

学生自主实验用虚拟频谱分析仪方案设计

李继芳, 王路路, 王哲, 黄元庆

(厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要:介绍了学生自主实验用虚拟频谱分析仪的设计方案。该方案以 PC 机为硬件平台,以图形化编程语言 LabVIEW 为软件平台。整个系统由原始信号产生模块和频谱分析模块两部分组成,原始信号由虚拟信号发生器和声卡信号采集 2 种方式产生;频谱分析模块首先对上述信号进行加窗函数处理,然后进行频域分析,最后输出处理后的波形和数值结果。

关键词:频谱分析; 虚拟仪器; LabVIEW

中图分类号: TP206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7167(2009)03-0239-04

Project Design of Virtual Spectrum Analyzer for Students Independent Experiment

LI Jifang WANG Lulu WANG Zhe HUANG Yuanqing

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: This paper introduced a virtual spectrum analyzer design with which the students can have experiment on their own. The project is based on PC, its hardware platform, and LabVIEW which is a graphical programming language for software platform. The entire system is composed of two parts: the original signal source module and spectrum analysis module. The original source can be generated by two sub-ways: the virtual signal generator and signal acquisition. Spectral analysis module first processes the signal with the window function, and then carries out frequency-domain analysis. The final output is the postwave and numerical results.

Key words: spectrum analyzing; virtual instrument; LabVIEW

CLC number: TP206 **Document code:** A **Article ID:** 1006-7167(2009)03-0239-04

1 引言

频谱分析是信号处理中非常重要的分析手段,是模拟系统测试的基本要求^[1]。频谱分析仪既用于工程设计和系统调试,也用于控制理论、信号与系统等课程的实验教学,用途极广,有高频“万用表”之称^[2]。频谱分析一般都依靠传统频谱分析仪来完成,其价格昂贵、体积庞大,对于一般的高等院校配备多套频谱分析仪用于实验教学几乎是不可能的,因此学生接触和

操作的机会很少。如果没有配备实验,学生在学习信号频谱分析时会感觉内容比较抽象,理论和实践容易脱节,导致学习失去兴趣。

本文基于 LabVIEW 的虚拟频谱分析仪改变了原有频谱分析仪的整体设计思路,以计算机为硬件平台,以 LabVIEW 为软件平台,利用 PC 机强大的数据处理能力和 LabVIEW 模块提供的丰富的信号时域及频域分析函数,用软件代替硬件实现学生自主实验用频谱分析仪具有的功能,另外,用于实验分析的信号除了可利用 LabVIEW 自带的虚拟信号发生器仿真产生外,利用 PC 机自带的声卡也可以完成信号的采集、处理及频谱分析,使学生不用去实验室,利用自己的 PC 机随时可进行信号分析实验,提高实验效率,降低实验成本,增强学生学习的积极性,达到较好的学习效果,并且软件系统具有开放性,学生在学习中利用 LabVIEW

收稿日期: 2009-01-08

基金项目: 厦门大学科技创新项目 (0620-Y07016)

作者简介: 李继芳 (1969-) 女, 山东省潍坊市人, 工学硕士, 工程师, 从事虚拟仪器技术及光电集成技术研究。

Tel: 13599517016 E-mail: lij@xmu.edu.cn

的知识可不断扩充定义频谱分析功能实现软件的升级。

2 虚拟频谱分析仪原理

虚拟频谱分析仪是以计算机为硬件平台设计的,计算机只能对离散序列进行处理,因此频谱仪分析处理的信号一是来自于硬件数据采集卡,各种连续的模拟信号经数据采集后被离散化成为等间隔的时间序列数据;另外,也可按照信号变化规律,通过软件,采用时间间隔取样函数值的方法,得到用离散时间序列表示的数字信号^[3]。LabVIEW中提供了专门描述离散时间序列的数据类型——波形,可以方便地得到各种仿真信号用于频谱分析。

频谱分析都是以频率为自变量,以各频率分量的幅值、相位、功率和能量等信号值为因变量进行分析的^[4]。傅里叶变换是数字信号处理中最重要的变换之一,其意义在于将时域信号与频域信号联系起来。LabVIEW高级分析程序库中的频域分析子模板提供了丰富的时域和频域转换函数,包括傅里叶变换、Hilbert变换、小波变换、功率谱分析、联合时域分析、谐波分析、系统辨识等。在实际利用计算机进行数字信号处理时,用的是离散傅里叶变换(DFT)及快速运算工具FFT。

另外,计算机实际上只能处理有限长度的信号,所以必须对无限长离散序列截断,只取采样时间内有限数据,这样就存在频谱泄露。为了减小或抑制泄露,常用多种不同形式的窗函数对时域信号进行加权处理。LabVIEW提供了丰富的窗函数类型以供选择。

基于LabVIEW模块化设计思想,本文虚拟频谱分析仪总体方案如图1所示,主要由原始信号产生模块和频谱分析模块组成。首先将原始信号产生模块产生的信号送加窗平滑,然后进行频域分析和显示。

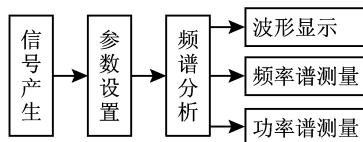


图 1 系统总体设计图

3 仪器模块功能实现

3.1 原始信号产生模块

信号产生是测量系统的重要组成部分,在测量应用中常用的测试信号包括正弦波、三角波、方波、锯齿波、噪声波及多频波(由多个离散频率的正弦波组成的集合)。本设计中原始信号的产生有两种途径:一个是利用LabVIEW自带的信号产生模块产生各种典型信号满足信号分析的需要;另是利用计算机自带的

声卡采集音频范围内的信号作为频谱分析的原始信号。

(1)仿真信号发生器模块。当无法获得真实信号或需要产生与系统相适应的测试信号时,可按照信号变化规律,利用软件生成各种仿真信号。仿真信号不但可以设计各种仿真虚拟仪器,实现各种理论分析及功能演示,还可对虚拟仪器的后续软件处理部分进行调试和功能校验。

LabVIEW的函数模块提供了丰富的波形函数,用于产生模拟信号,它可以产生包括正弦波、方波、锯齿波、三角波在内的任意标准周期信号,周期信号的频率、幅值、相位、占空比均可调节。同时,在产生的周期信号上可叠加各种噪声,包括Uniform White Noise、Gaussian White Noise、Periodic Random Noise等。

(2)数据采集模块。要在PC机上实现实时数字信号处理,需要在硬件上附加A/D和D/A转换器接口。目前,市场上的采集卡多为商用,价格较高,对于一般的用户来讲难以接受。而声卡几乎是计算机的标准配置,从数据采集的角度来看,它是一种音频范围内的数据采集卡,是计算机与外部的模拟量环境联系的重要途径。利用计算机中的声卡对音频范围内的信号进行采集和处理对于学生自主实验来讲无疑是一种最廉价和最可行的方案。

一般声卡有4~5个对外接口,其中输入接口有2个,分别是Line In和Mic In,它们的区别是后者可接入较弱的信号,幅值0.02~0.2V,该信号易受干扰,因此常使用Line In,它可接入幅值不超过1.5V的信号,使用时可以用一条一头是3.5mm插孔,另外一头是鳄鱼夹的连接线把输入信号接入Line In口,也可以用立体声耳机做一个双通道的输入线,剪去耳机,保留线和插头即可,注意2个通道是共地的。

LabVIEW中提供了一系列使用Windows底层函数编写的操作声卡的函数。由于使用Windows底层函数直接与声卡驱动程序打交道,因而封装层次低、速度快,而且可以访问采集缓冲区中任意位置的数据,具有很大的灵活性,能够满足实时不间断采集的需要。

本文数据采集采用模板SndReadWaveform.VI采集声卡数据,程序框图如图2所示。声卡采集到的信号如图3所示。

3.2 频谱分析模块

LabVIEW高级分析库中的频域分析模块提供了丰富的信号频域分析函数,包括傅里叶变换、Hilbert变换、小波变换、功率谱分析、联合时域分析、谐波分析、系统辨识等。

本文中频谱分析模块主要由加窗函数、时域缩放窗、自功率谱、频谱转换单位、幅度谱和相位谱、功率及频率估计等几个子V组成。

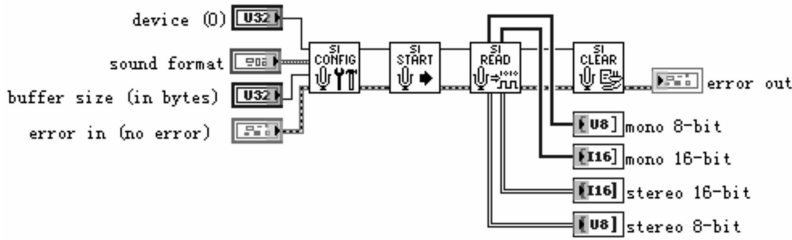


图 2 采集程序框图

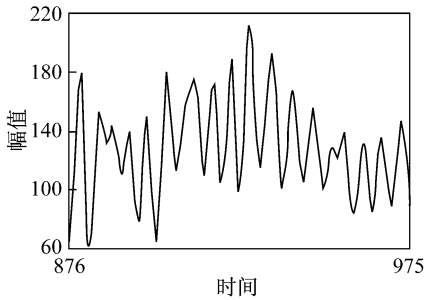


图 3 声卡采集到的信号

加窗处理实际上就是对被分析信号在不同的时刻加不同的权值, 以使信号截断的影响尽可能小, 一般来说, 加窗处理是以牺牲频率分辨率来换取泄露的减少。窗口宽度和窗口形状决定了窗函数的特征, 本设计分别用到矩形窗、汉宁窗、哈密窗、布莱克曼窗等窗函数。

“时域缩放窗” \forall 对结果进行缩放, 从而在计算加窗波形的功率或幅值时, 所有窗都提供相同且在窗精度限制之内的电平。“自功率谱” \forall 计算时域信号的单边且经缩放的自功率谱。功率谱返回单边功率谱。“频谱单位转换” \forall 用来转换原始信号幅相谱输出单位, 转换功率谱、幅值谱或增益(幅值比)谱, 从而在包括 Log dB和 dBm和谱密度在内的各种格式间切换。“幅度谱和相位谱” \forall 计算信号的单边且经缩放的幅度谱, 并将幅度谱返回为幅度和相位。幅度谱大小返

回单边功率谱。“功率及频率估计” \forall 计算时域信号在功率谱中的峰值附近的估计功率和频率。

3.3 系统实现

本文设计的频谱仪前面板如图 4 所示。面板上的 3 个显示图表中, 左边上下 2 个图表分别显示幅度谱和相位谱图形, 右边的图表显示的是仿真信号波形或者声卡采集到的波形, 面板顶端指示端分别显示输入信号的估计功率峰值和频率峰值, 左侧控制端可进行一些参数设置, 包括输入设备的选择, 采样点数和采样频率设置, 加窗的选择, 显示单位设置以及对数/线性设置。系统程序框图如图 5 所示。

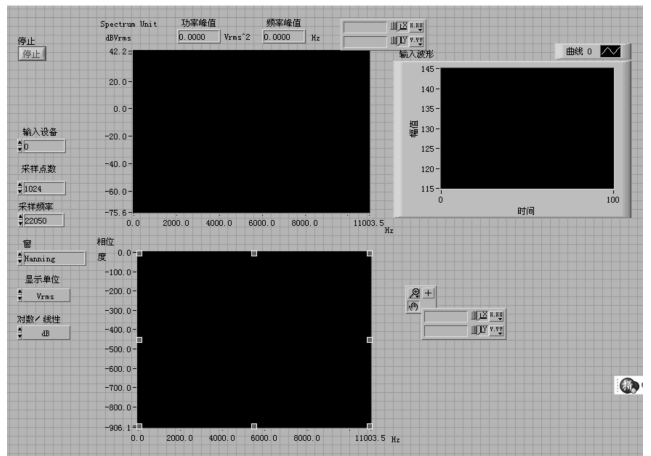


图 4 系统前面板

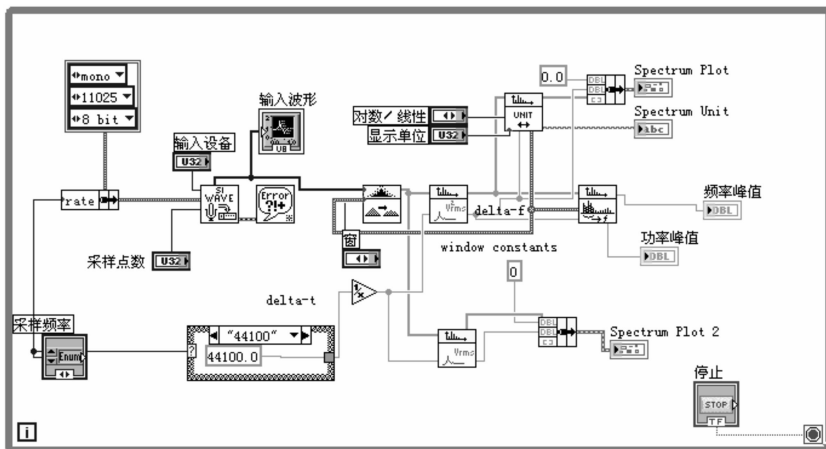


图 5 系统程序框图

4 虚拟频谱分析仪的运行检验

完成虚拟仪器的设计后, 是否能达到预期的功能, 还需要运行检验, 通常分仿真检验和实测检验两种方式。

4.1 频谱分析仪的仿真检验

为测试频谱分析模块设计的正确性, 将原来程序的信号源替换为 LabVIEW 中的信号发生器 VI, 可由信号发生器自由设置输入信号的波形类型、频率及幅值。时域信号的频谱分析可以通过观察虚拟频谱分析仪面板上的显示与理论计算值的比较来判断正确与否, 以此来验证虚拟频谱分析仪模块的设计是否正确。以下以方波周期信号为例来进行频谱分析。

周期方波信号是偶函数, 无正弦分量, 其傅氏级数为:

$$f(t) = \frac{2}{\pi} \left[\cos\omega_0 t - \frac{1}{3} \cos 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \cos 5\omega_0 t - \dots \right]$$

令基波频率为 10 Hz 则其谐波频率依次为 10、30、50 Hz..., 其对应的各次谐波分量的幅值幅度依次为 1.237 2 V、0.424 4 V、0.254 6 V..., 折合成 2 倍有效值分别是 0.903 0、18 V。

在前面板中选择方波, 幅值 1 V 频率 10 Hz, 加汉宁窗, 结果以线性显示, 其结果如图 6 所示。可见, 显示结果与理论计算一致, 功率峰值与频率峰值显示也是正确的。因此, 该程序的频谱分析模块设计是正确的。

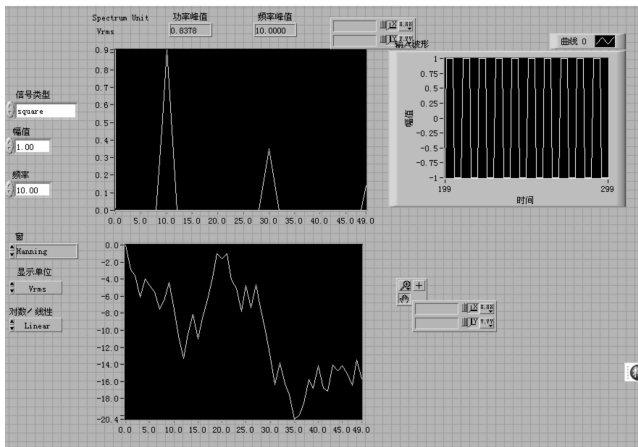


图 6 周期信号测试图

4.2 采集声音信号的实测检验

将虚拟信号源换成声卡信号采集模块, 将声卡接上麦克风, 用麦克风通过声卡采集自己的声音信号, 学生可观察说话、唱歌等不同声音信号的波形和频谱, 判断声音尖锐与频率高低的关系。以图 3 所示声卡采集到的信号作为信号源, 分析得到的幅频和相频特性分别如图 7、8 所示。

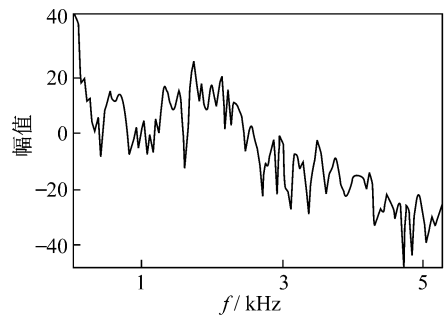


图 7 声卡采集到的信号幅频特性

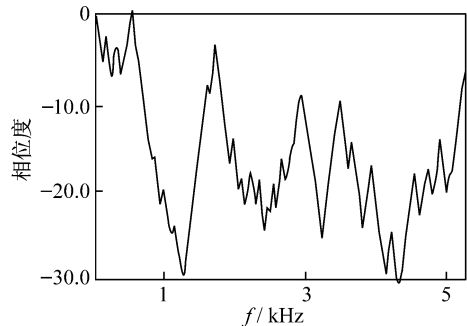


图 8 声卡采集到的信号相频特性

5 结 语

本文基于 LabVIEW 编程环境, 提出了学生自主实验用虚拟频谱分析仪的设计方案。运用计算机强大的数据处理能力和虚拟仪器技术, 实现了一般的频谱分析仪所具有的功能, 可进行加窗处理, 绘制出幅频响应和相频响应特性曲线图, 增加了分析处理能力。要实现在本设计中没有的滤波、自相关、互相关等分析功能, 只需在程序中加入相应的子 VI 即可, 大大增强设计的灵活性, 这也是虚拟仪器相对于传统仪器的一个巨大的优势。另外, 把虚拟仪器技术应用于学生自主实验, 使学生通过对虚拟仪器技术的学习, 掌握硬件和软件的大量知识, 还可培养学生掌握现代技术的能力和创新能力, 提高工程素质。

参考文献 (References):

- [1] 赵光宙. 信号分析与处理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006
- [2] 陆绮荣. 基于虚拟仪器技术个人实验室的构建 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006
- [3] 侯国屏, 王 珅. LabVIEW 7.1 编程与虚拟仪器设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [4] 郭艳清, 路向阳, 李晓莹. 基于 LabVIEW 7.0 的虚拟频谱分析仪的设计 [J]. 洛阳大学学报, 2006(12): 61-63
- [5] 张小牛, 侯国屏, 赵 伟. 虚拟仪器技术回顾与展望 [J]. 测试技术, 2000 19(9): 20-21
- [6] 陆起涌, 李向华. 基于计算机的虚拟仪器测试平台设计 [J]. 仪器仪表学报, 2003(2): 744-746
- [7] 阎素红, 任艳娜. 基于 LabVIEW 的信号处理系统 [J]. 长春师范学院学报 (自然科学版), 2008 27(3): 14-24
- [8] 肖晓萍, 石永革. 基于 LabVIEW 的虚拟频谱分析仪及频域测量误差分析 [J]. 计算机工程与设计, 2006 27(18): 3472-3475
- [9] 周福超, 汪志勇, 居滋培. 基于 LabVIEW 的虚拟频谱分析仪 [J]. 仪器仪表学报, 2002 23(2): 741-743