

文章编号: 2095-2163(2020)04-0063-04

中图分类号: TP391

文献标志码: A

基于 LabVIEW 的虚实结合的信号分析与滤波实验系统

林思宇, 蒋华胜, 周庆华

(长沙理工大学 物理与电子科学学院, 长沙 410114)

摘要: 基于 LabVIEW 开发环境构建了一个虚实结合的信号分析与滤波实验系统。该系统使用 NI USB-6353 数据采集卡对实际信号进行采集, 对采集到的信号进行分析和滤波, 可保存实验结果和将滤波后的信号输出到其他硬件设备, 完成对实际信号分析与滤波的实验项目。以信号频谱分析实验和数字滤波器实验为例介绍了实验系统的设计与实现。

关键词: LabVIEW; 虚实结合实验; 频谱分析; 数字滤波器

LabVIEW based signal analysis and filtering experiment system combining virtual and actual signals

LIN Siyu, JIANG Huasheng, ZHOU Qinghua

(School of Physics & Electronic Science, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

【Abstract】 Based on LabVIEW development environment, constructing a virtual and actual combination system for signal analysis and filtering experiment. The system uses NI USB-6353 data acquisition card to collect the actual signal, analyze and filter the collected signal, save the experimental results and output the filtered signal to other hardware devices, and complete the experimental project of the actual signal analysis and filtering. Taking the experiment of signal spectrum analysis and digital filter as examples, presents the design and implementation of experiment system.

【Key words】 LabVIEW; virtual and actual experiment; spectrum analysis; digital filter

0 引言

在教学体系中, 实验教学是非常重要的环节, 将理论知识运用到实际情景中, 既可以培养学生的动手能力, 又可以加深学生对于课程的理解^[1]。目前, 在高校的电类课程的实验教学中, 以基于实际电路的硬件实体实验和基于软件仿真的虚拟实验两种实验模式为主^[2]。实体实验通常选用电路实验箱和其他仪器设备来搭建实验平台, 实验可操作性强, 实验结果也较为直观。但实体实验受实际环境的限制较大, 比如实验场所和实验时间相对固定, 实验设备会存在损坏和老化等问题, 实验教学的效果得不到保障。同时, 为了购置实验设备和维护实验平台, 高校往往需要投入大量的经费^[3]。虚拟实验在极大程度上减少了硬件条件的限制, 减少了实验开销, 在实验时间上也相对灵活, 虚拟实验通常使用 C、MATLAB 等语言编程实现, 实验内容可拓展性较强。但纯虚拟实验无法接触到实际的信号, 学生可能会对实际电路和硬件设备缺乏直观认识, 不能切实体会到理论与实际的联系。因此, 将实体实验和虚拟实验结合起来, 构成虚实结合的实验系统, 不但可以减少实验教学中对硬件设备的需求, 方便实验平台的维护和实验内容的拓展

更新, 还有效的解决了纯虚拟实验过于理想化的问题, 达到完善实验教学的目的^[4-6]。

LabVIEW 是美国国家仪器公司推出的一款图形化编程软件, 软件内置大量可用于信号处理和分析的函数, 并提供功能丰富的工具包, 在学术研究、工业测量控制和上位机监控界面的设计上均有着较为广泛的应用^[7]。软件与搭配 NI 数据采集卡相结合, 有多种方式采集实际的物理量^[8], 也为虚实结合的实验系统提供了良好的软件和硬件基础。本文提出基于 LabVIEW 的虚实结合的信号分析与滤波实验系统, 以 LabVIEW 2015 为软件开发平台, 配合 NI USB-6253 数据采集卡, 实现对信号的生成、采集、分析、滤波和输出等功能, 可以完成信号分析与滤波的实验项目。

1 总体设计

实验系统采用模块化设计思想, 根据功能需求划分出不同的功能模块, 实验系统的总体结构如图 1 所示, 包括信号采集模块、仿真信号模块、实验模块、实验结果保存模块和信号输出模块。信号采集模块完成对实际信号的采集功能; 仿真信号模块能够为采集的信号叠加噪声或生成虚拟信号; 实验模块提供项目特有的实验功能, 不同的实验项目有着

基金项目: 湖南省普通高等学校教学改革研究项目(JG1624)。

作者简介: 林思宇(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 电路与系统。

收稿日期: 2019-11-11

不同的实验模块;实验结果保存模块可以根据得到的实验数据保存实验结果的图片;信号输出模块可以将处理后的信号输出到其他硬件设备。

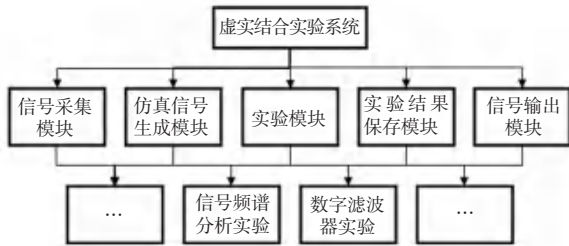


图1 实验系统总体结构图

Fig. 1 The overall structure diagram of the experimental system

为了达到软硬件相结合的目的,每个虚实结合的实验项目都会包含信号采集模块或者信号输出模块。构成实验项目的功能模块可以根据实际需求选择,设计出新的实验模块与原有的其他功能模块组合也可以构成新的实验项目,实验系统的可拓展性强。

本文以信号频谱分析实验和数字滤波器实验为例介绍实验系统的设计与实现。其中,信号频谱分析实验由信号采集模块、实验模块和实验结果保存模块三个模块组成,主要实现对实际信号的采集,并对采集到波形信号作时域和频域的分析,并且能够保存时域和频域的波形图像;数字滤波器实验由信号采集模块、仿真信号模块、实验模块和信号输出模块四个模块组成,主要实现对实测信号和仿真信号的滤波功能,能够通过设置滤波器的参数实现不同滤波特性的低通、高通、带通、带阻数字滤波器,并且可以通过采集卡输出滤波器处理后的信号。

2 功能模块的设计

2.1 信号采集模块

信号采集模块由硬件和软件两部分组合而成,采集的信号可以由采集卡产生的实际信号,也可以是由外接的仪器设备如函数信号发生器、电路实验箱产生的实际信号。

硬件部分选用 NI USB-6353 采集卡,通过采集

卡的模拟输入通道接收实际信号。USB-6353 采集卡是 NI 公司的 X 系列,外部电源型 USB 数据采集卡,输入和输出最大电压范围 $-10\text{ V}\sim 10\text{ V}$,拥有 32 个模拟输入通道,可用于 16 个差分输入或 32 个单端输入,4 个模拟输出通道,48 个数字 I/O,各端子可通过编程独立配置为输入或输出,四个 32 位计数器/定时器,板载 NI-STC3 定时和同步技术提供高级定时功能,包括独立的模拟和数字定时引擎,可重触发的测量任务,适用从于基本数据记录到控制和测试自动化的应用。

软件部分使用 NI-DAQmx 15.0 驱动程序驱动数据采集卡,采集流程主要分为通道建立、时钟设置、开始采集、信号读取和清除任务五个环节,每个环节均采用 DAQmx 通道类函数编程实现。信号采集模块的程序图如图 2 所示。通道建立由 DAQmx 创建虚拟通道 VI 实现,任务类型为模拟电压输入,输入电压范围默认 $-5\text{ V}\sim 5\text{ V}$,输入控件用于指定生成虚拟通道的物理通道端口和输入接线端配置。当使用采集卡产生信号时,输入接线端配置可选择默认或单端模式,若是与采集卡不共地的外接设备,为了去除共模电压,一般使用差分方式。时钟设置环节使用 DAQmx 定时 VI,定时类型选择采样时钟,以默认板载时钟为采样时钟源,配置采样率和通道采样数,创建所需的缓冲区,采样模式选择有限采样。开始采集环节如果不设置触发,可直接使用 DAQmx 开始任务 VI,使采集任务处于运行状态。为了方便观测和记录采集的波形,使用 DAQmx 触发 VI,选择触发方式为模拟边缘触发,以模拟输入通道本身作为触发源。信号读取环节使用 DAQmx 读取 VI,选择模拟波形 1 通道 N 采样模式,读取采样数与时钟设置采样数相同,即可读取缓冲区中当前可用的全部波形。清除任务环节需要先使用 DAQmx 停止任务 VI,中止采集任务,使用 DAQmx 清除任务 VI 清除任务并释放任务所保留的全部资源。

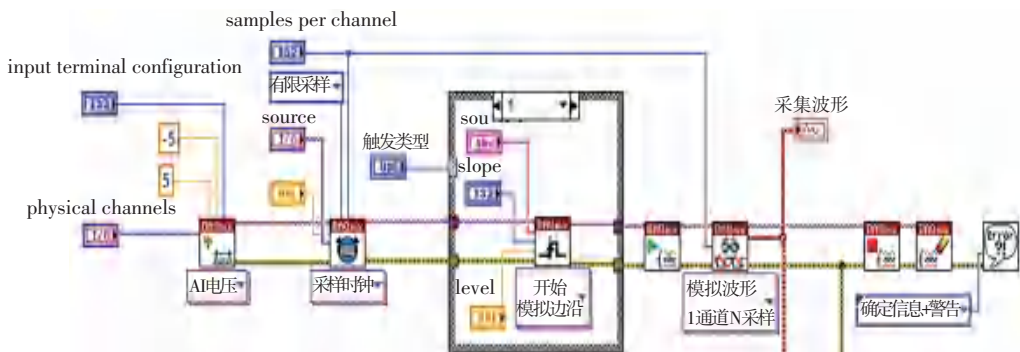


图2 信号采集模块程序图

Fig. 2 The program diagram of signal acquisition module

2.2 仿真信号模块

仿真信号模块使用软件编程产生参数可调的信号,在实验中加入此模块用来提高实验的效果,为采集到的信号叠加噪声再进行处理,或是在没有实际信号的时候使用仿真信号进行实验。本文在数字滤波器实验中加入此模块,主要使用 LabVIEW 软件信号处理选板中的波形生成函数,使用基本函数发生器 VI,生成正弦、方波、三角和锯齿波信号仿真波形,使用均匀白噪声、高斯白噪声等噪声波形生成函数对采集信号或仿真信号叠加噪声。

2.3 实验模块

本文的实验系统分为信号频谱分析实验和数字滤波器实验两个部分。

信号频谱分析实验对采集到的波形信号进行显示,信号频谱分析实验模块程序图如图 3 所示,分别使用波形测量函数中的基本平均直流-均方根 VI、幅值和电平测量 VI 和提取单频信息 VI,对采集到的信号进行分析,得到信号的均值、均方根值、频率、幅值、最大值和最小值等相关波形参数。若存在多个频率分量,则返回幅值最高的单频信息,使用 FFT 频谱(幅度-相位)VI,对信号进行快速傅里叶变换,得到信号的频域波形。

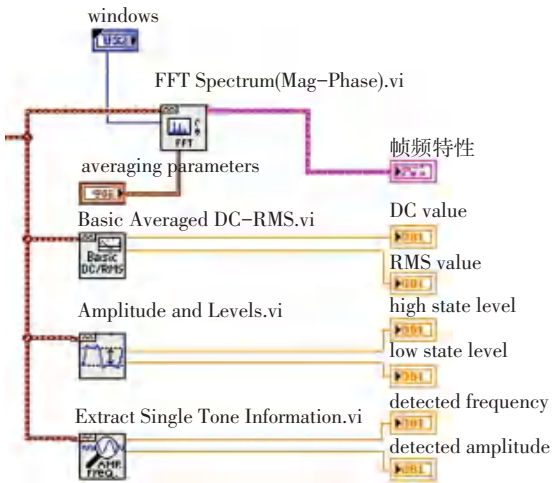


图 3 信号频谱分析实验模块程序图

Fig. 3 The program diagram of signal spectrum analysis experiment module

数字滤波器实验对实际信号和仿真信号进行滤波,得到滤波后的信号波形、滤波器的幅度响应和相位响应,数字滤波器实验模块程序图如图 4 所示。使用条件结构,选择数字 FIR 滤波器 VI 或者数字 IIR 滤波器 VI 对输入信号滤波,通过控件设置滤波器类型和截止频率,将滤波器信息的簇数据按名称解除捆绑,得到滤波器的幅度响应和相位响应。IIR

滤波器可选择不同的逼近准则(巴特沃斯、切比雪夫 I 型、切比雪夫 II 型、椭圆滤波器法和贝塞尔滤波器法),当设置的 IIR 滤波器的阶数小于等于 0 时,将由可选 IIR 滤波器规范计算阶数。FIR 滤波器可选择不同的设计方法(窗函数加权法、等波纹 FIR 法和按规格计算的 FIR 法)和相应的参数。

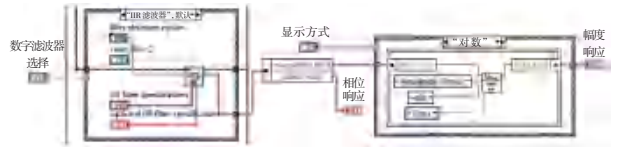


图 4 数字滤波器实验模块程序图

Fig. 4 The program diagram of digital filter experiment module

2.4 实验结果保存模块

实验结果保存模块通过按键弹出对话框,在对话框中选择文件保存路径并输入文件名,即可保存实验中的波形图像。将按键的键值改变作为触发条件加入事件结构中,在该事件中使用对话框 Express VI,在运行时弹出对话框,使用波形图控件的获取图像调用节点,获取图像数据,将获取的文件路径和图像数据输入写入 BMP 文件 VI,即可将波形图像保存为 BMP 格式的图片。为了避免用户在对话框中取消保存时出现路径错误,导致程序不能正常运行,需将调用节点和写入文件 VI 放置在对话框 Express VI 的错误输出为无错误的条件结构中。

2.5 信号输出模块

信号输出模块可以将处理后的信号通过采集卡输出到其他硬件设备(例如:示波器或后续信号处理电路)。信号输出模块的硬件部分使用 USB-6353 数据采集卡,使用模拟输出通道实现信号的输出。软件部分的信号输出流程包括通道建立、时钟设置、写入数据、开始输出和清除任务五个环节,信号输出模块程序图如图 5 所示。使用 DAQmx 创建虚拟通道 VI,选择模拟电压输出任务,并创建输入控件指定信号生成操作的物理通道、输出接线端配置(差分模式和伪差分模式)。时钟设置使用 DAQmx 定时 VI,选择采样时钟模式,设置采样方式为连续采样,并设置其他相关的参数(采样时钟源、采样率和采样数)。写入数据使用 DAQmx 写入 VI,写入数据与滤波后波形数据相连。开始输出使用 DAQmx 开始任务 VI,运行输出任务,使用 While 循环保持任务的运行状态,让信号能够连续输出。最后,使用 DAQmx 停止任务 VI,使用 DAQmx 清除任

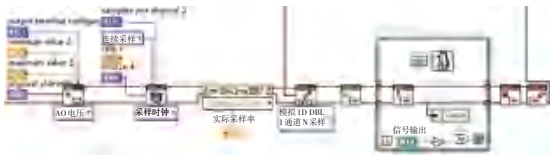


图 5 信号输出模块程序图

Fig. 5 The program diagram of signal output module

3 实验项目的实现

3.1 信号频谱分析实验

信号频谱分析实验的前面板如图 6 所示,图中信号源是由采集卡输出的频率 10 Hz、幅值 1 V 的锯齿波,进行实验时首先需对硬件进行正确的接线,通过通道设置、定时设置和触发设置完成信号采集的各项参数设置,通过调整 FFT 参数设置,选择对时域波形做快速傅里叶变换时使用的时域窗和进行平均值运算的平均参数。通过显示控件可以观察采集到的信号时域波形和频谱特性波形图像,通过获取的频率、均值、均方根值、幅值、电平的最大和最小值等波形参数可以看出与输入的信号基本符合。另外可以使用布尔开关和旋钮调节波形图控件的标尺和游标以辅助观测波形图像,点击按键可以保存实验结果。

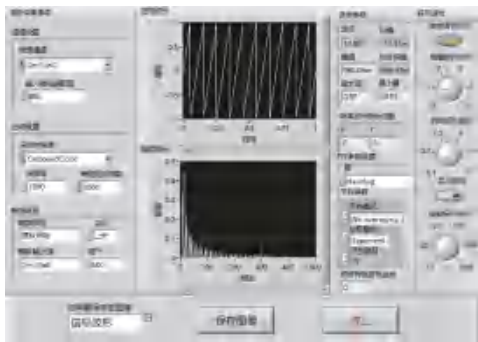


图 6 信号频谱分析实验前面板

Fig. 6 The front panel of signal spectrum analysis experiment

3.2 数字滤波器实验

数字滤波器实验的前面板如图 7 所示,实验时首先通过选项卡选择输入信号为实际信号或者仿真信号,并可以为其叠加噪声信号作为原始波形,通过数字滤波器选择选项卡可以选用 FIR 滤波器或者 IIR 滤波器对原始波形进行滤波,设置不同的滤波器规范以设计功能不同的滤波器。在信号波形选项卡中可以分别观察原始波形、滤波后波形和频谱图像,其中原始波形频谱和滤波后波形频谱以不同颜色显示在同一个显示控件中,滤波器信息选项卡中显示所设计滤波器的幅度响应和相位响应。图中采集的实际信号是由采集卡输出的频率 10 Hz、幅值为 1 V 的正弦波信号,原始波形为该信号叠加幅值为 2 V 的均匀白噪声后的信号波形,选择低截止频率为 9 Hz,高截止

频率为 11 Hz 的巴特沃斯带通数字 IIR 滤波器对原始波形进行滤波,从滤波后的波形和频谱图可以看出滤波效果良好,有效地抑制了波形中频率过高和过低的成分。通过信号输出设置可以调整采集卡输出信号的各项参数,通过开关控制信号输出的状态,开关打开时数据采集卡将输出滤波后的信号。

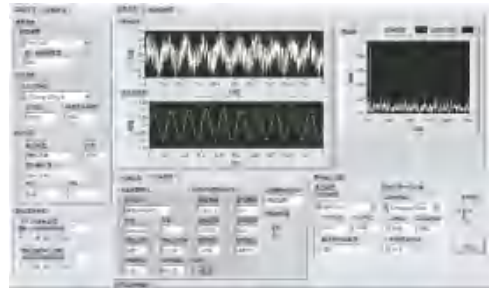


图 7 数字滤波器实验前面板

Fig. 7 The front panel of digital filter experiment

4 结束语

本文基于 LabVIEW 开发环境设计并实现了虚实结合的信号分析与滤波实验系统。系统通过数据采集卡实现实际信号的采集和输出,通过 LabVIEW 编程实现各项实验功能,达到软硬件相结合的目的,实验系统操作简便,显示直观,可以很好的完成虚实结合的实验项目。

本文主要以频谱分析实验和数字滤波器实验为例做了相关的介绍。系统的可拓展性强,可以根据实际的需要,利用相同的技术加入新的实验模块,在已有功能模块的基础上构建新的实验项目,缩短开发时间并降低开发成本。虚实结合实验系统的建设是对实验教学的有益补充,综合了实体实验和软件仿真实验的优点,在节约教学资源的同时有效提高实验教学效果,具有良好的发展前景。

参考文献

- [1] 王开宇,卢诚,姜艳红,等. 基于 Multisim 和 LabVIEW 的虚实结合数字电路实验教学[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(02): 140-143, 159.
- [2] 郭俊美,刘海英,等. 基于 LabVIEW 信号分析与处理实验系统的设计[J]. 科技视界, 2018(7): 28-30, 44.
- [3] 朱燕. 基于 LabVIEW 的虚拟频谱分析仪研究[J]. 电子设计工程, 2015, 23(18): 180-182.
- [4] 吕昌远. 基于 LabVIEW 的虚实结合远程模拟电路实验平台设计[D]. 东南大学, 2016.
- [5] 周志坚,颜培荣,冯雪,等. LabVIEW 和 ARM 虚实结合的模拟电路实验平台[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019, 19(7): 47-50, 77.
- [6] 白洁. 基于 LabVIEW 的虚拟数字滤波器的实验设计[J]. 高校实验室工作研究, 2014(3): 26-28.
- [7] 宁芬,周庆华,唐立军,等. 基于 LabVIEW 与 Access 的虚拟实验教学系统[J]. 智能计算机与应用, 2016, 6(5): 81-84.
- [8] 郝丽,赵伟. MAX、DAQ 助手及 DAQmx VI 之间的逻辑关系[J]. 实验室研究与探索, 2012, 31(6): 82-85.