

虚拟仪器技术概论

杨乐平 李海涛 肖凯 杨磊 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

[http:// www.phei.com.cn](http://www.phei.com.cn)

虚拟仪器技术概论

杨乐平 李海涛 肖 凯 杨 磊 编著

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以虚拟仪器软件/硬件技术的最新发展为指南,系统介绍了虚拟仪器技术的基本概念、关键技术和实际应用的专门知识。

本书内容共8章。第1章绪论,概括论述了虚拟仪器组成、功能与特点;第2章和第3章主要论述了与虚拟仪器技术相关的软件标准和主要的软件开发平台;第4~7章主要从不同接口总线的特点,系统介绍了DAQ、GPIB、VXI和PXI等常见虚拟仪器的设计特性;第8章通过几个虚拟仪器技术应用实例分析,系统概括和总结了虚拟仪器设计的若干关键技术问题和解决方案。

本书可作为有关工程技术人员和软件工程师的应用参考书,也可作为大专院校相关专业教学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟仪器技术概论/杨乐平,李海涛,肖凯等编著. —北京:电子工业出版社,2003.3

ISBN 7-5053-8532-1

I. 虚… II. ①杨…②李…③肖… III. 智能仪器 IV. TP216

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第007945号

责任编辑:刘志红

印 刷:北京四季青印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:455千字

版 次:2003年3月第1版 2003年3月第1次印刷

印 数:5000册 定价:28.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。

联系电话:(010) 68279077

前 言

从 20 世纪 80 年代开始,随着计算机技术的迅猛发展,虚拟仪器的概念逐步为工业界和学术界所认识,经过了 20 年的技术进步与发展,已经成为 21 世纪测试技术与仪器技术发展的一个重要方向,并且在研究、制造和开发等众多领域得到广泛应用。

所谓虚拟仪器,就是用户在通用计算机平台上,根据测试任务需求,定义和设计仪器的测试功能,使得使用者在操作这台计算机时,就像是在操作一台他自己设计的测试仪器,实现了计算机与测试仪器的一体化。虚拟仪器的出现,打破了传统仪器由厂家定义,用户无法改变的工作模式,使得用户可以根据自己的需求,设计自己的仪器系统。与传统仪器相比,虚拟仪器在经济性、灵活性、扩展性和可维护性等方面都具有独特的优势,实质上代表了一种创新的仪器设计思想。

虚拟仪器包括硬件和软件两个基本要素,硬件功能是获取被测的物理信号,提供信号传输的通道;软件则是实现数据采集、分析、处理、显示等功能,并将其集成为仪器操作与运行的一体化环境。总体上而言,虚拟仪器硬件技术以 VXI、PXI 等先进的计算机接口总线发展为标志,而软件技术则以 VISA、SCPI 和 IVA 等最新标准和 LabVIEW、LabWindows/CVI 等先进开发平台为核心,构成一个比较完整的虚拟仪器技术体系。

最近几年,虚拟仪器技术在国内普及和应用的速度加快,也陆续出版了一些关于虚拟仪器编程和计算机接口总线方面的教材或专著。本书有别于这些教材或专著的特点主要体现在两方面,首先是内容体系设计的系统性,其次是结构编排的实用性。本书内容体系设计以虚拟仪器为主线,将有关的软件/硬件技术综合为一个比较完整的虚拟仪器技术体系,使读者能够从系统集成的高度,掌握和了解虚拟仪器技术的整体概貌与系统构成。在结构编排上,本书十分强调内容连接之间的逻辑性和技术应用的针对性,书中提供的虚拟仪器设计实例都是作者在长期教学和科研实践中获得的成果与经验的总结,启发性强,实用性好,便于读者应用推广。

参加本书编写工作的有国防科技大学杨乐平教授、李海涛博士、肖凯博士和杨磊同学,全书由杨乐平教授统稿。由于编著者水平有限,书中难免有疏漏和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2002 年 12 月于长沙国防科技大学

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 测试与仪器	(1)
1.1.1 测试技术	(1)
1.1.2 仪器仪表	(2)
1.2 虚拟仪器	(5)
1.2.1 虚拟仪器概念	(5)
1.2.2 虚拟仪器组成与分类	(5)
1.3 虚拟仪器特点与应用	(7)
1.3.1 虚拟仪器特点	(7)
1.3.2 虚拟仪器技术应用	(7)
1.4 本书内容安排	(8)
第 2 章 虚拟仪器软件标准	(10)
2.1 概述	(10)
2.1.1 SCPI	(10)
2.1.2 VXI Plug&Play 与 VISA	(11)
2.1.3 仪器驱动器	(12)
2.1.4 IVI	(13)
2.2 程控仪器标准命令 SCPI	(15)
2.2.1 SCPI 仪器模型	(15)
2.2.2 SCPI 命令句法	(15)
2.2.3 常用 SCPI 命令简介	(20)
2.3 虚拟仪器软件体系 VISA	(22)
2.4 IVI 仪器驱动器	(26)
2.4.1 IVI 仪器规范	(26)
2.4.2 IVI 驱动器的功能	(27)
2.4.3 IVI 驱动器的特点	(30)
第 3 章 虚拟仪器开发环境	(32)
3.1 概述	(32)
3.2 LabWindows/CVI	(33)
3.2.1 LabWindows/CVI 开发环境	(33)
3.2.2 LabWindows/CVI 编程基础	(35)
3.2.3 用户界面设计	(43)
3.3 LabVIEW	(50)
3.3.1 LabVIEW 的安装	(50)

3.3.2	LabVIEW 的编程环境	(51)
3.3.3	基本概念与术语	(58)
3.3.4	LabVIEW 编程基础	(61)
3.3.5	VI 结构控制	(68)
3.4	HP VEE	(78)
3.4.1	HP VEE 开发环境	(78)
3.4.2	HP VEE 编程基础	(83)
3.4.3	HP VEE 中的结构控制	(94)
3.4.4	HP VEE 仪器控制	(98)
第 4 章	DAQ 仪器	(105)
4.1	概述	(105)
4.1.1	DAQ 仪器与总线	(105)
4.1.2	DAQ 仪器的特点	(106)
4.1.3	DAQ 仪器设计的关键技术	(107)
4.1.4	DAQ 仪器的发展趋势	(109)
4.2	ISA 与 PCI 总线	(110)
4.2.1	ISA 总线	(110)
4.2.2	PCI 总线	(110)
4.3	USB 总线	(113)
4.3.1	USB 简介与特点	(113)
4.3.2	USB 总线硬件	(114)
4.3.3	USB 系统结构	(116)
4.4	1394 总线	(118)
4.4.1	特点	(118)
4.4.2	拓扑结构	(119)
4.4.3	通信模型	(120)
4.4.4	线缆和连接器	(122)
4.5	IEEE-1284	(126)
4.6	PCMCIA 总线	(129)
4.6.1	PCMCIA 的由来	(129)
4.6.2	PC 卡	(129)
4.7	数据采集功能与配置	(131)
4.7.1	数据采集功能介绍	(131)
4.7.2	DAQ 设备的配置	(133)
4.8	常用 DAQ 仪器	(142)
4.8.1	8-21 位数字化仪 NI5911	(142)
4.8.2	动态信号采集器 NI4451	(144)
4.9	DAQ 仪器编程	(146)
4.9.1	数据采集系统基本组成	(146)

4.9.2	数据采集应用的相关概念	(147)
4.9.3	DAQ 仪器编程	(149)
第 5 章	GPIB 仪器	(156)
5.1	概述	(156)
5.2	GPIB 接口控制	(159)
5.2.1	GPIB 接口功能	(159)
5.2.2	GPIB 接口功能的实现	(161)
5.2.3	GPIB 接口配置	(162)
5.2.4	GPIB 接口控制器	(166)
5.3	GPIB 仪器	(167)
5.3.1	数字万用表 HP 34401A	(167)
5.3.2	数字示波器 HP 54603B	(172)
5.4	GPIB 仪器编程	(176)
5.4.1	GPIB 测试系统	(176)
5.4.2	GPIB 仪器编程	(176)
第 6 章	VXI 仪器	(179)
6.1	概述	(179)
6.2	VXI 总线规范	(180)
6.2.1	VXI 总线规范的目标与标准体系	(180)
6.2.2	VXI 总线的系统结构	(181)
6.2.3	VXI 总线器件模型	(184)
6.3	VXI 总线控制器	(186)
6.3.1	VXI 系统配置	(186)
6.3.2	嵌入式控制器	(188)
6.3.3	GPIB-VXIbus 控制器	(190)
6.3.4	VXI 总线扩展器 (VXI-MXI)	(192)
6.3.5	1394-VXI 控制器	(193)
6.4	VXI 仪器	(194)
6.4.1	VXI 仪器简介	(194)
6.4.2	VXI 仪器软件框架	(195)
6.4.3	两个典型 VXI 仪器	(196)
第 7 章	PXI 仪器	(201)
7.1	概述	(201)
7.2	PXI 总线定义与特点	(201)
7.2.1	PXI 机械规范及其特性	(202)
7.2.2	PXI 规范的电气性能	(204)
7.2.3	软件规范	(206)
7.3	PXI 机箱与控制器	(207)
7.3.1	PXI 机箱	(207)

7.3.2	PXI 控制器	(209)
7.4	PXI 仪器	(211)
7.4.1	NI 4060 数字万用表	(211)
7.4.2	NI 5411 任意波形发生器	(213)
7.5	PXI 测试系统与仪器编程	(215)
7.5.1	PXI 测试系统	(215)
7.5.2	PXI 仪器编程	(216)
第 8 章	虚拟仪器设计分析	(221)
8.1	概述	(221)
8.2	多功能 DAQ 虚拟仪器设计	(222)
8.2.1	虚拟数字示波器设计	(223)
8.2.2	虚拟任意波函数发生器设计	(230)
8.3	VXI 虚拟仪器设计	(235)
8.3.1	HP E1432A 驱动程序的准备	(236)
8.3.2	虚拟示波器设计	(239)
8.4	GPIB 仪器功能扩展	(245)
8.4.1	HP 33120A 仪器简介	(245)
8.4.2	HP 33120A 远程控制与功能扩展	(246)
8.5	网络化虚拟仪器技术	(257)
8.5.1	VI Server 技术	(257)
8.5.2	Web Server 技术	(258)
8.5.3	Remote Panel 技术	(260)
8.5.4	RDA 技术	(262)
8.5.5	DataSocket 技术	(263)
8.5.6	分布式 VXI 仪器教学试验系统	(264)
8.6	网上虚拟仪器实验室	(267)
8.6.1	概念	(267)
8.6.2	网上虚拟仪器实验室设计	(268)
参考文献		(273)

第 1 章 绪 论

虚拟仪器技术是测试技术和计算机技术综合集成的产物，代表了现代测试技术和仪器技术发展方向。本章通过对测试技术和仪器技术发展的概要论述，分析了虚拟仪器的概念、组成、特点与应用。

1.1 测试与仪器

1.1.1 测试技术

科学的发展和技术的进步是建立在人们认识客观世界能力提高的基础上，测量与测试就是人们描述对客观事物认识过程的两个基本术语。测量是人类认识客观世界最基本的方法。在所有的自然科学和工程技术领域所进行的一切研究活动，其目的都是探求客观事物的质与量的变化关系，而研究事物与量的关系都离不开测量。从广义上讲，测量本身是一种实验方法，也就是通过实验来获取客观世界定量信息的过程。一般来说，测量过程就是把待测量直接或间接地与另一类已知量进行比较，用已知量作为计量单位，求得待测量的过程。人们通过测量建立对客观事物属性量度的认识，并可通过对测量结果数据进行必要归纳和演绎，从中得到客观事物的变化规律，提出科学的理论，从这种意义上说，没有测量就没有科学。

测试概念的含义很广，一般泛指生产和科学实验中经常进行的满足一定准确度要求的试验性测量过程，可以从下面几方面理解测试与测量概念的区别。

- ▶ 测试可以是指试验研究性质的测量过程。这种测量可能没有正式计量标准，只能用一些有意义的方法或参数去“测评”对象状态或性能，比如对人能力的测评和不规则信号的测量都属这种性质。
- ▶ 测试也可指只着眼于定性而不着重定量的测量过程。比如，数字电路测试主要是确定逻辑电平的高低而非逻辑电平的准确值，这种测量过程也称为测试。
- ▶ 测试也可以是指试验和测量的全过程。这种过程既是定量的，也是定性的，其目的在于鉴定被测对象的性质和特征。

总之，测试与测量两个概念的基本含义是一致的，但测试概念的外延更宽，更注重强调试验性质与过程。

测试技术是一项涉及多个学科领域的综合性技术。概括起来，测试技术研究包括测量原理、测量方法、测量系统和数据处理四个方面。

1. 测量原理

测量原理是指测量所依据的物理原理。不同性质的被测量用不同原理去测量，同一性质的被测量也可用不同原理去测量。测量原理选择主要取决于被测量的物理化学性质、测量范围、性能要求 and 环境条件等因素。测量原理的更新和发展，新的测量原理的研究与探索始终

是测试技术发展的一个活跃领域。

2. 测量方法

测量方法是指人们依据测量原理完成测量的具体方式。通常我们按测量结果产生的方式，将测量方法分为直接测量、间接测量和组合测量三种。一般而言，间接测量和组合测量的测量误差比直接测量误差要大。

3. 测量系统

测量系统是指完成具体测量任务的各种仪器仪表所构成的实际系统。测量系统按照信息传输方式一般分为模拟式和数字式两种。数字式测量系统由于信息传输均采用数字化信息，所以具有抗干扰能力强，速度快，精度高，功能全等优点，代表目前与今后测试系统的发展方向。

4. 数据处理

测量数据的精度和可信度不仅取决于测量原理、测量方法和测量系统，同时在很大程度上也与数据处理密切相关。研究先进、快速、高效的数据处理算法；研制集数据采集、分析、管理和显示为一体的数据处理系统与软件，是现代测试系统一个重要的发展方向。

1.1.2 仪器仪表

仪器仪表是人们认识客观物质世界，探索自然规律和进行工业化生产必须的工具和物质手段。随着信息时代和知识经济时代的来临，仪器仪表已经逐渐超越了一般工具的范畴，变成了支撑人类社会有序、高效生产活动与现代社会生活的物质基础，成为推动信息社会和知识经济发展的技术保障。仪器仪表技术既是现代科技的前沿技术，也是信息产业的关键技术，是信息产业的基础与源头。现代科学部门中，如航空航天、高能物理、生物工程、新材料、新能源和环境保护等领域的研究与实验，都离不开先进仪器仪表技术的应用。

最早的仪器可以追溯到中国古代四大发明之一的指南针。19 世纪以来钟表技术和电磁技术的发展，为仪器仪表技术的发展奠定了坚实基础。20 世纪 50 年代初期，数字技术的出现使仪器仪表技术取得了重大突破，各种数字仪器把模拟仪器的精度、分辨率与测量速度提高了几个量级，为实现测试自动化打下了良好的基础。20 世纪 60 年代中期，计算机的引入使得测量仪器技术又一次取得了重大进展，仪器的功能发生了质的变化，从个别电量的测量转变成对整个测试对象系统特征参数的测试；从一般的测量数据接收、显示转变为集控制、分析、处理、计算与显示输出为一体的集成功能；从用单个仪器进行测量转变成用测量系统进行测量。20 世纪 70 年代，计算机技术在仪器仪表领域的进一步渗透，使电子仪器在传统的时域与频域之外，又出现了新的数据域（Data domain）测试，也就是对数字电路和系统进行检测、故障定位和诊断。20 世纪 80 年代，由于微处理器被广泛应用到仪器中，提出了智能仪器和个人仪器的概念，计算机与仪器的结合越来越紧密。由计算机作为控制器，不同仪器通过测试总线连接到一个测试系统，并且可以通过系统软件实现仪器控制和数据处理。20 世纪 90 年代，仪器仪表与测量科学进步取得重大突破，突出表现在以下几个方面：随着微电子技术的进步，仪器仪表的智能化、软件化和网络化水平不断提高；DSP 芯片的大量问世，

使仪器仪表数字信号处理功能大大加强;包括 VXI 总线和现场总线在内的各种先进测控总线的广泛应用,使测试仪器的实时性、灵活性和集成性显著提高。下面从过程控制仪表、电子测试仪器和 VXI 总线技术三方面概要论述仪器仪表的技术发展。

1. 过程控制仪表

工业过程控制仪表主要包括各种传感器、变送器、调节器、控制器和调节阀等设备,其发展经历了气动、电动单元组合仪表到目前流行的计算机分布式控制系统(Distributed Control Systems, DCS)和可编程控制器(Program Logic Controller, PLC)。DCS 已经走过了 20 多年的发展历程,以其高度的可靠性、方便的组态软件、丰富的控制算法、开放的连网能力等优点,得到迅速的发展,成为工业过程控制系统的主流。PLC 以其结构紧凑、功能简单、速度快、可靠性高、价格低等优点,近几年获得广泛应用,已成为与 DCS 并驾齐驱的另一种主流工业过程控制系统。发展以 PLC 为基础的 DCS 系统,已经成为今后工业过程控制仪表和系统的发展趋势。

现场总线(Fieldbus)技术是 20 世纪 90 年代迅速发展起来的一种用于将各种过程控制仪表与计算机连接的网络通信技术。有人预测,基于现场总线的过程控制系统(Fieldbus Control System, FCS)将逐步取代 DCS,成为工业自动化系统的主角。

随着全球工业化和信息化发展步伐加快,过程控制仪表产品的市场需求正在快速增长。据不完全统计,1996 年全球过程控制仪表产品市场销售额为 461 亿美元,2001 年增加到 599 亿美元,预计到 2006 年将达到 700 亿美元。

2. 电子测量仪器

电子测量仪器一般分为通用和专用仪器两类。通用电子测量仪器包括数字表、示波器、信号源、频谱仪等基础测量仪器;专用电子测量仪器则是指面向各种专门领域的仪器,如通信测量仪器和微波测量仪器等。

随着移动通信与网络通信的迅猛发展,近几年通信测试仪器以每年约 20%的速度增长,其技术特点主要表现在:通信测试仪器,尤其是专用综合测试仪器,是现代通信技术和电子测试技术高度结合的产品,技术更新换代快;除了测量传统的电气性能指标如电压、阻抗、灵敏度等参数,现代通信测试仪器主要或首先是检查被测对象(通信系统、线路、设备等)的运行是否符合通信协议;研制开发面向各种专门通信系统设备的多功能综合测试仪,是今后通信测试仪器发展的主要方向。

近几年,由于军事电子以及其他尖端技术的发展,对微波测量仪器的需求有增无减,包括了微波频谱仪、微波信号源在内的高档微波测量仪器。现代微波测试仪器尽管也引入了大量计算机技术以提高其精度、改善功能,但作为仪器核心部分的微波硬件的作用是不可替代的。近年来,国外一些大公司,一方面大力发展单片微波集成电路(MMIC)、微波混合集成电路,甚至开发一些专门用于测试仪器的微波芯片,在此基础上开发微波功能模块,如放大器、PIN 开关等;另一方面又开发推出高、精、尖的微波元器件,如超宽带大功率定向耦合器、大功率晶体管测试夹具和微波阻抗匹配探针等,有力推动了微波测量仪器产业的发展。目前高档微波仪器大部分被国外少数大公司垄断,因此在世界仪器市场上,出现了一般仪器价格下跌,而微波仪器价格却稳中有升的怪现象。

3. VXI 总线技术

VXIbus 是英文 VMEbus EXTENSIONS FOR INSTRUMENTATION 的缩写,意为“VMEbus 在仪器领域内的扩展”。它是由 HP, Colorado Data Sys, Racal Dane, Tektronix 和 Wavetek 等 5 家世界著名的仪器公司于 1987 年联合推出的一种开放的新一代自动测试系统工业总线标准。VXI 总线是计算机技术、数字接口技术与电子仪器测量技术相结合的产物,集中了工业标准 VME 总线高速通信和 GPIB 接口易于组合、程控简单的特点,实现了模块化仪器结构。与传统军用测试系统采用机架式结构相比,由各种 VXI 仪器模块组成的军用测试系统体积更小、功能更强、开放性更好、使用更灵活,并且 VXI 系统设计充分考虑了抗振、冷却、抗干扰等可靠性指标,适用于机动与现场条件下的高可靠性工作。1992 年 IEEE 正式制定了关于 VXI 总线的国际标准 IEEE1155。1995 年 VXI 即插即用 (VXI Plug&Play) 标准的推出,为 VXI 仪器驱动器标准化提供了依据,也使得 VXI 仪器朝实现虚拟仪器方向迈出了重要的一步。

虽然目前 VXI 总线已经成为 21 世纪航空、航天与军用测试系统的主体结构,但是在射频与微波测试等高端应用领域,VXI 总线系统应用技术目前还不够成熟,适用的仪器模块比较少。美国 HP 公司提出的与 VXI 系统结构类似的模块化测量系统 (MMS) 占主导地位。与 VXI 仪器模块相比,MMS 模块体积更大,功耗与冷却要求更高,电磁兼容性要求更强。

影响 VXI 系统应用的一个主要因素是一次性投资费用。虽然近几年 VXI 产品的价格下降了 30% 左右,但对一般用户,尤其是国内用户,价格仍然是 VXI 系统应用的一个制约因素。根据这种情况,1997 年,以美国 NI 公司倡议推出的 PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) 总线系统已经出现在国际市场上。PXI 系统以工业标准 PCI 总线为基础,利用了丰富的 PCI 模板资源,数据传输率可达 132 MB/s,应用软件开发与 VXI 系统一样,采用 VXI 即插即用标准。与 VXI 系统比较,PXI 系统的最大优势是价格。目前一个 PXI 系统价格大约是相同配置的 VXI 系统的一半,但 PXI 仪器模块种类还较少,PXI 总线的发展还有待进一步观察。

综上所述,仪器仪表领域技术发展主要体现以下特点:

- ▶ 随着微电子技术、纳米技术、激光技术和生物技术的发展,仪器仪表的工作原理与本质特征正在酝酿革命性变革,微型化、智能化和网络化将成为今后仪器仪表研究开发的主导方向;
- ▶ 仪器仪表设计更注重系统集成和性能价格比,普遍采用 EDA (电子设计自动化)、CAM (计算机辅助制造)、DSP (数字信号处理)、ASIC (专用集成电路) 及 SMT (表面贴装技术) 等新技术;
- ▶ 仪器仪表产品的数字化步伐加快,仪器即为 AD/DA、CPU 与软件的组合正在变为现实,一种集成的多功能仪器平台将有可能取代传统意义上的各种功能仪器 (如数字表、信号源和示波器等)。

1.2 虚拟仪器

1.2.1 虚拟仪器概念

所谓虚拟仪器 (Virtual Instrument, 简称 VI), 就是用户在通用计算机平台上, 根据需求定义和设计仪器的测试功能, 使得使用者在操作这台计算机时, 就像是在操作一台他自己设计的测试仪器一样。虚拟仪器概念的出现, 打破了传统仪器由厂家定义, 用户无法改变的工作模式, 使得用户可以根据自己的需求, 设计自己的仪器系统, 在测试系统和仪器设计中尽量用软件代替硬件, 充分利用计算机技术来实现和扩展传统测试系统与仪器的功能。“软件就是仪器”是虚拟仪器概念最简单, 也是最本质的表述。

测试仪器种类很多, 功能也各异。但不论是何种仪器, 其组成都可以概括为信号采集与控制单元、信号分析与处理单元和结果表达与输出单元等三部分。由于传统仪器这些功能单元基本上是由硬件或固化的软件形式存在, 因此只能由生产厂家来定义、设计和制造。从理论上而言, 在通用计算机平台上增加必要的信号采集与控制硬件, 就已经具备了构成测试仪器的基本条件, 关键是根据仪器的功能要求设计开发包括数据采集、控制、分析、处理、显示, 并且支持灵活的人机交互操作的系统软件。

虚拟仪器概念最早是由美国国家仪器公司 (National Instruments), 简称 NI, 在 1986 年提出的, 但其雏形可以追溯到 1981 年由美国西北仪器系统公司推出的 Apple II 为基础的数字存储示波器。这种仪器与个人计算机的概念相适应, 当时被称为个人仪器 (Personal Instrument)。个人仪器的设计思想代表了仪器技术与计算机技术相结合的发展趋势, 但是由于当时计算机软件发展水平的限制, 编写个人仪器的驱动程序和人机交互界面是一项专门的技术工作, 须由专业厂商才能完成, 这种状况使得个人仪器的推广与应用没有形成工业标准。从 20 世纪 80 年代中期开始, 微软公司 Windows 操作系统的出现, 使得计算机操作系统的图形支持功能得到很大提高。1986 年, NI 公司推出了图形化的虚拟仪器编程环境 LabVIEW, 标志着虚拟仪器设计软件平台基本成型, 虚拟仪器从概念构思变为工程师可实现的具体对象。

需要特别指出的是: 虚拟仪器实质上是一种创新的仪器设计思想, 而非一种具体的仪器。换言之, 虚拟仪器可以有各种各样的形式, 完全取决于实际的物理系统和构成仪器数据采集单元的硬件类型, 但是有一点是相同的, 那就是虚拟仪器离不开计算机控制, 软件是虚拟仪器设计中最重要, 也是最复杂的部分。

1.2.2 虚拟仪器组成与分类

虚拟仪器的组成包括硬件和软件两个基本要素。虚拟仪器中硬件的主要功能是获取真实世界中的被测信号, 而软件的作用是控制实现数据采集、分析、处理、显示等功能, 并将其集成为仪器操作与运行的命令环境。

虚拟仪器有多种分类办法, 既可以按应用领域分, 也可以按测量功能分, 但是最常用的还是按照构成虚拟仪器的接口总线不同, 分为数据采集插卡式 (DAQ) 虚拟仪器、RS232/RS422 虚拟仪器、并行接口虚拟仪器、USB 虚拟仪器、GPIB 虚拟仪器、VXI 虚拟仪器、PXI 虚拟

仪器和最新的 IEEE1394 接口虚拟仪器。

DAQ 虚拟仪器广泛应用于一般的测试系统与工业过程控制,并且正在从过去 16 位的标准 ISA 总线发展到 32 位的 PCI 总线插卡,为设计各种测试仪器提供了更好的数据采集和控制能力。当然,DAQ 虚拟仪器需要打开主机机箱连接,使用比较麻烦,并且容易将干扰引入计算机,因此,基于通用计算机标准配置接口的各种外接式虚拟仪器将成为发展方向。外接式方案避免了 PC 内部的噪声,特别适合于低电平信号应用,为仪器设计提供了更大的空间、更好的隔离能力和更方便的连接方式。RS232/RS422 串口在各种现场过程控制仪表中应用较多,支持长线传输,抗干扰能力强,但数据传输率低,不适合动态测试应用。并行接口也是一种比较传统的高速接口,一般打印机都配置并行接口,目前配置有并行接口的数字示波器、逻辑分析仪等虚拟仪器已经出现在市场上。当然,今后更有发展前途的是 USB 通用串行总线和 IEEE 1394 高速串行总线。USB 总线目前已经成为 PC 的标准配置,并且支持热插拔功能,IEEE 1394 总线在一些高档台式和笔记本微机上也已经开始流行。USB 和 IEEE 1394 总线最大的优点是数据传输率高,目前基于 IEEE 1394 总线的虚拟仪器已经达到 100Mb/s 的数据传输率,完全满足高性能动态测试的要求。

GPIB、VXI 和 PXI 总线都是专门为程控仪器设计的计算机接口总线,其中 GPIB 仪器具有独立的仪器操作界面,可以脱离计算机独立使用,也可以通过标准 GPIB 电缆连接计算机实施程序控制;而 VXI 和 PXI 仪器没有独立的仪器操作界面,必须依赖仪器驱动器提供的虚拟操作界面。

虚拟仪器软件开发环境是虚拟仪器技术的重要组成部分。一般而言,目前常用的可视化编程语言 Visual C++、Visual Basic 等都可用做虚拟仪器软件开发环境,但是虚拟仪器软件开发环境主要是面向测试工程师而非专业程序员,因此首先其编程必须简单、易于理解和修改;其次,它必须具有强大的人机交互界面设计能力,易于实现各种复杂的仪器面板;另外,它还必须具有数据可视化分析能力,提供丰富的仪器和总线接口硬件驱动程序。以 NI 公司的 LabVIEW 和 HP 公司的 HP-VEE 为代表的新一代图形化编程语言环境是目前开发虚拟仪器最佳的软件平台。与传统编程语言相比,图形化编程语言的主要特点包括:

- ▶ 系统提供各种测试、控制 and 数据分析功能模块的图标,用户可以根据实际需要来自定义或设置这些图标;
- ▶ 编程过程就是设计和定义程序流程图,通过连接代表各种功能模块的图标来建立具体的应用程序;
- ▶ 继承了传统编程语言中结构化和模块化的编程优点;
- ▶ 为仪器模拟面板设计、数据可视化分析提供了许多专门工具或对象,简化了系统开发,缩短了开发周期;
- ▶ 通过成熟的计算机网络技术,可将针对不同测控任务的仪器与设备连接成一个分布式虚拟仪器系统,从而避免了系统功能重复所造成的浪费。

1.3 虚拟仪器特点与应用

1.3.1 虚拟仪器特点

虚拟仪器是计算机技术介入仪器领域所形成的一种新型的、富有生命力的仪器种类。在虚拟仪器中计算机处于核心地位, 计算机软件技术和测试系统更紧密地结合, 形成了一个有机整体, 使得仪器的结构概念和设计观点等都发生了突破性的变化。从构成和功能上来说, 虚拟仪器就是利用现有的计算机, 配上相应的硬件和专用软件, 形成既有普通仪器的基本功能, 又有一般仪器所没有的特殊功能的高档低价的新型仪器; 从使用上来说, 虚拟仪器利用强大的图形化开发环境, 建立直观、灵活、快捷的虚拟仪器面板(即软面板), 可以有效地提高仪器的使用效率。虚拟仪器特点可以归纳概括为以下四个方面。

- ▶ 丰富和增强了传统仪器的功能。虚拟仪器将信号分析、显示、存储、打印和其他管理集中交由计算机来处理, 充分利用了计算机强大的数据处理、传输和发布能力, 使得组建系统变得更加灵活、简单。
- ▶ 突出“软件就是仪器”的新概念。传统仪器的某些硬件在虚拟仪器中被软件所代替, 由于减少了许多随时间可能漂移、需要定期校准的分立式模拟硬件, 加上标准化总线的使用, 使仪器的测量精度、测量速度和可重复性都大大提高。
- ▶ 仪器由用户自己定义。虚拟仪器通过提供给用户组建自己仪器的可重用源代码库, 可以很方便地修改仪器功能和面板, 设计仪器的通信、定时和触发功能, 实现与外设、网络及其他应用的连接, 给了用户一个充分发挥自己能力和想像力的空间。
- ▶ 开放的工业标准。虚拟仪器硬件和软件都制定了开放的工业标准, 因此用户可以将仪器的设计、使用和管理统一到虚拟仪器标准, 使资源的可重复利用率提高, 功能易于扩展, 管理规范, 生产、维护和开发费用降低。
- ▶ 便于构成复杂的测试系统, 经济性好。虚拟仪器既可以作为测试仪器独立使用, 又可以通过高速计算机网络构成复杂的分布式测试系统; 进行远程测试、监控与故障诊断。此外, 用基于软件体系结构的虚拟仪器代替基于硬件体系结构的传统仪器, 还可以大大节约仪器购买和维护费用。

1.3.2 虚拟仪器技术应用

虚拟仪器技术作为计算机技术与仪器技术相结合的创新技术, 应用前景十分广泛。从总体上而言, 虚拟仪器是测量/测试领域的一个创新概念, 改变了人们对仪器的传统观念, 适应了现代测试系统网络化、智能化发展趋势。虚拟仪器技术应用方式多种多样, 下面主要针对虚拟仪器技术在工业自动化、仪器制造和实验室方面的应用前景和效益进行分析。

1. 工业自动化

我国工业基础比较落后, 工业自动化程度远不能满足市场经济快速发展的需求。制约工业自动化水平提高的一个关键因素是企业缺乏开发自动化控制与管理软件的专业人才。许多

生产第一线的工程师熟悉设备与工艺流程,但不具备程序员的专门编程能力,往往控制系统软件都是交给研究所或大学的程序员编写,软件设计与使用脱节。传统的软件设计方法使得实际工程人员很难掌握和修改专业人员编写的软件,工作积极性和创造性受到影响,许多项目实际应用效果并不理想。虚拟仪器设计所采用的图形化编程语言,十分适合工程师应用,有利于提高企业自主开发和管理项目的能力,降低工业自动化技术改造的成本。另一方面,采用虚拟仪器技术,根据实际工艺流程和控制要求,将分布在企业不同位置的各种测量仪表和控制装置连接为一个网络系统,通过计算机实施集中控制和管理,可以改变采用传统单元仪表分散工作时成本高、维护困难、资源配置重复等缺点,提高工业自动化改造的经济效益,降低管理成本。

2. 仪器产业改造

仪器制造业是代表一个国家科技和工业发展水平的一个重要领域。是否具备各种先进和高性能仪器,对整个国家的科技开发能力、国防高科技水平和工业现代化水平都有直接或潜在的重要影响。由于工业基础比较落后,我国的仪器制造,尤其是高性能科学仪器的制造还远远不能满足国防与经济建设发展的需要。目前,像数字示波器、频谱分析仪和逻辑分析仪等中高档仪器还主要依赖进口,即使像数字万用表、函数发生器等基础测量仪器,国产与进口产品在功能、易用性等方面仍然存在差距。传统台式仪器制造水平不仅取决于设计,还依赖于工艺和加工水平,因此短期内提高有一定困难。采用虚拟仪器技术,将过去仪器中许多靠硬件实现的功能用软件来代替,利用商品化的数据采集和 PC 技术,完全可以开发出各行各业急需的各种测量仪器,缩短我国与先进国家在仪器领域的差距。这是采用高新技术改造传统产业的一个大有可为的领域。

3. 实验室应用

电子仪器与测试实验室是高等工科院校必备的教学实验条件。为了提供一定的实验规模,保证每个学生得到实际动手能力的训练,传统的教学实验室一般需购置大量的基础测量仪器,如示波器、万用表、信号源等,投资大、技术更新快、维护困难。利用虚拟仪器技术,我们可以设计出与实际仪器在原理、功能和操作等方面完全一样的全软件虚拟仪器。利用这些虚拟仪器,学生在计算机上就可以学习和掌握仪器原理、功能与操作,并通过仪器与仪器、仪器与电路的相互配合,完成实际测试过程,达到与用实际仪器教学的相同目的。这种思想对从根本上改变传统实验教学方法,降低实验室建设与管理成本,实现远程实验教学具有重要参考价值。我们目前完成的研究结果表明:采用虚拟仪器技术,完全可以实现设计虚拟电子仪器实验室的设想。通过这样一种实验方式,也可以培养学生的求知兴趣和创新能力。随着计算机的普及,虚拟仪器甚至可以进入中学物理和化学实验课堂。

1.4 本书内容安排

虚拟仪器技术是一项涉及多种技术领域的综合性技术,并且也是一项仍然在不断发展的新技术。总体上而言,虚拟仪器技术包含软件/硬件两个层次的内容。本书内容安排以虚拟仪器软件/硬件为两条主线,软件以虚拟仪器软件标准和虚拟仪器软件开发平台为中心,硬

件则以不同的接口总线为核心展开论述。

正如本章前面所论述的，软件是虚拟仪器的核心。一方面虚拟仪器概念首先是基于 LabVIEW 图形化编程语言的出现而提出的；另一方面标准程控命令（Standard Commands for Programmable Instruments, SCPI）和虚拟仪器软件规范（Virtual Instrument Software Architecture, VISA）等软件标准为虚拟仪器的发展建立了开放的技术平台。本书第 2 章主要论述了与虚拟仪器相关的软件标准，而第 3 章则主要论述了常用的虚拟仪器软件开发平台。

要保证虚拟仪器具备与传统仪器相匹配的实时处理能力和可靠性，其接口总线的结构、速度和可靠性是十分重要的。另外，虚拟仪器的使用操作性能如对低层硬件资源的控制、软件编程能力，对工作环境要求如电源可靠性、冷却能力、抗震与电磁兼容性等都与接口总线标准密切相关。因此，按照不同接口总线特点，本书第 4 章、第 5 章、第 6 章和第 7 章分别介绍了 DAQ 仪器、GPIB 仪器、VXI 仪器和 PXI 仪器，每章都按照接口总线硬件特性、总线控制器、常用仪器和软件编程等内容展开论述。最后第 8 章通过几个虚拟仪器技术应用实例分析，系统概括和总结了虚拟仪器设计的若干关键技术问题和解决方案。