

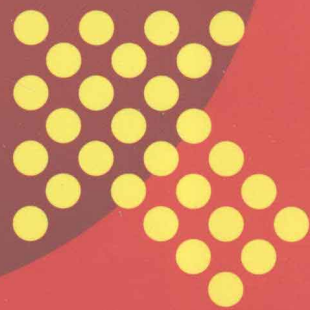
21世纪高等学校规划教材



LabVIEW XUNIQI XIYONG KAIFA YU SHIJIAN

# LabVIEW 虚拟仪器 系统开发与实践

牛群峰 王 莉 编著  
胡红生 吴才章



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

21世纪高等学校规划教材

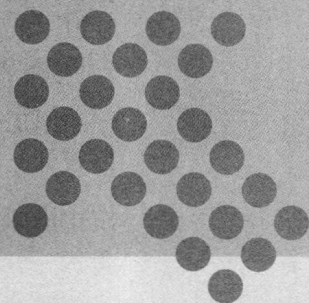
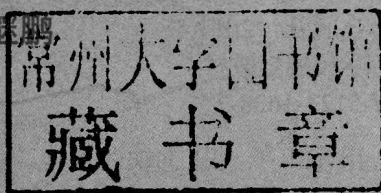


LabVIEW

LONG KAI FA YU SHI JIAN

# LabVIEW 虚拟仪器 系统开发与实践

编 著 牛群峰 王 莉  
胡红生 吴才章  
主 审 林继鹏



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书以 LabVIEW 8.6 为基础, 结合测试测量和自动化领域技术的进展, 介绍虚拟仪器硬件技术、软件编程技术和虚拟仪器系统的开发与实践等内容。

全书共分为三部分, 第一部分讲述虚拟仪器硬件技术, 第二部分讲述虚拟仪器软件编程, 第三部分讲述虚拟仪器系统开发实践。第一部分包括第 1~3 章, 通过对虚拟仪器硬件技术的讲解, 使读者掌握传感器、数据采集、模拟量 I/O、数字量 I/O 等相关基础知识, 认识典型虚拟仪器硬件, 包括 PCI 数据采集卡、PXI、USB、CompactRIO、GPIB、VXI、LXI 等, 初步具备硬件选型能力, 掌握硬件管理软件 MAX, 了解虚拟仪器设计方法。第二部分包括第 4~6 章, 讲述 LabVIEW 编程基础、高级编程和开发应用内容, 使读者了解虚拟仪器编程技术, 初步具备虚拟仪器开发能力。第三部分包括第 7~9 章, 通过对虚拟仪器系统开发实践范例的讲解, 使读者初步了解虚拟仪器系统开发过程, 能够在工作中应用虚拟仪器技术开发各种仪器及系统。

本书可作为高等院校测控技术与仪器及相关专业的本科教材或教学参考书, 也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

LabVIEW 虚拟仪器系统开发与实践 / 牛群峰等编著. —北京: 中国电力出版社, 2011.5

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5123-1628-7

I. ①L… II. ①牛… III. ①软件工具, LabVIEW8.6—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP311.56

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 080066 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

2011 年 7 月第一版 2011 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 508 千字

定价 35.50 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言

过去的三十多年里,美国国家仪器公司(NI)通过虚拟仪器技术为测试测量和自动化领域带来了一场革新:虚拟仪器技术把现成既用的商业技术与创新的软、硬件平台相集成,从而为嵌入式设计、工业控制以及测试和测量提供了一种独特的解决方案。

使用虚拟仪器技术,工程师可以利用图形化开发软件方便、高效地创建完全自定义的解决方案,以满足灵活多变的需求趋势。目前,财富 500 强中 85% 的制造型企业已经选择了虚拟仪器技术,大幅度减少了自动化测试设备(ATE)的尺寸,使工作效率提升了 10 倍之多,而成本却只有传统仪器解决方案的一小部分。与此同时,虚拟仪器技术本身也在不断发展和创新,由于建立在商业可用技术的基础之上,使得目前正蓬勃发展着的新兴技术也成为推动虚拟仪器技术发展的新动力。

现今,不论是针对生物工程或可持续能源的前瞻性研究,还是为课堂教育和实践教学开拓思路与方法,全球高等教育界都在面临空前广泛而紧迫的挑战。虚拟仪器和 LabVIEW 为各个学科的测量、控制问题提供一个大致相同的软、硬件平台,这使得有可能面对众多专业学生开设一门共同的课程,为他们各自的学习研究提供一个基本通用的解决问题平台。最新的虚拟仪器技术能为课堂带来丰富的动手实践和基于项目的学习体验,将教学与研究提升到一个新的层次,培养学生的创新能力。

本书的定位是教材或教学参考书,主要反映虚拟仪器丰富的知识内容和作者的一些工程经验和教学体会,力求使学生能够较全面地了解虚拟仪器技术。全书共分为三部分:第一部分包括第 1~3 章,讲述虚拟仪器硬件技术;第二部分包括第 4~6 章,讲述虚拟仪器软件编程;第三部分包括第 7~9 章,讲述虚拟仪器系统开发实践。

本书由河南工业大学牛群峰主编,河南工业大学王莉老师和嘉兴学院胡红生老师为副主编。第 1、2 章由胡红生编写,第 4 章由王莉编写,第 3、5~8 章由牛群峰编写,第 9 章由吴才章编写,在 4 位作者互校的基础上牛群峰对全书进行了校对和统稿。

本书得到长安大学林继鹏教授的认真审阅,提出了很多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

在编写本书的过程中参考和使用了部分文献和技术资料,在此向有关作者表示感谢。特别感谢美国国家仪器公司对本书编写工作的支持,中科泛华测控技术有限公司王建工程师、美国国家仪器公司潘宇和王乐工程师为本书的编写提供了热情的帮助。

虚拟仪器硬件发展迅速,软件功能日益强大,应用领域分布广泛,鉴于作者的学识水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

读者如需与作者联系,可发电子邮件至:niuqunfeng@gmail.com。

作 者

2011 年 6 月

## 目 录

前言

## 第一部分 虚拟仪器硬件技术

第一章 虚拟仪器技术入门	1
第一节 虚拟仪器技术发展	1
第二节 虚拟仪器概念	3
第三节 虚拟仪器组成	4
第四节 虚拟仪器技术基础	7
第二章 虚拟仪器硬件技术	19
第一节 虚拟仪器硬件简介	19
第二节 基于 PC 的数据采集卡	22
第三节 PXI 总线硬件	29
第四节 工业 I/O 模块硬件 CompactRIO	37
第五节 GPIB、串口、VXI、以太网和 LXI 总线仪器	42
第六节 仪器控制的软件规范	50
第三章 虚拟仪器设计	53
第一节 虚拟仪器硬件选型	53
第二节 虚拟仪器硬件配置及管理	56
第三节 虚拟仪器设计	63
第四节 虚拟仪器设备驱动	71

## 第二部分 虚拟仪器软件编程

第四章 LabVIEW 入门	77
第一节 LabVIEW 基础	77
第二节 界面设计 (VI 前面板)	88
第三节 程序框图编辑	95
第四节 程序结构设计	101
第五节 数据及算法设计	111
第六节 输入及输出 (文件 I/O) 设计	148
第七节 VI 编辑与操作	153
第五章 LabVIEW 高级编程	162
第一节 菜单设计	162

第二节	输出文本控制 .....	166
第三节	数据库 .....	176
第四节	数据采集 .....	185
第五节	网络通信 .....	196
第六节	程序发布 .....	207
<b>第六章</b>	<b>LabVIEW 开发应用 .....</b>	<b>215</b>
第一节	信号处理 .....	215
第二节	振动噪声 .....	230
第三节	机器视觉 .....	238
第四节	运动控制 .....	247

### **第三部分 虚拟仪器系统开发实践**

<b>第七章</b>	<b>常用教学实验仪器开发 .....</b>	<b>259</b>
第一节	基于虚拟仪器的示波器 .....	259
第二节	基于虚拟仪器的信号发生器 .....	265
第三节	基于虚拟仪器的数字万用表 .....	268
<b>第八章</b>	<b>工业用测试仪器开发 .....</b>	<b>271</b>
第一节	压缩机型式试验测试虚拟仪器设计 .....	272
第二节	振动测试虚拟仪器设计 .....	279
第三节	噪声测试虚拟仪器设计 .....	285
第四节	频率响应测试虚拟仪器设计 .....	288
第五节	压缩机性能参数计算仪器 .....	292
第六节	压缩机状态监测虚拟仪器 .....	295
<b>第九章</b>	<b>虚拟仪器典型系统开发应用实例 .....</b>	<b>302</b>
第一节	基于 PXI 平台的 6-DOF 并联机器人控制系统开发 .....	302
第二节	基于 PXI 的汽车电子稳定程序硬件在环测控系统中的开发 .....	308
第三节	嵌入式图形系统设计助力救生机器人蜘蛛 .....	313
第四节	基于虚拟仪器技术的手机翻盖耐久性测试系统 .....	315
第五节	运用图形化系统设计开发用于癌症治疗的机器人 .....	318
第六节	基于 LabVIEW 的脉搏信号检测与分析系统 .....	320
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>325</b>

## 第一部分 虚拟仪器硬件技术

通过对 NI 公司虚拟仪器技术的讲解,使读者了解虚拟仪器技术,掌握传感器、数据采集、模拟量 I/O、数字量 I/O 相关基础知识,认识典型虚拟仪器硬件,包括 PCI 数据采集卡、PXI、USB、CompactRIO、GPIB、VXI、LXI 等,初步具备硬件选型能力,掌握硬件管理软件 MAX,了解虚拟仪器硬件设计方法。

### 第一章 虚拟仪器技术入门

#### 第一节 虚拟仪器技术发展

虚拟仪器的起源可以追溯到 20 世纪 70 年代,“虚拟”的含义主要是强调软件在这类仪器中的作用,体现了虚拟仪器与主要通过硬件实现各种功能的传统仪器的不同。由于虚拟仪器结构形式的多样性和适用领域的广泛性,目前对于虚拟仪器的概念还没有统一的定义。美国国家仪器公司(National Instruments Corporation, NI)认为,虚拟仪器是由计算机硬件资源、模块化仪器硬件和用于数据分析、过程通信及图形用户界面的软件组成的测控系统,是一种计算机操纵的模块化仪器系统。

1983 年,NI 的工程师受到了电子制表软件为金融领域带来巨大便利的启发,也决定着手发明一种同样高效的工具,帮助工程师和科学家们简化测试测量自动化项目的开发过程。与此同时,苹果公司推出的 Macintosh 计算机的一系列图形化特性也为他们提供了崭新的思路。他们发现,相对于输入一串串的命令行进行操作,人们使用鼠标和图形化界面时所发挥的创造力和高效率是前所未有的,因此“图形化”编程理念成为 LabVIEW 最根本的核心。

LabVIEW 从最初就被设计为一种强大的高层架构型编程语言,自 1986 年 1.0 版诞生以来,纵观其 20 多年的发展可以发现,每次 LabVIEW 的主要升级版本的发布都包含了很多全新的特性。图 1-1 为 LabVIEW 20 多年的持续创新发展历程。

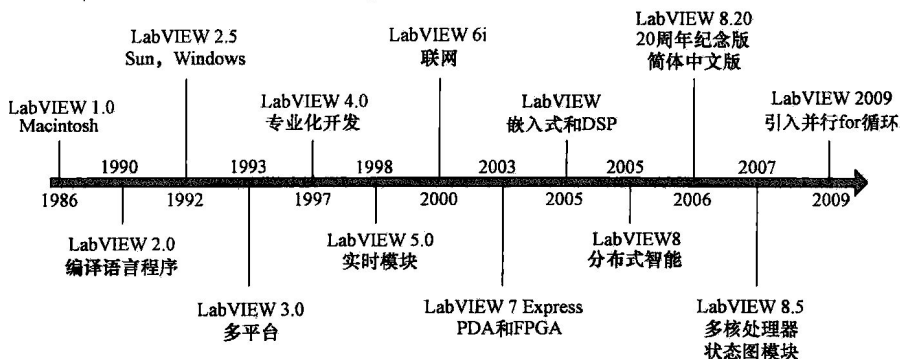


图 1-1 LabVIEW 20 多年的持续创新发展历程

LabVIEW 第一版于 1986 年发布并只能用于 Macintosh 系统，虽然 Mac 系统没有广泛地用于测量和仪器应用软件，但是它的图形化特色很好地融合了 LabVIEW 技术，直到更多的通用操作系统开始支持 LabVIEW 技术。

1990 年，根据用户多年的反馈，结合新的软件技术，NI 对 LabVIEW 进行了重新编写。更重要的是，LabVIEW 的特色编译器能够使 VI 的执行速度与 C 语言编程创建的程序相当。美国专利局发布的很多专利认可了 LabVIEW 的技术创新性。

随着其他图形化操作系统的出现，NI 将成熟的 LabVIEW 技术移植到了其他系统平台：PC 和工作站。1992 年，基于便捷式的体系结构，NI 发布了用于 Windows 的 LabVIEW 和用于 Sun 的 LabVIEW。

1993 年，用于 Macintosh、Windows 和 Sun 操作系统的 LabVIEW 3 面世。在某个平台上编写的 LabVIEW 3 程序能够在其他平台上运行。这种多平台特性使用户获得了选择开发平台的机会，因为他们确信可以在其他平台上运行其 VI（这一功能比 Java 的出现早很多年）。1994 年，LabVIEW 支持的平台已经包含 Windows NT、PowerMacs 和 HP 工作站。1995 年开始可以应用于 Windows 95。

1996 年，LabVIEW 4 发布，以其更加灵活的开发环境配置为特色，用户能够创建自己的工作空间与他们所在的行业、经验水平和开发习惯相匹配。另外，LabVIEW 4 为高级仪器系统添加了高效的编辑和调试工具，还有基于 OLE 的通信功能和分布式执行工具。

LabVIEW 5 和 5.1（1999 年）的贡献在于通过引进内置的 Web 服务器、动态编程和控制框架（VI 服务器）、集成 ActiveX 技术，以及基于称为 DataSocket 协议的易用的互联网数据共享技术，改进了开发工具。最终实现了在大部分执行的程序中允许使用撤销（Undo）功能。

2000 年，LabVIEW 6（有时也称为 6i）推出，它支持 Linux 开源操作系统，同时还推出了一套全新的 3D 控件，在某些时候，对于计算机行业这种风格的确重要。LabVIEW 6 做出了很大的贡献，提供了直观易用的编程界面（特别针对非程序员），也支持大量的高级编程技术，例如面向对象开发、多线程、分布式计算等。不要被 LabVIEW 的图形化特性所迷惑，作为开发工具，LabVIEW 可以与 C++ 和 Visual Basic 相媲美——就像大家所发现的一样，LabVIEW 的长处就是它非常有趣。

2001 年，LabVIEW 6.1 推出了面向事件编程、LabVIEW 远程网络控制、远程前面板、通过红外设备通信的 VISA 支持及其他一些改进。

2001 年还推出了 LabVIEW Real-Time（LabVIEW RT），允许将 LabVIEW 开发的 VI 下载到 NI 的 RT 系列设备中的 RT 引擎并实时运行。

2003 年，LabVIEW 7.0（有时称为 7 Express）为用户推出了很多新特性。最显著的就是 Express 技术，通过提供容易配置的、可以立即使用的子 VI 和函数设计工具，使 LabVIEW 新用户入门并快速进入状态。对于高级用户，LabVIEW 7.0 扩展了事件结构的功能，包括用户定义事件以及动态事件注册框架——事件结构不再是只绑定在特定 VI 的前面板事件上。其他新增内容包括树形控件和子面板，用于创建更加灵活而功能强大的用户界面。另外，还新增了很多编辑功能，如对齐到网格、调整大小工具、抓取句柄等。

2003 年还发布了 LabVIEW PDA 模块和 LabVIEW FPGA 模块。LabVIEW PDA 允许创建



在 PalmOS 和 PocketPC 上运行的 LabVIEW 程序，但需要对应组件的支持。LabVIEW FPGA 允许创建在 NI 的现场可编程门阵列设备上运行的 LabVIEW 程序。

2004 年，LabVIEW 7.1 增加 VISA 支持，用于与蓝牙设备的通信、分组单选按钮控件、导航窗口及其他有用的特性，包括 Express 技术的发展，例如，为实时控制提供精确计时的定时循环（Timed Loop）、FPGA 目标和同步功能。

2005 年，LabVIEW 8 发布了 Project Explorer，这是一个 IDE 风格的工作环境，允许开发者管理虚拟仪器系统的开发。LabVIEW 的工程包括 VI、硬件资源和配置，以及编译和使用规则。LabVIEW 8 还支持 Project Library 组件，如编辑时用到的灵巧的右击菜单和拖放功能及定制控件。

LabVIEW 8.2 作为 20 周年的纪念版，首次推出了中文版，使中国工程师们也能用自己的母语编程，最大程度地提升开发效率。最新的 LabVIEW 版本为多核处理器技术提供了有力的支持，同时也推出了基于 UML 语言规范的状态图设计模块。综合而言，LabVIEW 通过不断地融入最新商业可用技术，让用户无需花费过多的精力去学习每个技术细节就可以直接使用，提升了系统的性能，保证了工程师们长期的投资。

经过这一路 20 多年的持续创新，LabVIEW 凭其核心的图形化编程理念，突破了原先数据采集与仪器控制的应用领域，蜕变为设计、控制与测试的图形化系统设计标准平台，其强大的特性（详细全面的专业附加工具包，灵活多样的计算模型，从 PC、FPGA 到芯片级的运行平台等）进一步帮助工程师在同一个 LabVIEW 平台上集成从设计、原型到发布的全过程，全面提高整个工程流程的效率。

## 第二节 虚拟仪器概念

虚拟仪器系统是不断革新的计算机技术与仪器技术相结合的产物，它利用目前计算机系统的强大功能，结合专用的硬件（包括数据采集卡、PXI 仪器、GPIB 卡、VXI 仪器、PLC、串行设备、图像采集卡、运动控制卡等），大大突破传统仪器在数据处理、显示、传送、存储等方面的限制，使用户可以方便地对其进行维护、扩展和升级等。其典型结构如图 1-2 所示。

虚拟仪器实质是将可以完成传统仪器功能的硬件和最新计算机软件技术充分地结合起来，用以实现并扩展传统仪器的功能，来完成数据采集、分析及显示。虚拟仪器系统技术的基础是计算机系统，核心是软件技术。美国国家仪器公司提出其著名的口号：The Software is the Instrument（软件就是仪器），所以通常也把用包括 G 语言（Graphical Language）在内的高级语言编制的可视化测控系统程序称为虚拟仪器 Virtual Instruments，简称 VI，全书统一使用 VI 作为虚拟仪器的英文缩写。

组建现代化测控系统的成败在很大程度上取决于软件平台、开发工具以及相关硬件设备的选择，在软件体系结构的各个层次上，形成了完整的设备驱动程序、系统开发平台、实用支持软件和应用软件相互支撑的格局。与传统仪器相比，虚拟仪器在智能化程度、处理能力、性能价格比和可操作性等方面均具有明显的技术优势。

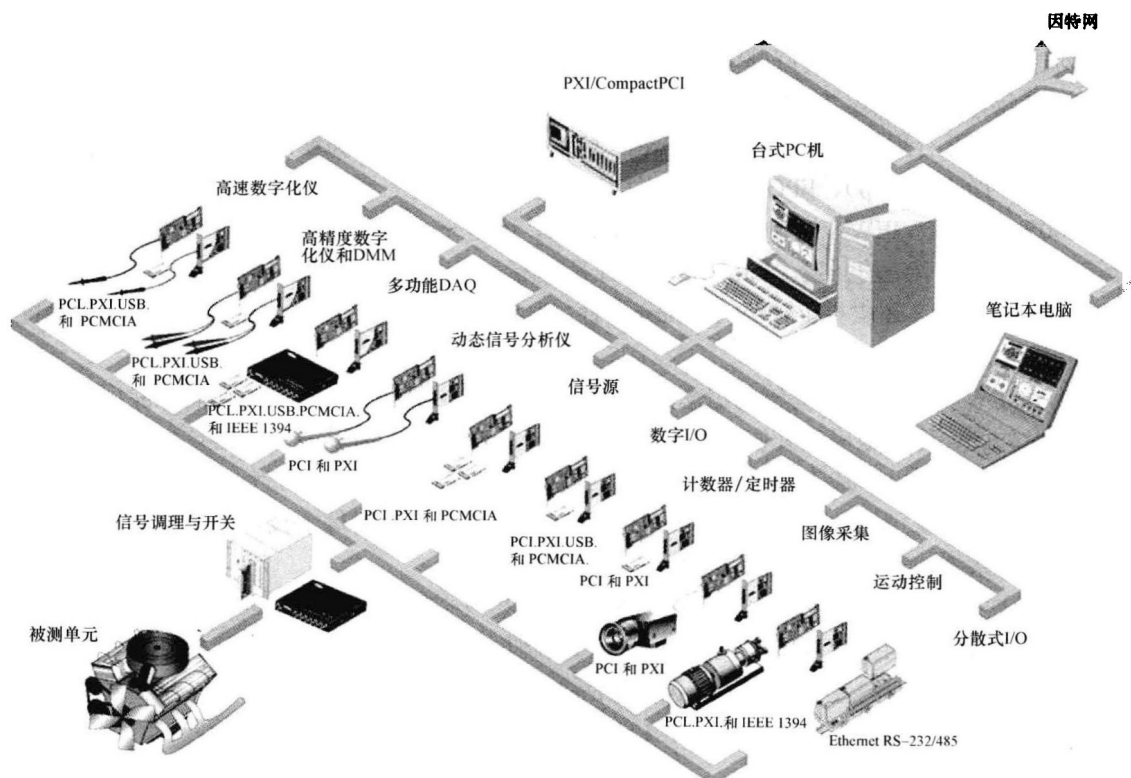


图 1-2 虚拟仪器典型结构

### 第三节 虚拟仪器组成

按照系统中各部分之间的依赖关系，可以把一套虚拟仪器系统划分成几个层次，如图 1-3 所示。最笼统的划分方式是把虚拟仪器系统划分为软件和硬件部分。

虽然软件是虚拟仪器系统的主体，但硬件仍然是整个系统最基础的部分。硬件主要负责将被测量物理信号转换为二进制的数字信号数据，而软件系统一方面负责控制硬件的工作，一方面又负责对采集到的数据进行分析处理、显示和存储。常用构建虚拟仪器的硬件如图 1-4 所示。

设计虚拟仪器的硬件部分时需要考虑多种因素，以下列举其中最主要的几个：

(1) 被测量物理信号的特性。不同的物理信号需要使用不同类型的传感器将其转换为可供计算机分析的数字电信号，而不同的传感器又需要配备不同的信号调理模块。某些早期虚拟仪器系统直接通过 GPIB 等总线与传统仪器相连，利用传统仪器的硬件部分转换和采集被测信号。

(2) 硬件技术指标。不同档次的数据采集设备可以支持的采样率、分辨率以及精度等都有差别。通常，一套系统会选取能够满足测量需要的最低级别硬件或是不超出资金预算的最高级别硬件。

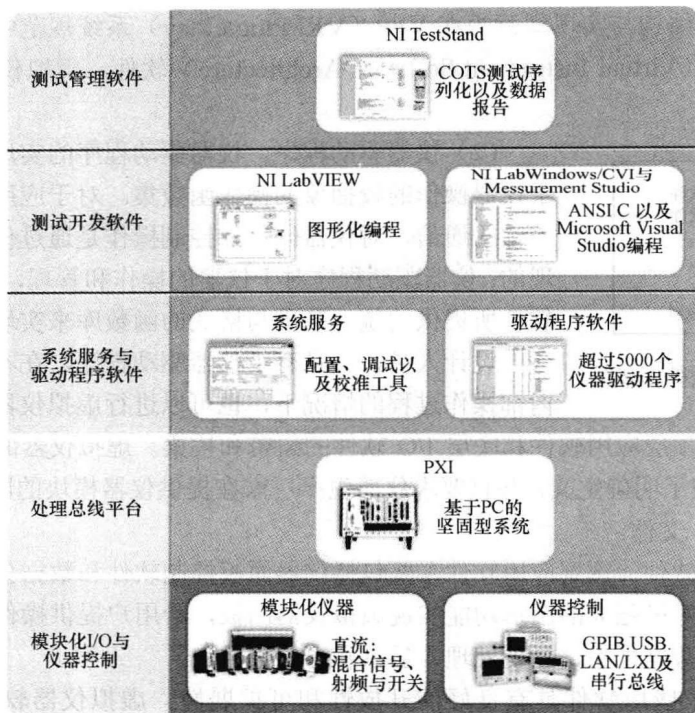


图 1-3 虚拟仪器系统的层次结构

(3) 满足应用需求。根据虚拟仪器系统工作环境的不同，需要为系统选择不同种类的运算、控制单元。比如，工作在恶劣环境下的虚拟仪器系统需要采用工业级别计算机作为载体；被放置在工业现场狭小空间内的虚拟仪器需要采用嵌入式系统；需要满足多种测量功能的虚拟仪器系统可以选用 PXI 机箱作为载体。

当虚拟仪器的硬件平台建立起来之后，设计、开发、研究虚拟仪器的主要任务就是编制应用程序。软件是虚拟仪器的关键，通过运行在计算机上的软件，一方面实现虚拟仪器图形化仪器界面，给用户提供一个检验仪器通信、设置仪器参数、修改仪器操作和实现仪器功能的人机接口；另一方面使计算机直接参与测试信号的产生和测量特征的分析，完成数据的输入、存储、综合分析和输出等功能。虚拟仪器的软件一般采用层次结构，包含以下 3 部分。

(1) 输入/输出 (I/O) 接口软件。I/O 接口软件存在于仪器与仪器驱动程序之间，是一个完成对仪器内部寄存单元进行直接存取数据操作、为仪器驱动程序提供信息传递的底层软件，是实现开放的、统一的虚拟仪器系统的基础和核心。虚拟仪器系统 I/O 接口软件的

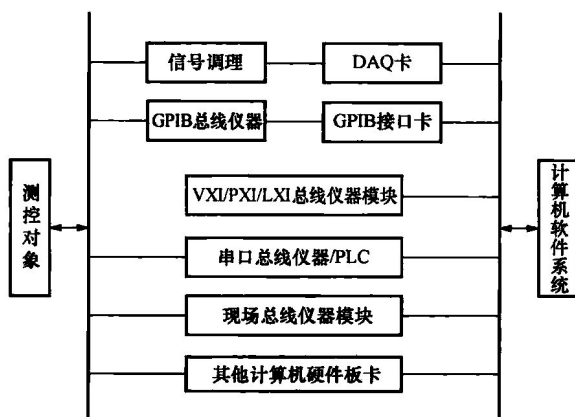


图 1-4 虚拟仪器的硬件

特点、组成、内部结构与实现规范等在 VPP (VXI Plug&Play) 系统规范中有明确的规定, 并被定义为 VISA (Virtual Instrument Software Architecture) 软件。虚拟仪器软件框架如图 1-5 所示。

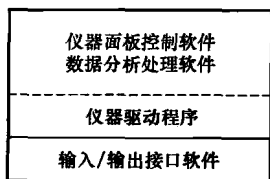


图 1-5 虚拟仪器软件框架图

(2) 仪器驱动程序。仪器驱动程序的实质是为用户提供用于仪器操作的较抽象的操作函数集。对于应用程序, 它和仪器硬件的通信、对仪器硬件的控制操作是通过仪器驱动程序来实现的; 仪器驱动程序对于仪器的操作和管理, 又是通过调用 I/O 软件所提供的统一基础与格式的函数库来实现的。对于应用程序的设计人员, 一旦有了仪器驱动程序, 在不是十分了解仪器内部操作过程的情况下, 也可以进行虚拟仪器系统的设计。仪器

驱动程序是连接顶层应用软件和底层 I/O 软件的纽带和桥梁。虚拟仪器的组成结构和实现在 VPP 规范中也做了明确定义, 并且要求仪器生产厂家在提供仪器模块的同时, 提供仪器驱动程序文件和 DLL 文件。

(3) 顶层应用软件。顶层应用软件主要包括仪器面板控制软件 and 数据分析处理软件, 完成的任务有利用计算机强大的图形功能实现虚拟仪器面板, 给用户提供操作仪器、显示数据的人机接口, 以及数据采集、分析处理、显示和存储等。

VPP 规范要求应用软件具有良好的开放性和可扩展性。虚拟仪器软件的开发可以利用 Visual C++ (VC), Visual Basic (VB) 等通用程序开发工具, 也可以利用像 HP 公司的 VEE、NI 公司的 LabVIEW 与 LabWindows/CVI 等专用开发工具。VC、VB 作为可视化开发工具具有友好的界面、简单易用、实用性强等优点, 但作为虚拟仪器软件开发工具, 一般要在仪器硬件厂商提供的 I/O 接口软件、仪器驱动程序的基础上进行应用软件开发。HP 的 VEE、NI 的 LabVIEW 及 LabWindows/CVI 等是随着软件技术的不断发展而出现的功能强大的虚拟仪器软件专用开发工具, 具有直观的前面板、流程图式的开发能力和内置数据分析处理能力, 提供了大量的功能强大的函数库供用户直接调用, 是构建虚拟仪器的理想工具。

设计虚拟仪器系统的软件部分首先需要考虑的是使用何种开发平台。开发平台的选择, 一要考虑系统硬件的限制, 二要考虑软件开发的周期和成本。某些硬件只支持特定的开发软件, 比如某些嵌入式系统必须使用 Linux 操作系统和 C 编程语言。一般来说, 基于台式机的虚拟仪器系统对开发软件的支持更全面, 可以选择 Windows 或其他操作系统, 可以选择 LabVIEW、VB、VC 等各种常用编程语言。这其实也是在硬件设计时应当考虑的因素, 选择虚拟仪器硬件系统的结构时, 应当尽量选择有完善软件支持的硬件设备。各种开发软件的适用场合、难易程度都不尽相同。选择一种最为广泛应用的开发语言, 可以提高软件开发效率, 节省开发成本, 保证系统质量。根据 TIOBE 公司统计的各类编程语言的使用情况, 近年来 Java、C、C++ 始终是使用的最为广泛的编程语言。但就测试测量领域来说, 情况并非如此。在测控领域, 使用最为广泛的编程语言是 LabVIEW, 如图 1-6 所示, 它也是开发虚拟仪器系统的首选编程语言。

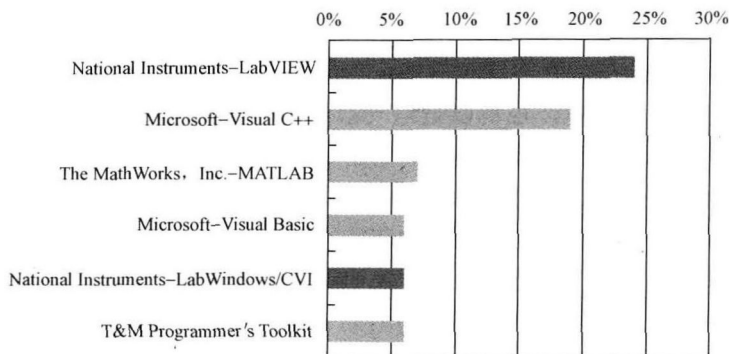


图 1-6 Reed 机构 2005 年对测控领域常用软件的统计结果

## 第四节 虚拟仪器技术基础

### 一、信息与信号

在人类社会和自然界中存在着各种各样的信息，信息具有抽象性，必须通过某种运载手段才能方便地进行交换和传送，能够运载信息的物理量称为信号。与其他信号相比，电信号较容易产生、输出、控制和存储，是目前应用最广的一类信号，通常所指的信号主要是指电信号。信号是时间或空间的函数，例如，信号发生器产生的各类信号是时间变量的函数；由位于平面上不同位置呈现不同灰度的像点所组成的静止平面图像是两个平面坐标的函数。信号可以利用数学解析式来表示，也可以利用图形来描述。根据信号所具有的时间函数特性，可将信号分为确定性信号与随机性信号、数字信号与模拟信号、连续信号与离散信号、周期信号与非周期信号、能量信号与功率信号。虚拟仪器常用信号如图 1-7 所示。

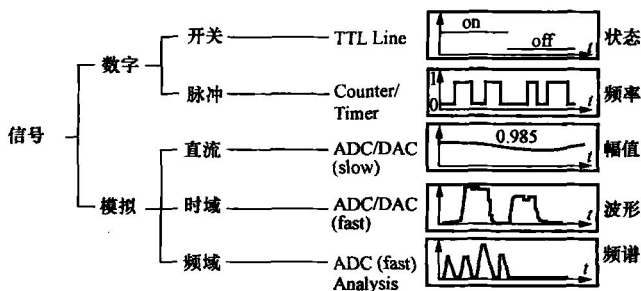


图 1-7 虚拟仪器常用信号

传统的测试系统与仪器仪表由硬件电路执行对数据的各种运算与信号的分析、处理，因而只能获得有限的信息与测量功能。现代测试系统与仪器仪表的核心是计算机，利用计算机进行数学运算与信号分析处理，可以获取最大限度的信息与测量功能。在测试系统硬件平台上，调用不同的测试软件就构成不同功能的仪器，因此，软件在系统中占有十分重要的地位。在大规模集成电路迅速发展的今天，系统硬件集成越来越简化，反之，软件越来越复杂、越来越重要，是未来发展和竞争的焦点。有专家预言：“在测试平台上，下一次变革就是软件”，并且有“硬件平台确定后，软件就是仪器”的说法。

## 二、传感器

传感器完成信号的获得，它将规定的被测参量按一定规律转换成相应的可用输出信号，被测参量可以是各种非电参量，也可以是电气参量。根据国际电工委员会（IEC）的定义可知，传感器是测量系统中的一种前置部件，它将输入变量转换成可供测量的信号。广义上来说，传感器就是能感知外界信息并能按照一定规律将这些信息转换成可测信号的装置；狭义上来说，传感器是将外界信号转换为电信号的装置。

传感器通常由敏感元件、传感元件和转换电路三部分组成，如图 1-8 所示。其中，敏感元件用于直接感受被测量，并以确定关系输出某一物理量；传感元件用于将敏感元件输出的非电物理量转换成电路参数或电量；转换电路用于将电路参数转换成便于测量的电量。某些半导体敏感元件可以直接输出电信号，其本身就构成传感器。



图 1-8 传感器的组成框图

传感器是新技术革命和信息社会的重要技术基础。随着微处理器技术、微机械加工技术、通信技术以及数据处理技术的迅猛发展，传感器正朝着智能化、网络化、微型化、集成化方向发展。

智能传感器是 20 世纪 80 年代末出现的一种新型传感器，其本质是以微处理器为核心单元，此类传感器在分布式测量、网络测量和多信号测量方面受到广泛关注。智能传感器的发展经历了初级智能化、自立智能化、高级智能化三个阶段。在初级智能化阶段，传感器仅具有转换信号、改善非线性误差、提高精度等功能；在自立智能化阶段，传感器具有自我诊断、自我校正、就地处理和自适应的功能；在高级智能化阶段，传感器具有多维检测、特征检测、图像处理、图像识别等功能。智能传感器是一个以微处理器为内核、扩展了外围部件的计算机化的检测系统。相对于一般的传感器，智能传感器具有以下突出的特点：

- (1) 具有判断和信息处理功能，可以对测量值进行修正、误差补偿，测量精度较高。
- (2) 具有自诊断和自校准功能，提高了可靠性。
- (3) 测量数据可以存取，灵活方便。
- (4) 具有数据通信接口，能与微型计算机直接通信。

智能传感器是传统传感器与微处理器结合的产物，它使传感器具有信号检测、信号处理及编程控制等功能，而网络传感器在智能传感技术的基础上又融合了通信技术和计算机技术，使传感器具备了网络通信功能，真正成为统一协调的新型智能传感器。

网络传感器一般由信号采集、数据处理和网络接口等三部分组成，网络传感器的关键技术是网络接口技术。为了解决智能传感器的兼容性问题，并实现在网络条件下传感器接口的标准化，IEEE 制定了针对网络传感器的接口标准 IEEE1451。该标准的出现为网络传感器的设计和开发提供了一个可以共同遵循的基础。IEEE1451 将网络传感器的功能划分成两个模块：网络适配处理器模块和智能传感器（变送器）接口模块，它们分别对应 IEEE1451.1 和 IEEE1451.2 分协议标准。

作为传感器技术发展的新趋势，网络传感器使传感器由单一功能、单点检测向多功能、多点检测方向发展，从被动检测向主动进行信息处理方向发展，从就地测量向远距离实时在

线测控方向发展。它在军事国防、城市管理、环境监测、危险区域远程控制等领域有着重要的科研价值和实用价值，已成为 21 世纪以来公认的新兴前沿热点研究领域。

### 三、信号调理

来自传感器的输出信号通常是含有干扰噪声的微弱信号，因此，后面配接的信号调理电路的基本作用如下：

(1) 放大功能。放大是最为普遍的信号调理功能。例如，需要对热电偶的信号进行放大以提高采样分辨率和降低噪声。为了得到最高的分辨率，要对信号放大以使调理后信号的最大电压范围和 ADC 的最大输入范围相等。又例如，SCXI 有多种信号调理模块可以放大输入信号，在临近传感器的 SCXI 机箱内对低电压信号进行放大，然后把放大后的高电压信号传送到采集设备，从而最大限度地降低噪声对读数的影响。

(2) 隔离功能。另一种常见的信号调理应用是为了安全目的，把传感器的信号和计算机相隔离。被监测的系统可能产生瞬态的高压，如果不使用信号调理，这种高压会对计算机造成损害。使用隔离的另一原因是为了确保插入式数据采集设备的读数不会受到接地电势差或共模电压的影响。当数据采集设备输入和所采集的信号使用不同的参考“地线”，而一旦这两个参考地线有电势差，就会带来麻烦。这种电势差会产生接地回路，这样就将使所采集信号的读数不准确；或者如果电势差太大，它也会对测量系统造成损害。使用隔离式信号调理能消除接地回路并确保信号可以被准确地采集。例如，SCXI-1120 和 SCXI-1121 模块能提供高达  $250V_{rms}$  的共模电压隔离，SCXI-1122 能提供高达  $450V_{rms}$  电压隔离。

(3) 多路复用功能。多路复用是使用单个测量设备来测量多个信号的常用技术。模拟信号的信号调理硬件常对如温度这样缓慢变化的信号使用多路复用方式。ADC 采集一个通道后，转换到另一个通道并进行采集，然后再转换到下一个通道，如此往复。由于同一个 ADC 可以采集多个通道而不是一个通道，每个通道的有效采样速率和所采样的通道数成反比。例如， $1MS/s$  的 PCI-MIO-16E-1 采样通道为 10 个，那么每个通道的有效采集速率大约为  $1MS/s/10=100kS/s$ 。

(4) 滤波功能。滤波器的功能是指在所测量的信号中滤除不需要的信号。例如，噪声滤波器用于如温度这样缓变信号，它可以衰减那些降低测量精度的高频信号。许多 SCXI 模块在使用数据采集设备对信号数字化前使用  $4Hz$  和  $10kHz$  的低通滤波器来滤除噪声。如振动这样的交流信号常常需要另一种被称为抗混频的滤波器。抗混频滤波器是低通滤波器，然而，它需要有非常陡的截止频率，从而可以滤除信号中所有高于设备输入波段的频率，如果这些频率没有被滤除，它们将会作为信号错误地出现在设备输入带宽中。专为测量交流信号而设计的设备——NI 455x、NI 445x 和 NI 447x 动态信号采集 (DSA) 设备、NI 6115 同步采样多功能 I/O 设备、SCXI-1141 模块都有内置的抗混频滤波器。

(5) 激励功能。对于某些传感器信号调理也需要提供激励源。例如，应力计、热敏电阻器和 RTD 需要有外部电压或电流激励信号，用于这些传感器的信号调理模块常用来提供激励信号，RTD 测量常使用电流源来把电阻上的变化量转化为可测量电压；应力计是阻值非常低的电阻设备，常用于配有电压激励源的惠斯通电桥。SCXI-1121 和 SCXI-1122 调理模块有板载的激励源，可配置为电流或电压激励，从而可用于压力计、热敏电阻器或 RTD。

(6) 线性化功能。另一种常见的信号调理功能是线性化功能。许多传感器，如热电偶，对被测量物理量的响应是非线性的。NI 的 NI-DAQ、LabVIEW、Measurement Studio 和

VirtualBench 等应用软件包含了应用于热电偶、压力计和 RTD 的线性化功能。

#### 四、数据采集

利用仪器测量的物理量大都以连续的模拟信号形式存在。对于这些信号，在利用微处理器进行分析和处理之前必须首先转换成数字信号，这个过程通常由数据采集系统完成。要把数据采集到计算机里并进行相应的处理，需要构建一个完整的数据采集（Data Acquisition, DAQ）系统。它包括传感器（或变换器）、信号调理设备、数据采集卡（或数据采集装置）、驱动程序、硬件配置管理软件、应用软件和计算机等。

对于连续的模拟信号  $x(t)$ ，数据采集系统按一定的时间间隔  $T$ 、对其瞬时值进行抽样，得到时间上离散的模拟信号  $x_s(nT)$ ，这个过程称为采样；将  $x_s(nT)$  以某个最小数量单位的整数倍来度量，变为离散的数字信号  $x_q(nT)$ ，这个过程称为量化； $x_q(nT)$  经过编码后，便转换成离散的数字信号  $x(n)$ ，即时间和幅值都是离散的信号，简称为数字信号。

对于数据采集来说，采样频率（采样间隔的倒数，简称采样率）是一个非常重要的参数。要确定适当的采样频率，需要综合考虑被测信号的最高频率成分、测量系统所要达到的精度、系统的噪声以及数据采集板卡的性能等。采样率过低时，由采样的数据所还原的原始信号频率与原始信号可能不同，这种信号畸变称为混叠。为了避免混叠现象的发生，通常在信号被采集之前，使其经过一个低通滤波器，将信号中过高的频率成分滤掉。这种滤波器称为抗混叠滤波器。在确定采样频率时，人们可能会考虑采用数据采集卡支持的最高频率。但是需要注意的是，过高的采样率可能导致计算机内存相对不足以及硬盘存储数据量变大。根据采样定理， $f_s$  设置为被采信号最高频率成分  $f_m$  的 2 倍就可以了，但在实践中，为了较好地还原信号波形， $f_s$  通常取为  $(5\sim 10) f_m$ 。

数据采集简称 DAQ，是实现测量现实世界信号如电压，并把这些信息发送到计算机用于处理、分析、储存或其他数据操作的简单过程。数据采集装置直接与计算机的总线相连，它把数据送到计算机中。比较常见的数据采集装置有插入式数据采集卡，它可以直接插到台式计算机的 PCI 槽中；通过各种其他总线（例如并口、串口、USB 口等）与计算机相连的外置式数据采集设备。LabVIEW 能够控制 DAQ 设备，读取模拟输入信号（A/D 转换）、产生模拟输出信号（D/A 转换）、读/写数字信号，并操作板卡自带的计数器用于测量频率、产生脉冲信号、测量正交编码器等，与变换器进行信息交换。在模拟输入的情况下，从传感器来的电压值传送到计算机的插卡式 DAQ 设备中，该设备再将数据传送到计算机存储器进行存储、处理或执行其他操作。

#### 五、模拟输入

以下模拟输入的技术说明中将给出关于数据采集产品的精度和功能的信息。基本技术说明适用于大部分数据采集产品，包括通道数目、采样速率、分辨率和输入范围等方面的信息。

(1) 通道数。对于采用单端和差分两种输入方式的设备，模拟输入通道数可以分为单端输入通道数和差分输入通道数。在单端输入中，输入信号均以共同的地线为基准。这种输入方法主要应用于输入信号电压较高（高于 1V），信号源到模拟输入硬件的导线较短（低于 4.572m），且所有的输入信号共用一个基准地线。如果信号达不到这些标准，此时应该用差分输入。对于差分输入，每一个输入信号都有自有的基准地线；由于共模噪声可以被导线所消除，从而减小了噪声误差。

(2) 采样速率。这一参数决定了每秒钟进行模/数转换的次数。一个高采样速率可以在给



定时间内采集更多数据，因此能更好地反映原始信号。

(3) 分辨率。分辨率可以用模/数转换的位数来衡量。ADC 的位数越多，分辨率就越高，信号范围被分割成的区间数目越多，因此，能探测到的电压变量就越小。在恰当地设计模拟输入电路其他部分的情况下，可以对模拟信号进行非常准确的数字化。

(4) 量程。量程是模/数转换器可以量化的最小和最大电压值之差。NI 公司的多功能数据采集设备能对量程范围进行选择，可以在不同输入电压范围内进行配置。由于具有这种灵活性，可以使信号的范围匹配 ADC 的输入范围，从而充分利用测量的分辨率。

(5) 编码宽度。数据采集设备上可用的量程、分辨率和增益决定了最小可探测的电压变化。此电压变化代表了数字值上的最低有效位 1 (LSB)，也常被称为编码宽度。理想的编码宽度为电压范围除以增益和 2 的分辨率次幂的乘积。例如，NI 的一种 16 位多功能数据采集设备——NI6030E，它可供选择的范围为 0~10V 或 -10~10V；可供选择的增益：1, 2, 5, 10, 20, 50 或 100。当电压范围为 0~10V，增益为 100 时，理想的编码宽度由下式决定：

$$\frac{10}{100 \times 2^{16}} = 1.5 \mu\text{V} \quad (1-1)$$

(6) 模拟输入的重要因素。尽管前面所提到的数据采集设备具有 16 位分辨率的 ADC 和 100 kS/s 采样率这样的基本指标，但是可能无法在 16 个通道上进行全速采样，或者得不到满 16 位的精度。例如，目前市场上的某些带有 16 位 ADC 的产品所得到的有效数据要低于 12 位。为了确定所要用的设备是否能满足所期待的结果，需要仔细审查那些超出产品分辨率的技术指标。

评估数据采集产品时，还需要考虑微分非线性度 (DNL)、相对精度、仪用放大器的稳定时间和噪声等。

(7) 微分非线性度 (DNL)。在理想情况下，当提高一个数据采集设备上的电压值时，模/数转换器上的数字编码也应该线性增加。如果对一个理想的模/数转换器测定电压值与输出码的关系，绘出的线应是一条直线。这条理想直线的离差被定义为非线性度。DNL 是指以 LSB 为测量单位，和 1LSB 理想值的最大离差。一个理想的数据采集设备的 DNL 值为 0，一个好的数据采集设备的 DNL 值应在  $\pm 0.5\text{LSB}$  以内。

对于一个编码应该有多宽，没有更多的限制，编码不会比 0LSB 更小，因此，DNL 肯定是小于 -1LSB，一个性能较差的数据采集设备可能有一个等于或非常接近零的编码宽度，这意味着会有一个丢失码，对一个有丢失码的数据采集设备无论输入什么电压，设备都无法将此电压量化为丢失码所表示的值，有时 DNL 指标显示数据采集设备没有丢失码，这意味着 DNL 低于 -1LSB，但是没有上边界的技术指标。

(8) 相对精度。相对精度是指相对理想数据采集的转换函数（一条直线），最大离差的 LSB 测量位数。数据采集设备的相对精度是通过连接一个负的满量程电压来确定的，采集电压，增加电压值，重复这些步骤直至覆盖设备的整个输入范围。

数据采集设备的驱动软件将模/数转换器输出的二进制码值通过乘以一个常数转化为电压值。良好的相对精度对数据采集设备很重要，因为它确保了将模/数转换器输出的二进制码值能被准确地转化为电压值。获得良好的相对精度需要正确地设计模/数转换器和外围的模拟电路。

(9) 稳定时间。稳定时间是指放大器、继电器或其他电路达到工作稳定模式所需要的时间。