的分析功能。

3.2 数据保护

多线程可以提高软件的性能,但是需要解决的一个非常关键的问题是数据的保护问题。多个线程同时对数据进行访问时,很有可能会使得数据产生无法预料的变化,所以程序需要对程序中的全局变量、静态局部变量和动态分配的变量进行保护,保证线程对数据访问有序。

LabWindows/CVI 提供了 3 种保护数据的机制:线程锁、线程安全变量和线程安全队列^[16-17]。

采用线程锁的方法来保护一个表示缓冲区数据个数的全局变量,该变量会被数据的读取线程与波形显示线程同时访问,为了确保该值的可靠,必须使用线程锁对其进行保护。

还会被读取线程与显示线程同时访问的就是从文件中读到的数据,但因其数据量庞大,线程锁已不能满足其要求,这时可以使用另一种机制,即线程安全队列,该机制可以在线程间安全地传递数据。图 4 所示为多线程的工作流程。

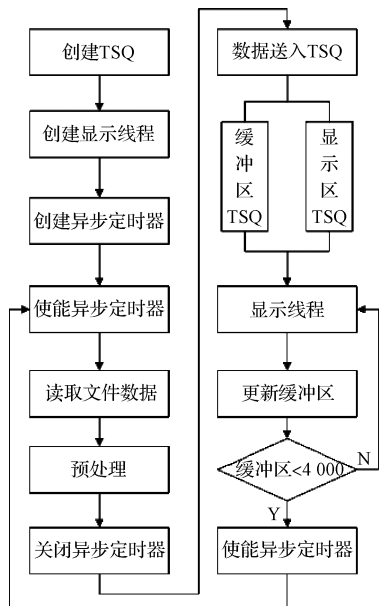


图 4 数据读取和显示线程的工作流程

以下为部分多线程代码:

```

int CVICALLBACK GetDataCallback(int reserved,
int theTimerId, int event, void * callbackData, int event-
Data1, int eventData2) //异步定时器回调函数,用于读写
队列中的数据
{
//数据读取并预处理代码
CmtWriteTSQData(g_displayQueueHdl, display,
4000, TSQ_INFINITE_TIMEOUT, NULL);
CmtWriteTSQData(g_bufferQueueHdl, buffer, buff-
ersize, TSQ_INFINITE_TIMEOUT, NULL);
}

static int CVICALLBACK Show(void * functionDa-

```

ta) //显示线程回调函数

```

{
while(Run)
{
//显示波形,更新缓冲区代码
//判断缓冲区数据个数
CmtGetTSQAttribute(g_bufferQueueHdl, ATTR_
TSQ_ITEMS_IN_QUEUE, &bufferItems);
}
}

```

4 实验验证

为了验证软件的实际效果,先读取了一个采样深度为 1MPoints 的 csv 文件,其信号是一个频率为 1 MHz 的正弦波,采样率为 50 M,依据本文中对数据预处理的分析,一个周期的采样点 $N = F_s / f = 50$,需要对其进行插值处理。从图 5、6 中可以看出,插值后效果明显,波形更加的平滑。

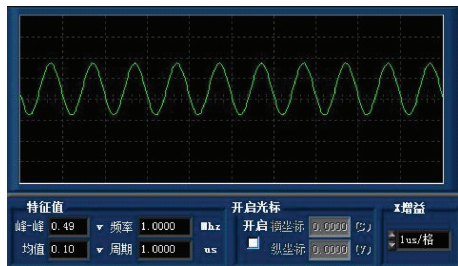


图 5 插值前的正弦信号

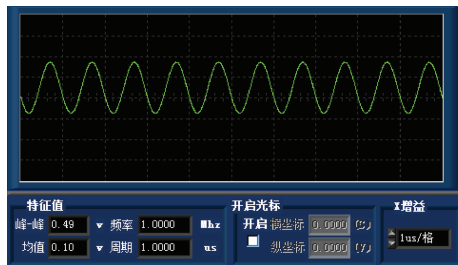


图 6 插值后的正弦信号

从图 7、8 中可以看出时基档位可以自由切换,且时基,波形的频率、周期等特征值都显示正确,并利用了多线程技术实现了在波形显示的同时进行谐波失真分析。

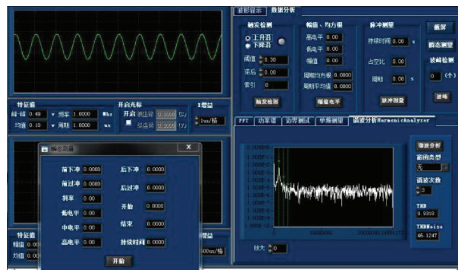


图 7 档位为 1 μs/格的正弦信号进行谐波分析

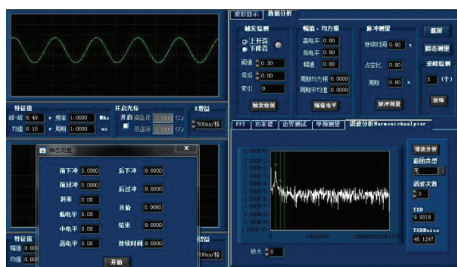


图8 档位为500 ns/格的正弦信号进行谐波分析

5 结 论

基于 LabWindows/CVI 开发平台完成了测量数据的分析与处理软件的开发设计,通过预处理中的插值,抽取等算法能够很好的从文件中恢复其波形,能够对不同的文件数据进行自适应的分析,波形的动态显示与调节功能都能够正常使用且具有一定的通用性,信号的参数测量以及对信号的频谱、功率谱和谐波失真分析其结果均正确。采用多线程技术让数据的读取、显示与处理任务能够同时进行,能够及时响应用户操作,在数据量很大、数据处理任务很重时,其效率提升更加明显,同时,软件的交互界面友好,操作便利。

参 考 文 献

- [1] 林立云. 推荐一种读和写 CSV 文件的程序设计方法[A]. 中国密码学会教育工作委员会, 2011:3.
- [2] 周峰, 赵春宇, 黄震宇, 等. 基于时域线性插值的信号周期计算方法及误差分析[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(8):1724-1730.
- [3] 武婕, 刘开培, 乐健, 等. 基于三次样条插值的算术傅里叶谐波分析方法[J]. 电测与仪表, 2016, 53(1): 15-18.
- [4] 王莉, 杨鹏. 基于 LabVIEW 的虚拟示波器的设计与实现[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(1):62-64.
- [5] 李启丙. 数字示波器中波形参数自动测量算法研究[J]. 计算技术与自动化, 2011, 30(3):87-89.
- [6] 胡宁, 徐兵. 基于 LabVIEW 的频谱分析仪的设计. 计算机测量与控制, 2013, 21(5):298-301.

- [7] 杨志兴. 基于合成仪器的频谱分析仪构建方法及实现[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(增刊1):59-62.
- [8] 陈莉, 张宏立, 张瑞明. 基于 LabWindows/CVI 的电能质量分析仪[J]. 自动化仪表, 2011, 32(7):59-60, 65.
- [9] 潘文, 钱寿寿, 周鄂. 基于加窗插值 FFT 的电力谐波测量理论(II)双插值 FFT 理论[J]. 电工技术学报, 1994(2):53-56.
- [10] 温和, 滕召胜, 王永, 等. 改进加窗插值 FFT 动态谐波分析算法及应用[J]. 电工技术学报, 2012, 27(12): 270-277.
- [11] 张红光, 李正明. 基于 LabWindows/CVI 的虚拟示波器研究与设计[J]. 现代电子技术, 2013(9):168-170.
- [12] 刘东升, 尹成群, 吕安强, 等. 基于虚拟仪器技术的电子测量仪器平台开发[J]. 仪表技术与传感器, 2011(9):23-25.
- [13] TAO M L, CHEN D F, LU Q G, et al. Real-time virtual instrument platform based on multi-thread technique[J]. Advanced Materials Research, 2012, 468-471:2903-2907.
- [14] 张惊雷, 王鑫. 基于 LabWindows/CVI 异步定时的多通道数据采集[J]. 测控技术, 2014, 33(2):100-102.
- [15] National Instruments Corp. LabWindows™/C-VI 中的多线程技术[R]. National Instruments Corp, 2010.
- [16] 刘娅, 李孝辉. 基于 LabWindows/CVI 的虚拟仪器软件性能优化设计[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(10): 134-137.
- [17] 陈娇阳, 陈楸, 刘桓龙. 基于 LabWindows/CVI 多线程数据采集的研究[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(9): 2459-2461.

作 者 简 介

许川佩, 1968 年出生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为自动测试总线与系统、集成电路测试技术。

徐金地, 1990 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为信号处理与信息集成系统。

E-mail:389076814@qq.com