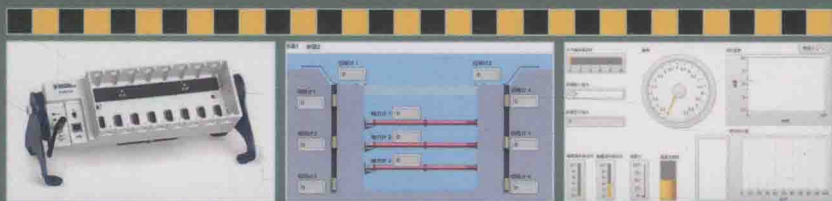


LabVIEW

虚拟仪器设计与 工程安全测控



主编 | 任高峰 张聪瑞



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

LabVIEW 虚拟仪器设计与 工程安全测控

主 编 任高峰 张聪瑞
副主编 王公忠 赵 亮
主 审 姜午阳



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

LabVIEW 虚拟仪器设计与工程安全测控/任高峰,张聪瑞主编.—武汉:武汉大学出版社,2019.7

ISBN 978-7-307-20976-3

I.L… II.①任… ②张… III.软件工具—程序设计
IV.TP311.56

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 119422 号

责任编辑:郭芳 责任校对:李晶 装帧设计:吴极

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮箱: whu_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷: 北京虎彩文化传播有限公司

开本: 720×1000 1/16 印张: 12.75 字数: 226 千字

版次: 2019 年 7 月第 1 版 2019 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-20976-3 定价: 75.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

近年来,“中国速度”多次惊动国内外媒体,中国基建规模与速度令西方刮目相看,中国已成为世界上重大工程建设最多的国家,如何保障这些重大工程的施工过程安全和运营期安全,实现工程“全生命周期”安全监测,成为新时期安全工程人员的新命题。

虚拟仪器技术诞生于 20 世纪 80 年代,经过 30 多年的不断发展和进步,美国 NI 公司以其在虚拟仪器领域长期、系统、有效的研发,使 LabVIEW 软件成为使用最为广泛的虚拟仪器软件。LabVIEW 是图形化开发环境语言,又称 G 语言,它结合了图形化编程方式的高性能与灵活性,具有专为测试、测量与自动化控制应用而设计的高性能模块,能为数据采集、仪器控制、测量分析与数据显示等各种应用场景提供必要的开发环境。

为扎实推进“双一流”建设,培养新时代创新创业人才,持续深化课程教学改革,编者将现代计算机技术和电子测控领域的先进技术融入课程教学。本书立足工程安全测控这一核心命题,以现代传感器技术和虚拟仪器技术融合为特色,从数据采集、传输、分析等角度阐述如何利用虚拟仪器软件开展程序设计,激发学生自主学习、自主设计的意愿,培养学生初步具备开发工程安全测试系统的能力。

本书分为 8 章,第 1 章、第 2 章为虚拟仪器的发展历程与测试测量技术基础知识;第 3 章和第 4 章分别介绍了 LabVIEW 的开发平台、数据类型和程序结构;第 5~7 章面向工程安全测控领域的数据采集和传输等问题,讲述了状态机编程模式、数据存储技术和生产者/消费者编程模式;第 8 章设置了多个基于实际工程背景的编程案例,具体为基础数据采集、矿井通风系统的远程监控和复杂基坑工程的安全监测。本书可作为高等学校安全工程、矿业工程、自动化工程等专业的教材或参考书,也可供从事安全监测工作的技术人员学习使用。

本书由武汉理工大学任高峰、张聪瑞担任主编,河南工程学院王公忠、武



汉理工大学赵亮担任副主编,德国菲尼克斯电气集团 LabVIEW 技术专家、PLC 资深控制技术专家姜午阳担任主审。第 1~3 章由任高峰编写,第 4~5 章由张聪瑞编写,第 6~7 章由王公忠编写,第 8 章由赵亮编写。

本书的出版得到矿业工程国家级实验教学示范中心(山东科技大学)开放基金(KYSF20180101)的资助,在此特别鸣谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不当和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2019 年 5 月 25 日

目 录

1 虚拟仪器概述	1
1.1 仪器的演化	2
1.2 虚拟仪器硬件系统	5
1.2.1 虚拟仪器产生的背景	5
1.2.2 虚拟仪器的发展	5
1.3 虚拟仪器软件系统	7
1.3.1 基于计算机的数据采集系统	8
1.3.2 使用 LabVIEW 进行数据分析	12
1.3.3 使用 LabVIEW 显示和存储数据	13
2 测试测量技术基础	17
2.1 信号、传感器和信号调理概述	17
2.1.1 信号概述	17
2.1.2 传感器概述	21
2.1.3 信号调理概述	22
2.2 DAQ 硬件和软件	23
2.2.1 DAQ 硬件概述	23
2.2.2 DAQ 软件概述	23
2.3 模拟输入	27
2.4 模拟和数字触发	34
2.5 信号调理	36
2.6 信号处理	39
2.7 数字 I/O	43
2.8 计数器	45
2.9 同步	53



3 LabVIEW 开发平台介绍	58
3.1 LabVIEW 的安装	58
3.2 VI 的组成部分	59
3.3 基础操作介绍	64
3.3.1 启动 VI	64
3.3.2 搜索	66
3.3.3 浏览选板	67
3.3.4 选择工具	70
3.3.5 数据流	73
3.3.6 创建一个空白 VI	74
3.3.7 创建一个模板 VI	77
3.3.8 打开已有 VI	78
4 数据类型与程序结构	80
4.1 数据类型	80
4.1.1 数值控件	80
4.1.2 布尔控件	82
4.1.3 字符串和路径控件	82
4.1.4 下拉列表与枚举控件	84
4.1.5 数组控件	85
4.1.6 簇控件	86
4.2 程序结构	89
4.2.1 顺序结构	89
4.2.2 选择结构	91
4.2.3 循环结构	93
4.2.4 事件结构	95
4.3 数据类型与程序结构范例	98
4.3.1 数据类型范例	98
4.3.2 程序结构范例	101
5 状态机编程	104
5.1 状态机	104
5.2 同步技术	111
5.2.1 变量	111
5.2.2 队列	131



5.3 控制用户界面	138
5.3.1 属性节点	138
5.3.2 调用节点	143
5.3.3 VI 服务器架构	144
5.3.4 控件引用	145
6 存储技术	148
6.1 LabVIEW 中常用的数据库访问方式	148
6.1.1 测控数据与 LOBS 数据	149
6.1.2 LOBS 数据在数据库中的存储形式	150
6.1.3 BLOB 数据在数据库中的存储	150
6.2 文件 I/O	152
7 生产者/消费者事件编程	158
8 工程安全测控案例	163
8.1 数据采集	163
8.1.1 背景	163
8.1.2 主界面	163
8.1.3 采集界面	163
8.1.4 回放界面	168
8.2 金山店铁矿井下通风远程集中监控	170
8.2.1 背景	170
8.2.2 登录模块	170
8.2.3 实时监测显示	173
8.2.4 风机远程控制模块	174
8.2.5 用户管理模块	178
8.2.6 数据回放模块	180
8.2.7 实时报警	185
8.2.8 退出系统	187
8.3 基坑工程施工安全与智能监控	187
8.3.1 背景	187
8.3.2 登录模块	187
8.3.3 参数配置模块	189
8.3.4 数据采集模块	190
8.3.5 数据回放模块	193
参考文献	194

1 虚拟仪器概述

虚拟仪器(Virtual Instrument,简称 VI)是虚拟技术在仪器仪表领域中的一个重要应用,它是现代计算机技术(硬件、软件和总线技术)和仪器技术深层次结合的产物,是当今计算机辅助测试(CAT)领域的一项重要技术成果。即虚拟仪器是计算机技术介入仪器领域所形成的一种新型仪器,它是利用计算机强大的图形环境,组合相应的硬件,编制不同的测试软件,建立界面友好的虚拟仪器面板(软面板),通过友好的图形界面及图形化编程语言控制仪器运行,完成对被测量的采集、分析、判断、显示、存储的仪器。也就是说,虚拟仪器是利用计算机显示器模拟传统仪器控制面板,以多种形式输出检测结果;利用计算机软件实现信号数据的运算、分析和处理;利用 I/O 接口设备完成信号的采集、测量与调理,从而完成各种测试功能的一种计算机仪器系统。VI 以透明的方式将计算机资源(如微处理器、内存、显示器等)和仪器硬件(如A/D、D/A、数字 I/O、定时器、信号调理等)的测量与控制能力结合在一起,通过软件实现对数据的分析处理与表达,如图 1-1 所示。

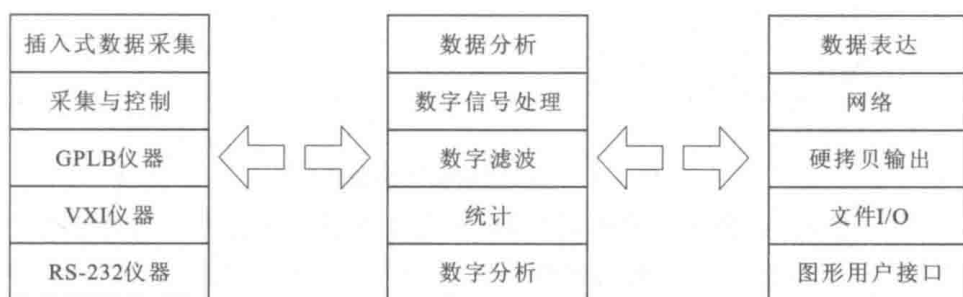


图 1-1 虚拟仪器架构



1.1 仪器的演化

1. 计算机的发展是动力

如图 1-2 所示,电子测量仪器经历了由模拟仪器、带 IEEE488 接口的智能仪器到全部可编程 VI 的发展历程。其中每一次飞跃无不以高性能计算机的发展为动力。近年来,计算机的处理能力一直接指数级提高,其发展之快已把传统仪器远远抛在了后面。比如,当 Pentium 处理器刚面市的时候, Pentium II 处理器的发展计划就已经展开。此外,功能强大的处理器和先进的操作系统(如 Windows NT、Solaris、NextStep 等)在台式机中得到了迅速应用。计算机具有仪器所需要的、先进及性价比最高的显示与存储能力。高分辨率的图形显示与大容量的硬盘已成为标准配置。同时,计算机生产厂商之间的激烈竞争保证了计算机在显示、存储能力与处理性能等方面继续高速发展。

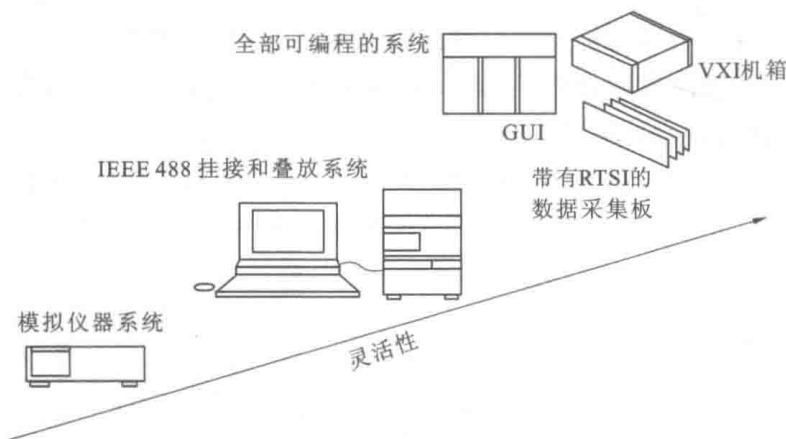


图 1-2 电子测量仪器的演变

值得一提的是,由于计算机技术,特别是计算机总线标准的发展,导致 VI 在 PXI(PCI 总线在仪器领域的扩展)和 VXI(VME 总线在仪器领域的扩展)中得到了快速的发展,它们将成为未来仪器行业的两大主流产品。

具有上百兆赫兹,甚至 1G 赫兹采样率,高达 24 位精度的数据采集板已经面市。A/D 转换技术、仪器放大器、抗混叠滤波器与信号调理技术的进步与发展使数据采集板成为最具吸引力的 VI 选件之一。模块化的 Delta-Sigma A/D 转换器和仪器放大器可在 $3\mu\text{s}$ 内完成 12 位精度下的参数设置,抗混叠



滤波器可按 16 倍频程衰减 90dB,多通道、完全可编程的信号调理等性能仅仅是数据采集板先进技术性能中的几个例子。

VXI 是结合 GPIB 仪器和数据采集板的最先进技术而发展起来的高速的、多厂商支持的、开放式工业标准。VXI 技术优化了诸如高速 A/D 转换器、标准化触发协议,以及共享内存和局部总线等先进技术和性能,开创了可编程仪器的新领域,并成为电子测量仪器行业目前最热门的领域。现在,已有数百家厂商生产的上千种 VXI 产品面市。

2. 软件的进步是关键

有了具备超高运算能力的计算机和必要的仪器硬件之后,构造和使用 VI 的关键在于应用软件,这是因为应用软件为用户构造或使用 VI 提供了集成开发环境、高水平的仪器硬件接口和用户接口。基于软件在 VI 技术中的重要作用,NI 公司(National Instruments,美国国家仪器公司)提出的“软件即仪器”,形象地说明了软件在 VI 中的重要作用。

应用软件最流行的趋势之一是图形化编程环境。最早利用编程开发 VI 始于 NI 公司推出的 LabVIEW 和 LabWindows/CVI 软件包。目前,图形化 VI 框架有 NI 公司的 LabVIEW 和 HP 公司的 VEE。图形化开发环境与图形化 VI 框架是不同的,其主要区别在于前者用其 VI 组件开发可复用原码模块的能力,后者的这些原码模块必须具有被其他原码模块继承性调用的能力,如图 1-3 所示。

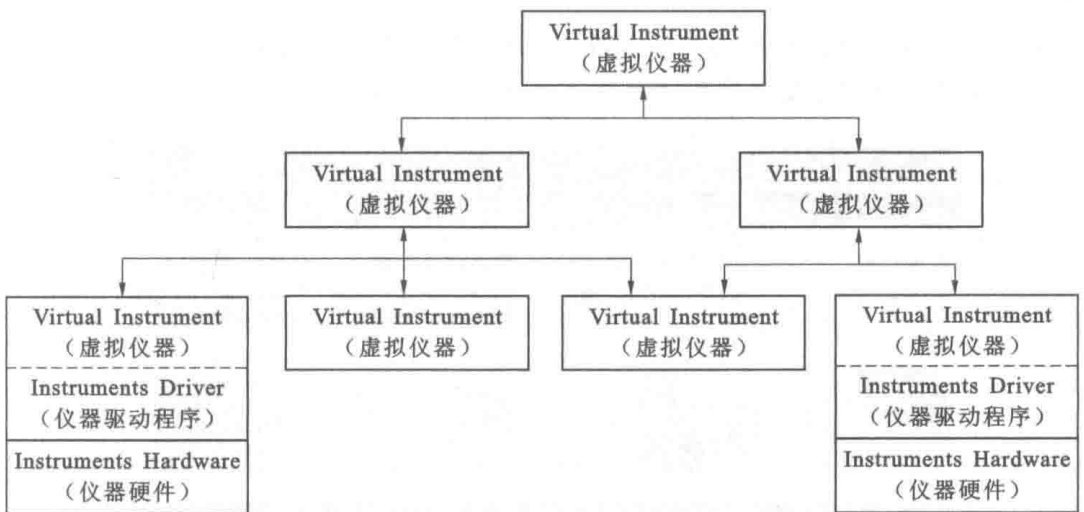


图 1-3 应用软件被其他可复用原码模块继承性调用范例



通过应用程序提供的仪器硬件接口,用户可以用透明的方式操作仪器硬件。这样,用户即便不是 GPIB、VXI、DAQ 或 RS232 通信方面的专家,也可以方便、有效地使用这类硬件。

控制诸如万用表、示波器、频率计等特定仪器的软件模块就是所谓的仪器驱动程序,其已经成为应用软件包的标准组成部分。这些驱动程序可以实现对特定仪器的控制,并与之通信,成为用户建立 VI 系统的基础软件模块。而以往用户必须通过学习各种仪器的命令集、编程选项和数据格式等才能进行仪器编程,采用标准化的仪器驱动程序从根本上消除了这种仪器编程的复杂性,使用户能够集中精力于仪器的使用而不是仪器的编程。正是由于仪器驱动程序的重要作用,其成为应用软件供应商之间的一个主要竞争领域。这种竞争给用户带来的一个方便之处是,几乎任何一个带标准接口的仪器都有现成的驱动程序可供利用。

除仪器硬件接口(即仪器驱动程序)是 VI 应用软件的标准模块之外,用户接口开发工具(user interface development tools)也已成为 VI 应用软件的标准组成部分,而且它还是通用语言的标准组成部分。用户接口的开发一直是最耗时的任务,而且编写从用户接口响应输入到输出的应用程序,其复杂程度无异于学习一种新的编程语言。而现在 VI 软件不仅包括诸如菜单、对话框、按钮和图形等这样的通用用户接口属性,还有像旋钮、开关、滑动控制条、表头、可编程光标、纸带记录仿真窗和数字显示窗等 VI 应用接口属性。但以上这些属性对于即使应用像 Visual Basic for Windows 和 Visual C++ for Windows 这些面向对象语言来开发 VI 的用户也是有一定难度的。

虚拟仪器与传统仪器对比如图 1-4 所示。



图 1-4 虚拟仪器与传统仪器对比



1.2 虚拟仪器硬件系统

1.2.1 虚拟仪器产生的背景

(1)传统仪器满足不了测试需求。现代测控不仅仅要求单台仪器进行测量,还要求多台仪器数据共享,测试结果实时分析、处理;仪器越来越复杂,仪器硬件冗余,使用率低,对使用者的要求提高。

(2)计算机技术的进步为新型仪器提供了基础。电子技术和计算机技术的进步改变了传统的设计思想,许多过去由硬件实现的功能可以由软件实现;专业化的设计软件为高效、易用的仪器软件开发提供了工具。

1.2.2 虚拟仪器的发展

1. 国外发展现状

国外虚拟仪器技术自 20 世纪 80 年代由 NI 公司提出以来,一直成为发达国家自动测控领域的研究热点和应用前沿。近年来,世界各国的许多大型自动测控和仪器公司均相继研制了不少虚拟仪器开发平台,但最早和最具影响力的还是 NI 公司的图形化开发平台 LabVIEW。虚拟仪器在国外已发展成为一种新的产业。美国不仅是虚拟仪器的诞生地,目前也是全球最大的虚拟仪器制造国。

2. 国内发展情况

国内虚拟仪器最早的研究是从引进、消化 NI 的产品开始的。国家自然科学基金委员会曾将虚拟仪器研究作为现代机械工程科学前沿学科之一,列为“十五”期间优先资助领域。目前,有些研究已取得可喜成绩,如“863”项目——“虚拟仪器关键技术的研究及其产业化”,该项目所研制的“一体化虚拟仪器”就是一种不同于欧美虚拟仪器的技术。这项成果表明我国在虚拟仪器方面走出了一条自主创新的路子。国内虚拟仪器的发展分为如下几个阶段:

第一阶段,利用计算机增强传统仪器的功能。由于 GPIB 总线标准的确立,计算机与外界通信成为可能,只需要把传统仪器通过 GPIB 和 RS-232 同计算机连接,用户就可以用计算机控制仪器。随着计算机性价比的不断上升,用计算机控制测控仪器成为一种趋势。这一阶段虚拟仪器的发展几乎是直线前进的。



第二阶段,仪器构成得以开放。仪器硬件上出现了两大技术进步:一是插入式计算机数据处理卡(plug-in PC-DAQ),二是 VXI 仪器总线标准的确立。这些新的技术使仪器的构成得以开放,消除了第一阶段内在的由用户定义和供应商定义的仪器功能的缺陷。

第三阶段,虚拟仪器框架得到了广泛认同和采用。软件领域,面向对象技术把任何用户构建虚拟仪器需要知道的东西封装起来。许多行业标准在硬件和软件领域已产生,几个虚拟仪器平台已经得到认可,并逐渐成为虚拟仪器行业的工具。发展到这一阶段,人们也认识到了虚拟仪器框架才是数据采集和仪器控制系统实现自动化的关键。

目前,虚拟仪器的发展过程有两条主线:一是 GPIB→VXI→PXI 总线方式(适合大型高精度集成系统),二是 PC 插卡式→LPT 并行口式串口→USB 方式→IEEE 标准的 1394 接口方式(适合普及型系统,有广阔的应用发展前景)。

随着计算机、通信和微电子技术的不断发展,以及网络时代的到来和信息化要求的不断提高,将网络技术应用到虚拟仪器领域中是虚拟仪器发展的重要趋势。21 世纪的虚拟仪器主要发展方向是网络化虚拟仪器,它将由单台虚拟仪器实现的数据获取、数据分析及图形化显示三大功能分开处理,分别使用独立的基本硬件模块实现传统仪器的三大功能,进而实现信息资源的共享。也就是将虚拟仪器、外部设备、被测试点,以及数据库资源纳入网络,实现资源共享,共同完成测试任务。使用网络化虚拟仪器可在任何地点、任意时刻都能获取测量数据,也适合异地或远程控制、数据采集、故障监测、报警等。

虚拟仪器的核心是软件,而虚拟仪器软件构架的精髓是虚拟仪器库技术。传统的 VI 方式为每一个仪器功能开发一个软件,每个软件都具有独立数据采集功能,但多个软件不能同时使用。虚拟仪器库技术解决了这个矛盾,如 DASP2003 标准版和专业版内的虚拟仪器库模块就是由“平台软件+虚拟仪器库”组成,多个软件共享虚拟仪器的硬件资源。它由一个平台软件实现基本的数据采集和频谱分析,还能实现频率校准、幅值校准、阻尼校准等高精度快速分析。多个模块化的仪器软件在平台软件上运行,共用平台软件提供的数据和频谱值,分别实现各自仪器(如频率计、阻尼计转速表、失真度计、索力计、声级计、压力计、温度计、应变计、应力仪、示波器、频谱仪、波谱双显仪、混叠演示仪、泄漏演示仪、信号发生器、数据多用表等)的不同功能。它的特点是在一个平台软件上,多个模块化仪器软件共享 A/D 采集的数据资源及信号处理的数据资源,多台仪器可以高速、实时运行,操作应用非常方便。就像 PC 与



Windows 的发展依存关系一样,虚拟仪器正在向综合性、多功能、多用途、快捷的、多画面的虚拟仪器库的方向发展。此外,手持式、更轻便、小型化、嵌入式 PC(如 PC 104)及掌上电脑与 DSP、A/D、D/A、LCD、调理放大、电子盘加软件相结合的一体机也是未来的一个发展方向,它使虚拟仪器更方便地深入测试现场。另外,虚拟仪器向节能、省电、轻便、小型化发展也是一个方向。

VI 技术经过 10 余年的发展,正沿着总线与驱动程序的标准化、硬/软件的模块化、编程平台的图形化、硬件模块的即插即用(Plug & Play) 化等方向发展。目前,VI 技术已发展成具有 GPIB、PC-DAQ、VXI 和 PXI 四种标准体系的结构开放的技术。1998 年,NI 公司又发布了虚拟硬件和可互换虚拟仪器的概念,其产品已经面市,IVI 基金会也在 1998 年于美国成立,并颁布了相应的 IVI 技术规范。基于 VXI 技术开发应用完全独立于硬件,提高了程序代码的复用性,大大降低了应用系统的维护费用,必将成为测控技术的主要基础技术之一。随着测量控制过程的网络化,一个真正的、虚拟化的测控时代即将到来。

1.3 虚拟仪器软件系统

虚拟仪器软件主要由两部分组成,即应用程序和 I/O 接口仪器驱动程序。应用程序主要包括实现虚拟面板功能的软件程序和定义测试功能的流程图软件程序;I/O 接口仪器驱动程序主要完成特定外部硬件设备的扩展、驱动与通信。虚拟仪器技术最核心的思想就是利用计算机的硬件/软件资源,使本来需要硬件实现的技术软件化(虚拟化),以便最大限度地降低系统成本,增强系统的功能与灵活性。为此,开发虚拟仪器必须有合适的软件工具,目前的虚拟仪器软件开发工具有以下两类:

① 文本式编程语言,如 Visual C++、Visual Basic、LabWindows/CVI 等。

② 图形化编程语言,如 LabVIEW、HPVIEE 等。

这些软件开发工具为用户设计虚拟仪器应用软件提供了最大限度的方便条件和良好的开发环境。测试软件是虚拟仪器的“主心骨”。测试软件的主要任务是:

① 规范组成虚拟仪器的硬件平台的哪些部分被调用,并且规范这些被调用部分的技术特性;



②规范虚拟仪器的调控机构,设置调控范围,其中不少功能直接由软件实现;

③规范测试程序;

④调用数据处理和高级分析库,处理和变换测试结果;

⑤在计算机的显示屏上显示测试结果的数据、曲线簇、模型;

⑥规范测试结果的信息存储、传送或记录。

虚拟仪器软件包括数据采集、数据分析和数据表达。

LabVIEW 程序界面被称为虚拟仪器或 VI,其外观和操作类似物理仪器,如示波器和数字万用表(图 1-5)。

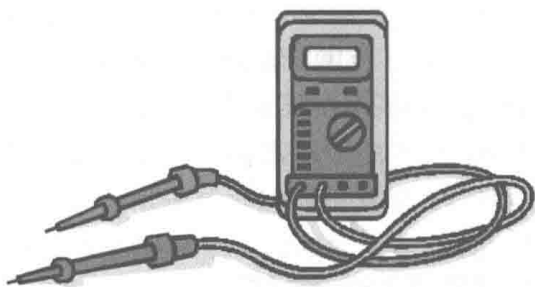


图 1-5 数字万用表

1.3.1 基于计算机的数据采集系统

数据采集(Data Acquisition,简称DAQ)是指从系统外部采集数据并进行转换后传输到系统内部的过程,能够提供这一功能的完整系统被称为数据采集系统。对于基于计算机的数据采集系统来说,所采集的数据信号一般为电信号(如电压、电流等),所能处理的信号一般为数字信号,所以需要将外部的模拟物理量转换为以电信号表示的数字量后进行程序分析处理,这一转换过程称为模拟输入。而有时系统需要向外部提供激励,所以有的数据采集系统也提供模拟输出功能,即将内部的数字激励信号转换为模拟输出信号。

可见,数据采集是连接计算机内部程序与外部世界的纽带,这一过程的基本原理并不复杂,但按照实际需求构建一个高效、可靠且自动化程度高的数据采集系统时,仍然需要注意以下一些基本原则:

- (1)数据采集系统各单元的选型和配置原则;
- (2)采样定理的应用原则;
- (3)特定的采集信号的类型和特点;
- (4)信号调理的基本功能,测量系统的连接方式;



- (5) 数据采集驱动程序的调用方法;
- (6) 特定的数据采集卡的设置和使用方法等。

了解以上这些基本原则后,才能根据具体情况为数据采集系统配置适当的参数,以达最优的采集性能。利用 LabVIEW 构建数据采集系统时,常使用 NI 公司所提供的数据驱动程序 NI-DAQ,最常用的 VI 可以分为如下几类:

- (1) 模拟输入:提供单通道或多通道的单点或波形数据采集功能;
- (2) 模拟输出:提供单通道或多通道的单点或波形数据输出功能;
- (3) 数字 I/O:提供数字量(即高或低电平)的输入与输出功能。

此外,较复杂的数据采集系统还会用到内部/外部触发、计时器/计数器等功能,这些在 LabVIEW 和 NI-DAQ 中也都有相关 VI 可以实现。事实上,利用 LabVIEW 丰富而强大的开发功能,几乎可以满足一切数据采集系统的实际应用需求。

1. 数据采集系统的硬件

不同的数据采集系统根据高、低端需求不同,虽然具有各种各样不同的配置,但其各个组成单元的构成基本上是一致的,一个数据采集系统的硬件部分,主要由传感器或变换器、信号调理设备、数据采集设备和计算机四部分组成。

传感器或变换器是数据采集系统的“耳目”,其主要功能是将系统外部各种类型的物理量转换为电信号,供数据采集系统进行采集和处理。

在构建数据采集系统时应根据不同的采集对象和采集需求选择传感器或变换器,某些传感器还需要有电压或电流激励源。常见传感器或变换器的功能如表 1-1 所示。

表 1-1 常见的传感器或变换器及其功能

采集对象	传感器或变换器
温度	热电偶、电阻温度探测器、集成电路传感器、热敏电阻等
光	光电传感器、光导器件等
声	麦克风、咪头等
力、压力和压强	应变仪、压电传感器等
位置、位移	电位计、光学编码器
液流流量	流量计(含落差式、旋转式、超声波式等)
酸碱度	pH 电极