

基于 LabVIEW 多通道应变采集系统设计

王世阳 毕祥军 王 平

(大连理工大学工程力学系 大连 116024)

摘 要:在大型力学实验中,需要采集到试件关键部位大量应变,为结构的设计和实验验证提供可靠的强度数据。因此基于虚拟仪器 LabVIEW,采用“生产者-消费者”同步数据采集结构,利用队列和通知技术,实现了对大型力学实验构件上百通道的数据采集。具有连续采集、定时采集、单点采集 3 种模式的应变数据采集功能满足实验不同测量需求,能够将采集到数据进行实时波形显示,以及数据的处理、记录、保存、历史数据回放。该多通道应变采集系统采用 TDMS 格式存储,每秒钟可获得上万个采样点。实验通过 120 Ω 的电阻测试表明,采集过程中系统运行稳定、可靠、高效,满足实验的各项需求。系统具有友好的人机交互界面,易于维护、升级和扩展,灵活性强。

关键词:LabVIEW;多通道数据采集;应变;生产者-消费者

中图分类号: TP319 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6099

Multi-channel strain acquisition system based on LabVIEW

Wang Shiyang Bi Xiangjun Wang Ping

(Department of Engineering Mechanics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: In the large scale mechanics experiment, we need to acquire a large amount of strain in the key parts of the specimen for providing reliable strength data for the design of the structure and the experimental verification. A data acquisition system based on virtual instrument LabVIEW, adopts “producer-consumer” structure based on the synchronous data acquisition, use queue and notification technology, and realizesthe data acquisition of the hundreds of channels on the large mechanical experiment. It has three kinds of mode strain data acquisition function includingcontinuous acquisition, timing acquisition and single point acquisition, and has the collected data wave-display and the processing of the test data, recording, preservation and recall. The multi-channel strain acquisition system adopts TDMS format to store, getting tens of thousands of sampling points per second. The experimental results show that the acquisition process is stable, reliable and efficient to meet the needs of the experimentthrough 120 ohm resistance test. It also provides a friendly human-machine interface. It is easy for system maintenance, upgrade, function expansion, and strong flexibility.

Keywords: LabVIEW; multi-channel data acquisition; strain; producer-consumer

0 引 言

随着我国航空航天事业的蓬勃发展,飞行器朝着大型化、多功能方向发展。在飞行器结构设计中,常常通过应变的测量研究结构的力学性能,从而为结构设计和实验验证提供可靠的强度数据^[1]。如果实验中不能足量的采集到关键部位的数据,有可能导致实验失败,尤其在动态加载过程中。山西大学的吕婷等人^[2]所做的基于 LabVIEW 应变信号的采集系统中,电桥平衡复杂,增加实验的复杂性。中北大学吴忠锴等人^[3]设计的基于 LabVIEW 应变

信号采集软件通道较少,不能满足大型实验的要求。而吴建等人^[4]设计的基于 LabVIEW 的多通道数据采集系统不能满足动态加载高效率的采样,也缺少针对应变采集的设计。所以一般的基于 LabVIEW 应变采集系统很难满足大型试件关键部位测量。

LabVIEW 是美国国家仪器开发的一个功能强大的虚拟仪器,其利用先进的计算机技术结合硬件实现不同功能的定制,实现对硬件的扩展。和传统仪器相比,虚拟仪器界面更友好、更灵活,易于仪器的使用、维护和功能扩展,打破了传统仪器功能的限制^[5-8]。本文采用美国国家仪器

NI 的 PXIe1085 机箱和 PXI4330 板卡联合 LabVIEW 上位机开发平台,对应变采集的关键技术进行了设计,能够采集上百通道的应变数据,每秒钟可获得上万采样数据。所形成的系统能很好的用于实验,为结构设计提供可靠的数据,具有积极的意义。

1 虚拟仪器测试系统硬件结构

系统所需的硬件设备主要有计算机、PXI 机箱、数据采集卡。其中 PXI 机箱为美国国家仪器 NI 公司推出的 PXIe1085 机箱,它是一个具有高宽带、混合背板特点 18 混合插槽的机箱,内置 10 MHz 的参考时钟,能够满足高性能、广范围的测量测试需求。其中数据采集卡为 PXIe4330 采集板卡,一块板卡提供了 8 个模拟输入采样通道,可以和桥式应变计和其他基于惠斯通桥路的传感器交互,支持的采样率最高可达 25.6 KB/S。美国国家仪器 NI 公司推出的数据采集卡采用内置式驱动,无需编写适用于 LabVIEW 的接口驱动程序,直接插入 PXI 机箱即可使用^[9]。

本采集系统以 NI 公司的 LabVIEW2013 为上位机开发平台,结合 NI 公司的 PXI 机箱和数据采集卡作为虚拟仪器硬件系统的设计。本系统能够实现上百通道的模拟信号的采集,每秒钟可采集到上万个数据点,具有连续采集、单点采集、定时采集 3 种采样模式,能够根据实验的不同需要选择不同的采集样式。同时也能对采集到的信号进行实时显示,以及完成对信号的处理。该系统以 14 块 PXIe4330 采集板卡即 112 通道进行同步数据采集的演示,如果需要更多的通道,只需在机箱插入更多 PXIe4330 板卡进行同步即可。虚拟仪器测试系统的结构如图 1 所示。

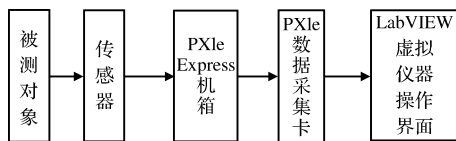


图 1 虚拟仪器测试系统的结构

2 系统软件设计

2.1 软件的结构和功能

LabVIEW 程序由前面板、框图和图标组成,不同于其他编程的文本语言,LabVIEW 用图形语言进行编程。其中前面板是一个窗口,用户通过它与程序交互,而框图是真正可执行的代码。该测试系统体现了虚拟仪器的思想,软件即仪器。

在 LabVIEW2013 开发平台上,按照模块化设计方法,该测试系统能够按照实际需求,以单点采集、定时采集、连续采集 3 种方式完成对模拟信号的过滤、采集。同时该系统前面板提供了人机交互的界面方便用户设定采集时所需的参数;能够以数字和图像两种方式实时显示采

集到的数据;能够在前面板进行简单的输入对实验描述,数据和实验描述以 TDMS 格式进行储存,以 Excel 打开形成简单的报告;能够根据实际需要来回放、提取数据。虚拟仪器数据采集系统软件程序结构如图 2 所示。

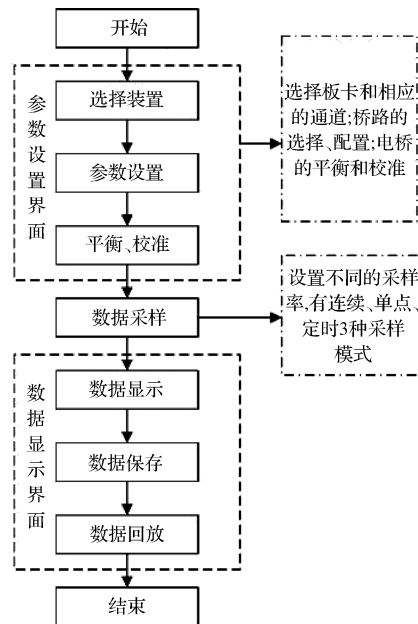


图 2 系统软件程序结构

2.2 软件关键功能的实现

2.2.1 电桥平衡

电桥平衡是应变采集非常重要的一个环节,对采集到的数据的精度和可靠性有非常重要的影响。如果不消除电桥的误差,就不能为后续结构的设计提供可靠的数据。软件通过 LabVIEW 平台的电桥归零和分流校准 API 实现电桥的归零。其中分流校准可以修正电桥内部电阻引起的误差。如果在运行过程中出现未平衡的通道,程序中的错误处理会提示未平衡的通道。

2.2.2 数据采集

该数据采集系统为了方便用户更好与程序交互,采用事件驱动编程——事件结构。事件通常指的是 GUI 事件,但这里指的是前面板控件值的变化^[10]。每当用户执行一个事件,事件结构可以及时的与相应程序框图进行交互,而未响应的程序处于休息状态,减少了 CPU 的消耗。

该数据采集系统软件遵循模块化编程,利于各个模块同步采集、处理数据,因此采用“生产者-消费者”结构^[11]。产生数据的模块成为生产者,处理数据的模块成为消费者。“生产者-消费者”结构常采用队列实现^[12]。通常情况下,元素入队列称为“生产者”,元素出队列称为“消费者”。“生产者-消费者”结构可以有多个生产者和消费者,每增加一个生产者-消费者,则必须为其创建相应的队列结构。队列是 LabVIEW 常用的消息结构之一,是一种先进先出的消息结构。该软件采用的“生产者-消费者”结构,其是

该软件的基本框架。上边的循环是“生产者”，产生软件操作过程中的各种命令，比如采集、停止、保存等。中间的循环是“消费者”，具体是实现数据的连续采集，下面的循环是“消费者”，具体是实现单点采集、定时采集和保存回放功能。

在“生产者-消费者”结构软件框架的前提下，数据采集系统实现了连续采集、定时采集和单点采集3种采样模式。采集开始后，系统会不断的采集数据，连续的采集显示整个实验过程中的数据变化。但在实际过程中，可能仅仅需要关键节点处的数据（比如分级加载），不需要采集整个过程的数据，避免数据处理的复杂，因此需要单点采集和定时采集模式。所以在“生产者-消费者”结构架构下，利用通知消息结构^[13]。通知是LabVIEW提供的一种数据同步操作的技术。借助于通知数据同步操作技术，可以让连续产生的数据不断的进入通知器中，但是仅当操作者执行单点采集和定时采集时，才会将实验所需的数据进行入队列保存。在实验过程中，不管选择何种采样方式，采集到的数据都会先以入队列的形式保存，最后选择保存按钮时，数据会统一的出队列，通过TDMS方式保存，避免3种采样方式保存的混乱。

该采集系统能够实现112通道应变采集，一个PXIe4330采集板卡只有8个通道，因此需要多个数据采集板卡同步来实现更多通道扩展。同步测量是所有的测量通道共用一个时钟信号，并在同一时刻开始。两个通道的同步设置是上面通道为主设备，下面通道设置为从设备，为了充分利用LabVIEW多线程技术，通道的同步采用并行编程，这样多个线程可以同时执行，从而可以以最少的时间完成更多的任务^[14-15]。为了实现同步，需要通过设置定时属性节点来共享PXI背板上10 MHz的参考时钟，最后两组通道配置相同的触发信号，完成所有通道的同步^[16]。若需要更多的模拟输入通道，遵循两通道的从设备的配置进行并行。程序实现过程中需要借助于的“生产者-消费者”框架来实现整个程序的有机结合，这样就需要将同步的程序打散成初始化、采集和结束采集几部分嵌套入中间的“消费者”。

2.2.3 数据存储

数据存储模块采用高效的数据存储格式TDMS^[17]。TDMS文件能够为数据分组创建新的数据结构、创建定制的数据信息、进行高效的数据读写。TDMS数据文件模型包含多个组，每个组包含多个通道，属性都是可以定制的。特别的是，TDMS格式文件方便添加描述性的工程信息，例如测量单位、测量者的姓名、测量试件的具体描述等。因此完成存储的数据有简单报告的效果。同时TDMS格式文件能够在Excel中加载项选项中打开，方便实验数据的查看和处理。

数据存储的部分，是“生产者-消费者”架构中的一个消费者，主要任务是进行保存，这样数据的采集和保存是

分开的，方便数据操作。前面采集到的所有的数据都进行了入队列，此时的保存是让所有的数据出队列，按照定制的方式进行TDMS方式保存。在前面板中设置存储路径，输入测试项目描述信息，就可以保存测试数据。考虑到现场测试时间的重要性，该系统软件能够保存每个测试数据的时间。

2.2.4 数据回放

数据回放模块采用读取已经保存为TDMS格式的数据，能够实现整个数据的回放，或者提取某一组数据、某一个通道的数据。数据回放时。选择提取文件的路径，使用“TNDM文件读取”函数读取文件，使用“TDMS文件关闭”函数关闭文件。考虑到测试中，有时需要观察特定时间段的数据，该模块能够依据之前保存数据的时间提取具体的数据信息。

3 软件前面板

参数设置模块能够设置不同数据采集板块的参数。每块数据采集板卡参数设置界面主要有物理通道的设置，数据采集的最大最小值，电桥信息的配置（桥路类型、导线电阻、电压激励源选择、电压激励值）、应变计信息设置、分流校准。设置好的参数会显示在前面板上。

控制和显示模块设置界面主要有连续采集、单点采集、连续采集3种模式选择。开始采样前，需要设置好采样模式、采样率，启动桥路调零和分流校准。采集完成后，选择保存的路径，添加测试描述，可以将数据以TDMS格式保存数据。系统的操作界面如图3所示。

4 实验测试

4.1 测试原理

实验中采用的实验对象是阻值为120 Ω 的电阻。在力学实验中，试件表面所贴的应变片电阻也常常是120 Ω 。选择桥路的连接方式为1/4桥，接线方式与实际情况相同。

测试时，设置采样率为20 000，选择1/4桥配置，设置分流校准和电桥平衡，开始采集数据。采集开始后，板卡采集到的对应通道的数据能够实时的显示在图3的面板中，而且能够透过图形实时监测数据的变化情况。

4.2 测试结果

在现场，PXI1085机箱中插入14块4330板卡，总共112个通道，接入112个固定值电阻。让系统连续运行，保存数据。实验采集到的数据如图4所示，因为连接的是惠斯通电桥，所以单位都是应变，用Excel表格打开，可以看到采集到的数据精度高。

在采集过程中，系统长时间运行过程中，系统表现稳定，各项数据均能准确的实时显示到面板中。停止采集后，数据能成功的保存在文件中而且数据完整，没有出现数据丢失的现象。



图3 操作界面

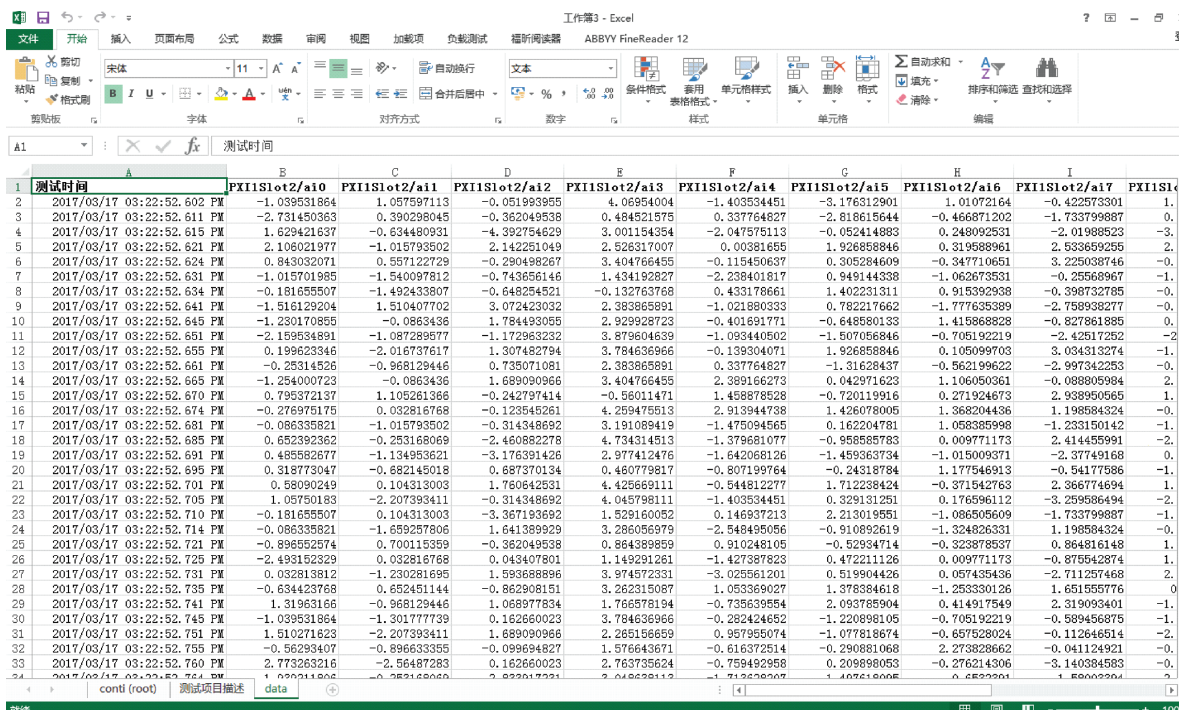


图4 实验数据

5 结论

借助于虚拟仪器 LabVIEW 上位机开发平台,结合 NI 公司 PXI1085 机箱和 PXIe4330 板卡,完成了多通道应变采集系统的设计。

该系统采用“生成者-消费者”模型,实现了连续采集、单点采集、定时采集 3 种采集方式,能够完成一百以上通

道数据采集。在数据存储方面,采用 TDMS 存储格式,能够对测试件添加描述性信息,而且能够对历史数据进行回放、查询。在系统工作时,能够准确的实时显示采集到的数据,并且该系统可以通过增加板卡的数量很容易实现对通道的扩展。和传统的仪器相比,该系统开发时间短、灵活性强、易于扩展、维护和升级。

参 考 文 献

- [1] 江礼鹏,王宏宇.一种用于结构静力试验的电液伺服控制加载系统[J].机械制造与自动化,2013,42(6):170-172.
- [2] 吕婷,郑德聪,潘荣超,等.基于LabVIEW的应变信号采集系统设计[J].山西农业大学学报:自然科学版,2012,32(4):36-47.
- [3] 吴忠锴,马铁华,梁志剑.基于LabVIEW的力学应变采集软件设计[J].电子测试,2012(12):56-60.
- [4] 吴建,裴峰,王珺楠,等.基于LabVIEW的多通道数据采集系统设计[J].电子测试,2013(Z1):52-54.
- [5] 程金光,张荣福,郁浩,等.基于LabVIEW的声音数据采集分析系统[J].电子测量技术,2016,39(2):94-98.
- [6] 梁忠仔,姜金辉,陈洋,等.基于LabVIEW的智能语音控制振动数据采集系统设计[J].国外电子测量技术,2017,36(2):63-68.
- [7] 刘琦,晋良念,张燕,等.超宽带雷达人体呼吸在线检测系统设计[J].电子测量与仪器学报,2016,30(10):1606-1614.
- [8] 俞宙,李静,魏亚峰,等.基于虚拟仪器的高速混合信号自动测试系统设计[J].仪器仪表学报,2016,37(增刊1):94-101.
- [9] 王智,李智.基于LabVIEW改进状态机的数据采集系统设计[J].微型机与应用,2014(7):10-12.
- [10] 万文略,崔冰波.LabVIEW在测控系统登录与管理中的应用[J].自动化仪表,2012,3(4):30-34.
- [11] 王维喜,李智.基于生产者/消费者设计模式的连续音频信号采集系统[J].现代电子技术,2009,32(7):129-132.
- [12] 张素萍,李朝强.基于MSComm和队列技术的LabVIEW数据采集系统设计[J].国外电子测量技术,2016,35(6):86-91.
- [13] 姚兰,刘鹏.基于LabVIEW的太阳能数据采集软件系统[J].仪表技术与传感器,2012(3):103-105.
- [14] 刘世杰,王雅萍,朱目成,等.基于LabVIEW平台的数据采集与处理系统[J].煤矿机械,2010,31(1):155-158.
- [15] 徐琪,刘平,曾禹乔,等.基于LabVIEW的单向阀振动信号采集关键技术设计[J].电子测量技术,2016,39(11):118-121.
- [16] 陈国凡,张伟,杨洪涛,等.基于LabVIEW和声卡的数据采集同步控制系统[J].仪表技术与传感器,2012(10):82-84.
- [17] 刘自然,甄守乐,颜丙生,等.基于TDMS的海量振动数据快速存储和查询虚拟系统[J].组合机床与自动化加工技术,2013(9):88-91.

作 者 简 介

王世阳,硕士研究生在读,主要研究方向为基于虚拟仪器多通道数据采集和多点协调力学加载系统研究。

E-mail:750636410@qq.com

毕祥军,副教授,硕士生导师,主要研究方向为精细化离散元海冰数值预报系统研究与应用。

E-mail:dllgwsy@163.com

王平,讲师,硕士生导师,主要研究方向为多孔介质流固耦合问题的多尺度格子 Boltzmann 模拟。