

DOI:10.16652/j.issn.1004-373x.2023.07.027

引用格式:宋爱娟,张国荣,袁重焕,等.基于数字孪生的LabVIEW与传感器融合实验平台的研究与创新[J].现代电子技术,2023,46(7):149-154.

基于数字孪生的LabVIEW与传感器 融合实验平台的研究与创新

宋爱娟, 张国荣, 袁重焕, 孟范伟

(东北大学秦皇岛分校, 河北 秦皇岛 066004)

摘要:针对当前传感器检测实验教学面临的问题与挑战,结合检测实验室现状和国家创新型人才培养趋势,面向学生能力培养,设计了基于LabVIEW的多通道传感器实验平台,建立检测技术与虚拟仪器融合实验室。实验平台根据传感器实验具体要求设计相应功能,借助虚拟仿真技术,把复杂场景和传感器检测电路搬进检测技术与虚拟仪器融合实验室,对检测技术实验课程进行教学改革。平台拥有数据访问、整合和转化能力,在虚拟中再现传感器检测的核心要素,为数字孪生过程控制制造系统提供良好的数字化检验测量系统。此外,实验平台功能齐全,可以作为虚拟仪器教学过程中的课堂实验演示系统和学生编程练习系统,有利于课堂实践环节的展开。融合实验室采用了应用型学科教育模式和四位一体的管理方式,全面深化传感器检测和虚拟仪器课程与工程实践之间的联系,为工业化人才培养提供了参考导向和模板。

关键词: LabVIEW; 传感器检测; 教学改革; 融合实验室; 人才培养; 产学研融合; 数字孪生; 演示系统

中图分类号: TN919-34; TP212; G642

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2023)07-0149-06

Research and innovation of LabVIEW and sensor fusion experiment platform based on digital twinning

SONG Aijuan, ZHANG Guorong, YUAN Chonghuan, MENG Fanwei

(Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: In allusion to the problems and challenges faced by the current sensor detection experiment teaching, the current situation of the detection laboratory and the national innovative talent training trend, and the purpose of students' ability training, a multi-channel sensor experiment platform based on LabVIEW is designed, and a fusion laboratory of detection technology and virtual instruments is established. The experimental platform can design corresponding functions according to the specific requirements of the sensor experiment. With the help of virtual simulation technology, the complex scene and sensor detection circuit are moved into the detection technology and virtual instrument fusion laboratory to carry out teaching reform on the detection technology experiment course. The platform has the ability to access, integrate and transform data, reproduce the core elements of sensor detection in the virtual environment, and provide a good digital inspection and measurement system for the digital twin process control manufacturing system. The platform has the ability to access, integrate and transform data, reproduce the core elements of sensor detection in the virtual environment, and provide a good digital inspection and measurement system for the digital twin process control manufacturing system. The experimental platform has complete functions, which can be used as the classroom experiment demonstration system and student programming practice system in the process of virtual instrument teaching, and is conducive to the development of classroom practice. By adopting the application-oriented discipline education mode and a four-in-one management mode, the fusion laboratory can comprehensively deepening the connection between sensor detection and virtual instrument courses and engineering practice, and provide a reference guide and template for the cultivation of industrial talents.

Keywords: LabVIEW; sensor detection; teaching reform; fusion laboratory; personnel training; industry-university-research integration; digital twinning; demonstration system

收稿日期:2022-10-07

修回日期:2022-10-25

基金项目:国家自然科学基金区域基金(12162007);2018年教育部产学研合作协同育人创新创业教育改革项目,东北大学秦皇岛分校一流实验项目(2021YLSYXM-B02);东北大学秦皇岛分校教学研究与改革项目(2019JG-A06);2018—2022年教育部高等学校自动化类专业教学指导委员会第三批教改研究面上项目:自动控制原理一流课程建设研究与实践(2019B02)

0 引言

“十四五”在《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》^[1]的报告中明确提出:“坚持创新驱动发展,全面塑造发展新优势”将被认为是未来高校发展的一项重大任务。高校自身的创新能力必须进一步加强,其着重强调应用型、创新型人才的培养^[2]。2019年,新型冠状病毒肺炎疫情的爆发和春季开学的延期,进一步导致了该学科教学陷入瓶颈。受“停课不停学、停课不停教”在线教学的启发,传感器技术实验教学开启信息化变革之路^[3]。

传感器检测技术及应用是一门综合性的测量与测控系统研究课程,涉及的学科类别范围广泛,而且传感器的类型多样,相关计算公式繁复,需要开展相关实验才能取得较好的教学效果。在当前的实验室中,实验主体是由各种具体的实验课程组成。所需要使用的测量设备以传统仪器固件,如示波器、数字信号发生器、滤波器、频率表等为主^[4]。尽管上述实验教学方式有一定作用,但存在着一些缺陷:学生在实验中操作复杂的实验平台时,经常无从下手;学生对于各种实验原理与方法也似懂非懂,更多地依赖于教师的讲解和演示教学;不熟悉如何连接调试具体的实验硬件,很容易损坏设备^[5-8]。

大数据时代虚拟仿真在测量控制专业实验教学过程中的重要性日益突出,利用计算机平台将其他领域与虚拟仿真相结合以创造新布局的战略已成为创新的主要动力,形成了以本科生为主体的创新实验改革。通过对全国高校课程体系和人才培养计划进行调研,并结合东北大学秦皇岛分校创新创业教育改革经历,尝试了以虚拟仪器为基础的传感器应用型教育模式革新,综合应用检测实验室的实验设备,搭建基于LabVIEW的多通道传感器数据处理实验平台,建立检测技术与虚拟仪器融合实验室^[9-10]。

1 实验室实施基础与管理架构

1.1 具体实施方案^[11]

目前实验室现有YL610传感器实验台,配套多种传感器模块以及配有PCI接口卡的计算机等设备,通过研究、查阅资料等充分调研,利用现有设备完全可以实现将虚拟仪器和传感检测实验室资源进行整合。图1是所设计的基于LabVIEW的多通道传感器数据采集平台结构。在LabVIEW界面进行G语言编程,将数据经计算由RS 232或RS 485总线传输到数据采集卡、YL610和测量电路模块上,完成基于LabVIEW的实时闭环PID

控制功能;相反,YL610将数据传输给PCI数据采集卡,通过总线接口经计算后显示到LabVIEW界面,并进行相应的数据处理和分析,从而实现对传感器实验数据的采集和分析,并自动生成报告,在一定程度上实现了实验教学的可视化和无纸化。

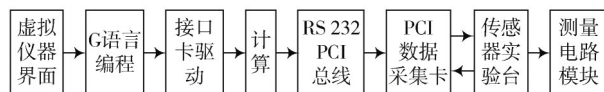


图1 实验平台数据通信

将LabVIEW实验项目与传感器技术有机融合。目前LabVIEW数据采集检测项目在工业领域应用较广泛,而目前虚拟仪器仍以软件学习为主,根据多功能数据采集卡的PCI通信协议,结合实验台的温度、转速等被控参数,使用虚拟仪器LabVIEW完成温度、转速等被控对象的实物闭环控制。

根据LabVIEW的自身特点,实验平台的总体设计分为前面板和程序框图,分别相当于传统实验仪器的外部控制面板和内部电路。所以每项实验都应该包含硬件和软件两部分,其中硬件部分使用现有YL610提供的各类传感器模块和其相应测量电路:

1) 前面板设计:前面板是人机交互窗口(Human Machine Interface, HMI),主要用于实验参数的设定和结果显示。

2) 硬件电路的搭接:硬件电路采用YL610提供的传感器模块,搭接检测信号的调整转换电路,将所采集的非电量进行电量转换,通过接口卡送给计算机,作为虚拟仪器的信号输入。

3) 网络平台设计:采用LabVIEW网络通信技术实现远程控制和访问。

1.2 组织架构

在完成上述实施方案后,团队组织设计了基于LabVIEW的传感器检测实验项目脚本的实验项目报告,并且根据脚本内容构建了实验平台理论框架,实地拍摄实验室内部结构照片,并以此初步完成了基于该模型的检测技术与虚拟仪器融合实验室的建设。如图2所示,检测实验室采用“四位一体”的管理方式,“四个管理”涉及考核管理、课程管理、资源管理和学生管理。

1) 考核管理

实验室考核主要包括对学生绩效考核和平台实操两部分:绩效指实验任务的完成度、实验数据的准确性和实验报告的优秀程度;平台实操包括学生对实验平台的熟悉程度和操作水平的评估。

2) 课程管理

实验室主要进行传感器检测类和虚拟仪器

LabVIEW 两门实验课。现将两门独立的实验课程相结合,传感器检测实验课将利用实验平台完成以下实验任务:虚拟仪器小型电子秤系统设计、虚拟仪器霍尔传感器的位移测量、虚拟仪器电容传感器的位移测量、虚拟仪器电机转速控制系统设计和虚拟仪器热电偶测温实验等;虚拟仪器实验课在熟悉基本软件知识后,学生使用 LabVIEW 搭建简单的实验平台,完成对上、下位机的数据传输,与工程实际相联系。在此基础上,对现有平台进行自主设计和开发,例如设计智能温度控制器等,进一步完善实验室的功能。

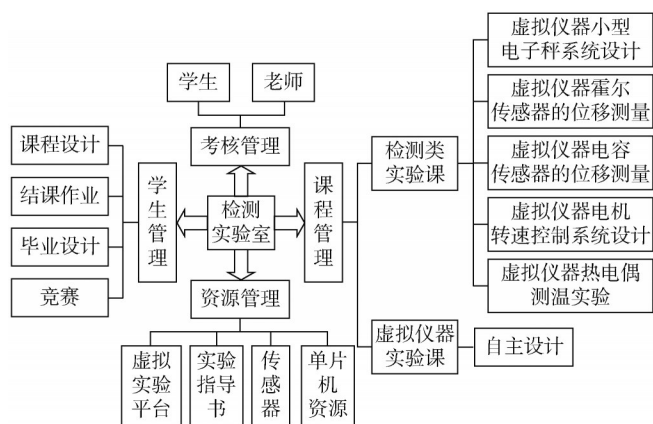


图2 融合实验室“四个管理”

3) 资源管理

实验室建立有指导性文献、信息、辅助工具资料库和上位单片机资源库等数据库。数据库管理主要采用“师生共管”的方式,教师和学生实时对其更新换代、与时俱进,提升其对学生实验的辅助程度,努力从跨学科研究的角度寻找新颖、独特的视角,不断取得新的突破。

4) 学生管理

在老师的指导下,学生可以在实验室完成单片机、传感器、虚拟仪器的课程设计和结课作业,改变以往以仿真为主体的设计,更加贴合工程实际。同时,也可以为本科生毕业设计提供良好的平台,减少学生因信息不对等、设计结果质量标准不明确等主观因素造成的不必要的工作量及压力负担^[12]。此外,实验室还能定期在校园内举办电子竞技,涵盖测控技术、机械工程、自动化、电气工程等专业,以提高学生的实践动手能力,培养社会需要的人才。

2 实验平台设计与实现

2.1 平台总体设计基础^[13-14]

平台总体层次框架如图3所示,进行横纵划分,实现逻辑上的数据通信与传输。纵向分为两部分:主机是计算机,包括应用程序 LabVIEW 与应用接口软件

NI MAX(Measurement & Automation Explorer);设备包括传感器电路模块、实验台 YL610 和 RS 232 总线接口。横向分三层:功能层、逻辑层和 PCI 总线接口层。功能层即前面板,完成与学生的人机交互;传感器、实验台和软件三者相连,使用 LabVIEW 完成相应参数设置,启动测量信号的传输,前面板显示测量结果并对测量数据分析处理。逻辑层面向平台设计开发人员,硬件设计指各类传感器电路模块与实验台 YL610 的 PC 接口的连接。软件设计有两部分:应用接口程序 NI VISA 和应用程序 LabVIEW。设计开发人员使用 NI VISA 设置接口参数(波特率、数据位等),并以测量参数为分类依据,对 LabVIEW 前后面板设计以完成实验教学任务。

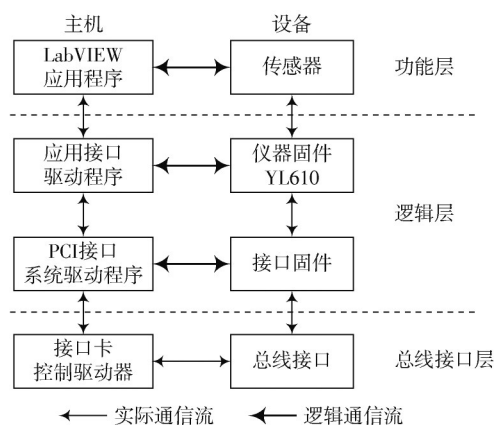


图3 平台总体层次框架

2.2 交流信号数据采集

按照实验步骤在前面板设置串口参数为 COM1,采样方式选择低频扫描,读取 PC 接口的幅值,相位整理成数组并编成 TXT 文本文件,分别保存在“采集数据.TXT”和“test.TXT”中,为下一步的信号处理做准备。图4是数据采集 VI 的后面板。

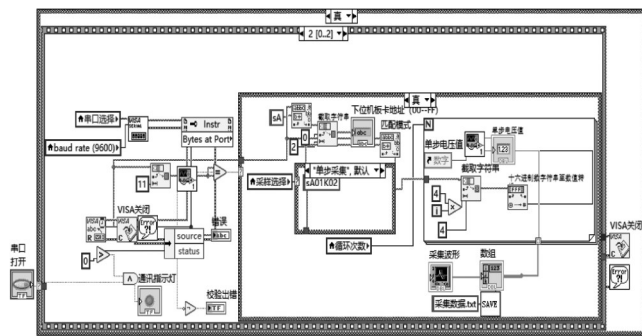


图4 数据采集 VI 后面板

2.3 动态参数测量

将 TXT 文件经 LabVIEW 的读取文件 VI 创建数组,设计后面板程序,求得扫频信号的动态特性。动态参数测量 VI 前面板如图5所示,在图中左侧路径中选择“采

集数据.TXT”,运行程序后得到图左所显示的幅值、高低状态电平、波峰个数以及出现位置、振幅、幅度相位等

数据(见图5左侧)以及交流信号扫频图、FFT幅频图和幅度图等(见图5右侧)。

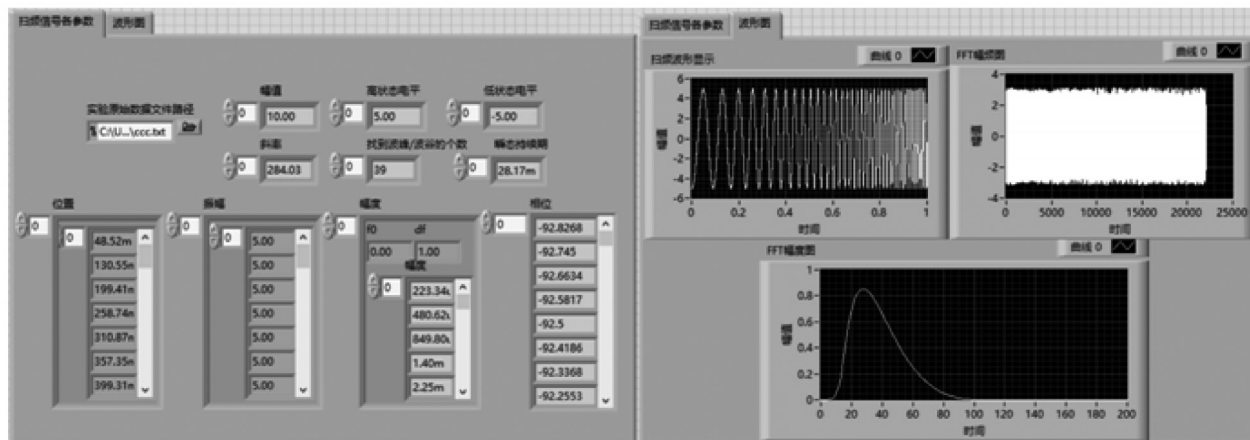


图5 前面板动态参数

2.4 信号滤波器^[15-16]

读取TXT文件并显示波形。之后使用“写入测量文件.VI”将波形保存为LVM文件,实现了基本的存储功能,反之则读取和显示LVM文件以实现波形回显。由于硬件基于PC机和COM口,所以滤波器的最大采样速率、带宽、分辨力等参数有所限制,而程序响应时间则取决于程序执行的效率以及计算机的配置。

实验平台使用数字滤波器,采用数字IIR滤波器对信号滤波,只要适当调节运算参数,即可改变滤波器特性,较好地抑制无用的信号分量,可靠性相对于硬件要高。数字IIR滤波器可以接入多个输入通道,高效完成信号滤波。滤波后,选择“显示波形”按钮将滤波波形和截波波形进行瞬态显示,选择“存储波形”将截波信号以LVM文件或BMP图片存储。选择“波形回显”按钮将选中的本地磁盘的LVM文件显示在波形图中。读取IIR的响应数据对信号进行幅频响应和相频响应分析,得到相应的特性曲线,完成频谱分析。

图6是滤波器前面板结构,图右为滤波器设置,可选IIR滤波器参数设置,左下为滤波器的相关信息,正中为显示区域,正上为显示界面的切换按钮,可分别显示截波波形、幅频、相频响应和截波波形回显(如图7所示)。正下为时间、幅度轴控制,文件保存选择按钮和停止按钮。

2.5 基于交流激励时霍尔式传感器位移特性实验的移相器和相敏检波器

使用霍尔式传感器模块并按实验指导书连接电路。霍尔实验流程图如图8所示,运行程序,配置接口参数,采集交流信号并复现波形。对信号单频测量得到待测的同频正弦波,经移相器移相得到参考信号,将两信号

相位进行对比,待测信号同向部分保持,反向部分取负向,完成相敏检波器功能(经过相敏检波处理后的待测信号下文成为检波信号)。之后对检波信号进行全波整流,经低通滤波器得到标准直流电压信号。多次调节螺旋测微头,使霍尔传感器产生位移,重复上述步骤,得出直流电压随位移的变化规律以及相移大小对其斜率的影响。

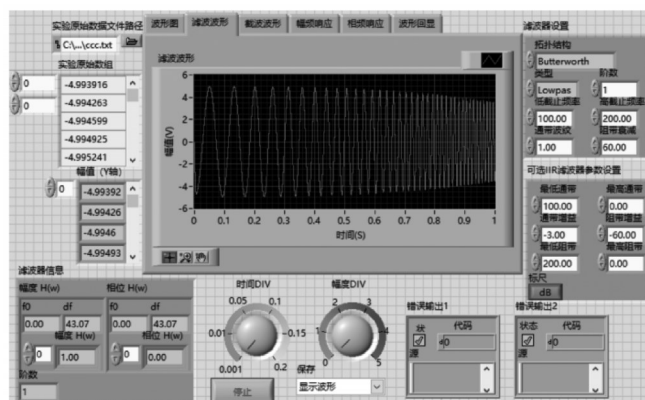


图6 滤波器前面板

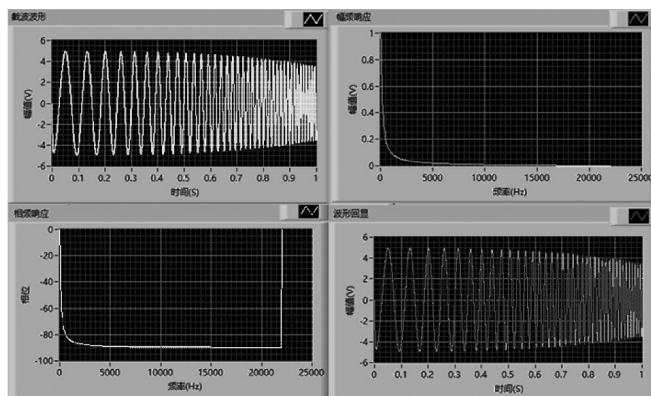


图7 响应曲线(依次为截波波形、幅频响应、相频响应和截波波形回显)

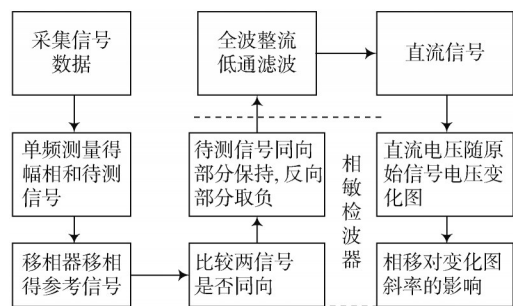


图8 霍尔传感器实验流程

如图9所示是该实验的前面板图,在图右下角区域配置所需同频正弦波的频率、初相和移相器的相位差,运行程序,得到同频采样图(见图9左下)、参考信号图(见图9中上)和检波脉动波形(见图9右上)。连续采集5次,最终得到直流电压与位移呈良好的线性关系(见图9中下XY图),并显示两者变化方程(见图9右下角“方程”字符框)。

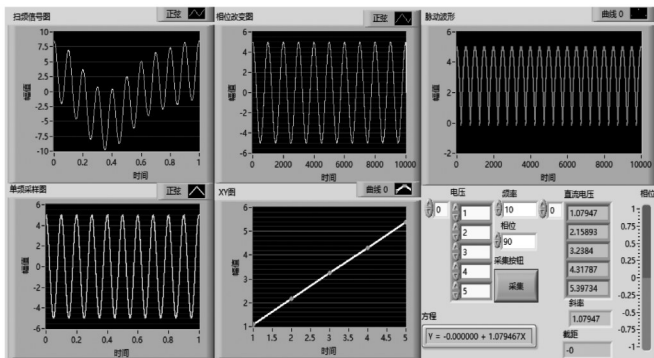


图9 霍尔实验VI前面板

最后将整个项目作成“相敏检波”子VI,如图10所示,将“实验原始数据文件路径”作子VI的输入,“波形图”“输入信号”“参考信号”“相敏检波信号”以及各种动态参数作为输出。

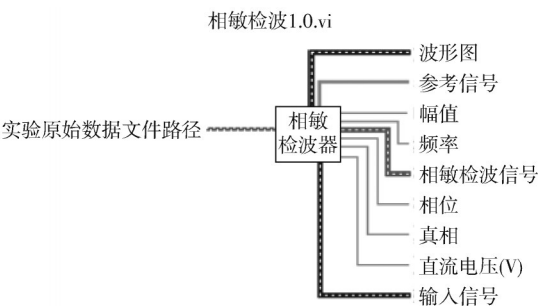


图10 相敏检波子VI

为了验证整体设计的性能,分别对其进行了移相性能测试和相敏检波性能测试。相位性能测试主要考核平台的移相能力;相敏检波性能测试主要考核平台所设计相敏检波器的准确程度。

1) 移相性能测试:调节螺旋测微头,使待测信号保持在振幅为 $A=1\text{ V}$,初相为 $\varphi=0^\circ$,频率 $f=10\text{ Hz}$ 的状态。运行程序,连续采集5次,采用控制变量法,改变移相器的相位差,得到的结果如表1所示。

表1 霍尔实验结果(一)

相位差/(°)	直流电压/V	实际电压/V	误差/%
135	-0.763 675	-0.763 675 323 681 5	4.238 4E-7
45	0.763 675	0.763 675 323 681 5	4.238 4E-7
0	-1.08	-1.08	0
-45	0.763 675	0.763 675 323 681 5	4.238 4E-7
-135	-0.763 675	-0.763 675 323 681 5	4.238 4E-7

从表1结果可以得出,直流电压与实际电压之间误差非常小,满足实验所需。

2) 相敏检波性能测试:螺旋测微头初始位移为 8 mm ,使待测信号保持在初相为 $\varphi=60^\circ$,频率 $f=10\text{ Hz}$ 的状态。采用控制变量法,调节螺旋测微头,用传统实验方法记下5个每转动 0.4 mm 时电压表读数,并与LabVIEW软件处理后得到的直流电压比较,结果如表2所示。

表2 霍尔实验结果(二)

X/mm	直流电压/V	实际电压/V	误差/%
2.2	0.056 0797	0.056	0.857
2.6	0.218 039	0.218	1.119
3.0	0.374 018	0.374	1.850
3.4	0.545 597	0.545	1.027
3.8	0.687 957	0.687	1.595

从表2结果可以得出,直流电压与实际电压之间误差非常小,并且都与螺旋测微头位移 X 呈线性关系,因此平台满足实验所需。

3 实验室的特色创新与未来发展

1) 相比于传统的实验室,融合实验室是在计算机的基础上,结合传感器硬件设备,融入工程实际需求的产物。它主要通过软件LabVIEW虚拟地对硬件进行仿真,对硬件产生的信息进行处理,使得传感器测试数据的采集、处理、分析等各方面取得了突破,整体向着网络化、高精度化方向迈进。

2) 以基于LabVIEW的多通道传感器数据采集平台为依托,利用LabVIEW对传感器特性进行分析和参数标定,让学生根据常见的电子元器件设计传感器,通

过具体的实验任务使学生提高发现问题、解决问题的能力,提升专业教育知行合一的粘合度。这样才能对传感器知识加深印象,达到良好的教学效果。

3) 实验室解决了传感器检测课程教学目的不明和工程实际应用重要程度之间的矛盾,每一个虚拟仪器实验都是为了测试某一个对象或参数的变化过程而设计。此外,虚拟仪器实验更加灵活多变,并且将两门独立的课程相结合有利于激发学生的实验学习兴趣,降低学习难度。学生可以通过不同的设计方法完成实验,将理论与实际充分结合。

4) 大大拓展了虚拟仪器的实际应用,摆脱了原来的虚拟仪器实验只是简单的、没有对象的、单一化编程教学,解决了以往虚拟仪器实验的单一性和独立性。

5) 涉及多学科知识的实验平台有多种学科的运用,上手难度大于原有的验证性实验,需要一定基础,也是对当下学生的要求,本平台没有完全覆盖交流激励下各个传感器模块复杂波形及其精确度的测定,在应对实验设备和线路老化等各种不可预测扰动下,需要在实际运用中不断积累和完善,进一步调整和完善。

4 结 语

本文利用LabVIEW编写程序,搭建基于LabVIEW的多通道传感器数据处理实验平台,建立检测技术与虚拟仪器融合实验室。完成与传感器检测实验任务匹配的采集程序、波形采集、滤波、复现、移相、相敏检波等功能,直观展现信号的动态特性,改进了实验处理方法,提高了学生实验完成的效率,证明了融合实验室的高效性和创新性,同时也是基于数字孪生的数字过程控制的产品虚拟模型在高精确度方向发展的重要一步。此外,实验平台作为虚拟仪器教学过程中的课堂实验演示系统和学生编程练习系统,解决了LabVIEW虚拟程序设计理论与实验课程相脱离的现状,完全适应现有教学实际。融合实验室现已投入教学使用,在传感器检测和虚拟仪器两个课程都获得了良好的反馈,成为课程设计、自主实验的开放教学实验室。

参 考 文 献

- [1] 王定华.为“十四五”高等教育高质量发展提供根本保证[J].中国高教研究,2021(4):1-3.
- [2] 戚玥尔.以创新思维与应用能力培养为导向的产品设计类课程教学改革与实践[J].设计,2021,34(7):78-80.
- [3] 李敏,孙莉,梁冉,等.基于医学检验虚拟仿真训练的创新教学实践[J].中国医学教育技术,2021,35(2):201-203.
- [4] 杨琳,刘皎,张娜,等.“四个一流”建设背景下地方高校教学改革与实践:以《电磁场与电磁波》课程为例[J].教学研究,2018,41(4):74-79.
- [5] 徐晓玲,余佼,张明辉,等.基于LabVIEW的传感器虚拟综合实验系统设计[J].实验室技术与管理,2019,36(2):134-136.
- [6] 张璐,王凯.高校本科论文过程管理“软硬一体化”改革研究:以天津两所高校教改实践为例[J].教育教学论坛,2020(51):32-33.
- [7] 王艳萍,马冲.智能传感器技术与虚拟仪器技术在测量仪器中的完美结合[J].中国计量,2006(4):51-52.
- [8] 袁嘉嵘.LabVIEW电子电路模拟仿真设计[J].电子技术与软件工程,2019(20):105-106.
- [9] CASTELLANOS-RAMOS J, TRUJILLO-LEON A, NAVAS-GONZALEZ R, et al. Adding proximity sensing capability to tactile array based on off-the-shelf FSR and PsoC [J]. IEEE transactions on instrumentation and measurement, 2020, 69(7): 4238-4250.
- [10] 付晓云.基于LabVIEW的正弦响应法状态滤波器动态特性测试研究[J].精密制造与自动化,2021(1):17-22.
- [11] 张家声,王广科,高一峰,等.基于LabVIEW的三分量地震数据采集系统设计[J].物探装备,2020,30(4):223-226.
- [12] 孙金平,刘爱丽,刘迢迢,等.基于LabVIEW的生物医学信号虚拟实验平台设计[J].电脑知识与技术,2021,17(5):96-98.
- [13] 杨波,彭志凌,邢联大,等.基于LabVIEW的电子血压测量仪[J].生物医学工程研究,2019,38(3):307-311.
- [14] 张家田,周超,严正国.基于LabVIEW的数字相敏检波器实现[J].现代电子技术,2012,35(16):143-145.
- [15] 李江全,刘恩博,胡蓉,等.LabVIEW虚拟仪器数据采集与串口通信测控应用实战[M].北京:人民邮电出版社,2010.
- [16] 张安莉,谢檬,郭月.基于LabVIEW的自动售货机系统设计[J].电子设计工程,2021,29(11):1-6.

作者简介:宋爱娟(1972—),女,河北卢龙人,硕士,高级实验师,东北大学秦皇岛分校控制工程学院教师,主要研究方向为过程控制系统、无线传感器网络应用、检测技术等。