



高等学校“十三五”规划教材

虚拟仪器系统集成与 工程应用

杨小强 张海涛 李焕良 等著

北京

冶金工业出版社

2018

前言

美国国家仪器公司 (NI) 的虚拟仪器技术为测试测量和自动化领域带来了一场变革, 将信息技术、测试技术、传感器技术和人工智能等各种技术与创新的软、硬件平台进行组合与集成, 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。

使用虚拟仪器技术使开发人员可以利用图形化的开发平台方便高效地构建完全自定义的解决方案, 以满足多种多样的需求趋势。以 NI 为代表的仪器生产厂商提供了从串口总线仪器、GPIB 总线设备、CAN 总线设备到模块化的仪器设备, 如 PXI 和 VXI 等仪器设备, 供开发人员进行虚拟仪器和测试系统的构建与集成应用, 还提供了从 LabVIEW、Agilent VEE 图形化开发语言到 LabWindows/CVI、Measuremt Studio 等基于文本编程的虚拟仪器开发平台, 极大地方便了开发人员的科研、教学与工程应用。与此同时, 虚拟仪器的硬、软件开发平台涉及多种技术, 虚拟仪器系统的组件和集成牵涉到多学科、多领域、多环境和多用户的合作, 虚拟仪器系统中的总线技术、软件控制技术、编程技术、硬件技术、测试与诊断技术、集成技术又是复杂多样的。国际国内虽有标准可依, 但各标准之间的一致性、适用性和规范性不完全一致, 而且标准还处于变化之中, 这些都给虚拟仪器系统的开发、集成、使用与维护带来了极大的挑战和压力。

为了借鉴各方面的成功经验, 提高虚拟仪器的研发水平, 本书集作者长期的教学经验和科研工作成果, 并荟萃了虚拟仪器系统开发与系统集成技术的理论与成果, 尽量反映这一学术领域的当代发展水平, 力图使读者掌握虚拟仪器硬、软件集成的基本技术和方法, 重点掌握系统集成, 以提高解决实际问题的能力。全书努力做到表述清晰、深入浅出, 对典型虚拟仪器系统的集成技术进行全面的阐述。

全书共分 7 章。第 1 章绪论, 主要介绍了仪器技术的发展概况, 虚拟仪器的基本概念与系统构成以及虚拟仪器系统集成的基本概念与意义。第 2 章在简述虚拟仪器总线技术的基础上, 详细介绍了虚拟仪器系统的硬件集成过程, 重点是控制器 (主控计算机) 的选型与配置、通讯总线接口配置等, 并论述了虚

拟仪器硬件系统的可靠性和安全性设计。第3章对虚拟仪器控制软件的技术规范进行了系统介绍,包括可编程仪器标准指令 SCPI 的定义与应用,虚拟仪器软件架构 VISA 的结构与使用方法,即插即用软件规范 VPP 的特点、框架与应用方法等,最后介绍了可互换虚拟仪器规范 IVI 的工作原理与开发技术。第4章介绍了 VXI 总线的机械规范、电气规范和通讯规范以及 VXI 总线虚拟仪器系统的硬件集成步骤,包括机箱、控制器、仪器模块和信号连接装置等的选型与设计。第5章介绍了 PXI 总线模块化仪器系统的各种规范、工作原理、构建与集成步骤,并介绍了其中的注意事项、相关应用和典型单元的选型与设计。第6章介绍了基于 PC 的数据采集系统的种类、特点与工程应用,讨论了基于数据采集系统的虚拟仪器的构建与集成方法,包括传感器选型、DAQ 硬件选型、总线和控制器的选型及驱动程序和软件平台的选择等。第7章为案例分析,以一个工程装备故障检测系统为例,具体地介绍了该设备的总体设计,包括需求分析、硬件结构确定、总线选型、适配器设计等,并阐述了系统硬件的构建与集成。

本书由杨小强总体设计,编著者均为从事机械装备测试、维修和信息化等方面的教学科研方面的有关专家。编写人员的具体分工为:张海涛编写第1章、第3章的部分内容,李焕良编写第2章的部分内容,马光彦编写第4章的部分内容,李峰编写了第5章的部分内容,其余内容均由杨小强编写并完成了全书的汇总并统稿。

由于虚拟仪器技术涉及学科门类众多,其本身又处于不断发展之中,加之编著者水平所限,书中错误与不当之处,敬请批评指正,不吝赐教。

编著者

于中国人民解放军陆军工程大学

2017年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 仪器技术发展概况	1
1.2 虚拟仪器基本概念	3
1.2.1 虚拟仪器面板	4
1.2.2 由软件编程来实现仪器功能	4
1.3 虚拟仪器的系统构成	5
1.4 虚拟仪器系统集成的基本概念及意义	8
习题	10
第2章 虚拟仪器系统的硬件集成技术	11
2.1 虚拟仪器硬件	11
2.2 虚拟仪器系统总线	13
2.2.1 总线的分类	13
2.2.2 总线的基本规范内容	15
2.2.3 总线的性能指标	15
2.2.4 总线系统的优越性	16
2.2.5 虚拟仪器与测控系统总线	17
2.2.6 虚拟仪器应用总线的选型	25
2.3 虚拟仪器系统硬件集成	27
2.3.1 影响虚拟仪器系统硬件集成的主要因素	27
2.3.2 虚拟仪器系统硬件集成过程	28
2.3.3 虚拟仪器系统硬件集成策略	32
2.4 主控计算机(控制器)的选择与配置	32
2.4.1 外置式控制器	33
2.4.2 嵌入式控制器	34
2.5 信号接口装置设计	34
2.5.1 信号接口装置的类型	34
2.5.2 通用信号接口装置机械结构	35
2.6 可靠性与安全性设计	35
2.6.1 可靠性设计	35
2.6.2 抗干扰设计	36
2.6.3 安全性设计	40

小结	42
习题	43
第3章 虚拟仪器控制软件技术	44
3.1 可编程仪器标准指令 SCPI	44
3.1.1 SCPI 仪器模型	44
3.1.2 SCPI 命令分类	45
3.1.3 SCPI 命令规范	46
3.1.4 工作流程	49
3.1.5 SCPI 命令系统集成案例	50
3.2 VISA	53
3.2.1 VISA 概述	53
3.2.2 VISA 资源管理器	56
3.2.3 VISA 资源模板	60
3.2.4 VISA 资源类	68
3.2.5 VISA 在编程中应用	70
3.2.6 虚拟仪器的软面板	72
3.2.7 NI VISA 软件的安装及 VXI 系统硬件互连	74
3.3 VPP	75
3.3.1 仪器驱动程序	76
3.3.2 VPP 在编程中的应用	82
3.4 IVI	83
3.4.1 IVI 技术的特点	83
3.4.2 IVI 驱动器的类型及互换性的实现原理	83
3.4.3 IVI 驱动器的工作原理	84
3.4.4 IVI 仪器驱动器的开发流程	86
3.4.5 仪器驱动器属性的设置	87
3.4.6 IVI 软件的安装与应用	88
小结	91
习题	91
第4章 VXI 总线技术规范与系统集成	92
4.1 概述	92
4.1.1 VXI 总线的产生背景	92
4.1.2 VXI 总线的特点	92
4.1.3 VXI 总线技术规范文本	93
4.2 VXI 总线的机械规范	94
4.2.1 VXI 总线模块结构	95
4.2.2 VXI 总线仪器的主机箱	96
4.3 VXI 总线的电气规范	97

4.3.1	VXI 子总线	98
4.3.2	系统管理控制(零槽资源控制器)	102
4.3.3	VXI 总线仪器的环境适应性要求	103
4.4	MXI 接口总线	105
4.4.1	MXI 总线的结构	106
4.4.2	MXI 的连接方式	106
4.4.3	MXI 总线的应用	107
4.5	VXI 总线的系统结构	109
4.5.1	系统结构概述	109
4.5.2	VXI 总线系统器件及其操作	111
4.6	VXI 总线虚拟仪器系统集成	113
4.6.1	VXI 系统方案设计步骤	113
4.6.2	VXI 总线系统控制器的选择	114
4.6.3	VXI 总线系统主机箱的选择	117
4.6.4	VXI 总线系统仪器模块的选择	119
	小结	119
	习题	119
第 5 章	PXI 总线技术规范与系统构建	120
5.1	概述	120
5.1.1	PXI 总线的发展历程	120
5.1.2	PXI 总线结构特点	120
5.2	PXI 机械规范	121
5.2.1	模块尺寸与连接器	121
5.2.2	机箱与系统槽	122
5.2.3	PXI 徽标和兼容性标志	124
5.2.4	环境测试	125
5.2.5	制冷规范	125
5.2.6	机箱和模块的接地需求和 EMI 指导方针	125
5.3	PXI 电气规范	125
5.3.1	PXI 连接器引脚定义	125
5.3.2	PXI 信号	126
5.3.3	机箱电源规范	130
5.4	PXI 软件规范	130
5.4.1	系统软件框架标准	131
5.4.2	对已有仪器标准的支持	132
5.4.3	系统实现的其他问题	132
5.5	PXI 系统构成与特点	133
5.5.1	机箱	133
5.5.2	控制器	135

5.5.3	PXI 接口模块	138
5.5.4	PXI 设备/模块	139
5.6	PXI 仪器系统的组建与应用	142
5.6.1	PXI 仪器系统的组建	142
5.6.2	PXI 系统应用中需要注意的问题	144
5.6.3	PXI 系统的应用	144
	小结	145
	习题	145
第 6 章	基于数据采集系统的虚拟仪器及其集成	146
6.1	数据采集系统概述	146
6.2	数据采集系统的组成	147
6.2.1	数据采集系统的基本组成	147
6.2.2	数据采集传感器	148
6.2.3	信号调理设备	154
6.2.4	数据采集与分析硬件	155
6.2.5	计算机与软件	156
6.3	数据采集(DAQ)设备	157
6.3.1	数据采集(DAQ)硬件关键特性参数	157
6.3.2	基于 USB 总线的 DAQ 设备	157
6.3.3	PCI 数据采集卡	158
6.3.4	CompactDAQ	162
6.4	数据采集系统构建与集成	164
6.4.1	数据采集系统构建方法	164
6.4.2	传感器的选型	164
6.4.3	数据采集设备的设计与选型	165
6.4.4	数据采集系统总线选择	168
6.4.5	数据采集系统主控计算机的选型	168
6.4.6	驱动软件的选择	172
6.4.7	为测量系统选择合适的应用开发软件	173
6.4.8	数据采集系统集成	175
6.5	数据采集系统构建典型案例	176
6.5.1	力、载荷与扭矩	176
6.5.2	测压元件的工作原理	176
6.5.3	测压元件的选择	177
6.5.4	扭矩传感器的工作原理	178
6.5.5	如何选择扭矩传感器	179
6.5.6	载荷和扭矩传感器的信号调理	180
	小结	180
	习题	180

第7章 工程装备故障检测系统设计	181
7.1 概述	181
7.1.1 虚拟仪器的通用设计流程	181
7.1.2 故障检测系统的设计原则与设计依据	182
7.2 故障检测虚拟仪器系统的总体设计	182
7.2.1 被测对象检测需求分析	182
7.2.2 总体结构设计	184
7.3 PXI 模块化仪器(现场检测诊断平台)构建	185
7.3.1 虚拟仪器主控计算机选型	185
7.3.2 数据采集(DAQ)模块的选型	185
7.3.3 多路开关模块的选型	186
7.3.4 串口通讯模块的选型	187
7.3.5 PXI 机箱的选型	187
7.3.6 嵌入式控制器的选型	187
7.3.7 显示控制单元的设计与选型	188
7.4 适配器设计	188
7.4.1 适配器简介	188
7.4.2 上装电子设备检测板	189
7.4.3 底盘仪表检测板	196
7.4.4 接口设备	200
7.4.5 信号接口电缆	201
7.5 故障检测系统软件设计	202
7.5.1 软件开发环境特点与选择	202
7.5.2 总体设计	205
7.5.3 软件功能	206
7.5.4 软件方案	206
7.5.5 程序设计说明	206
7.5.6 主要程序模块开发	209
7.6 用户界面设计	215
7.6.1 入口界面	215
7.6.2 检测界面	216
7.6.3 记录界面	216
7.6.4 维修指导界面	218
7.7 硬件集成与检测步骤	218
小结	220
习题	220
参考文献	222

第1章 绪论

1.1 仪器技术发展概况

仪器是人类认识世界的基本工具,也是信息社会人们获取信息的主要手段之一。电子测量仪器发展至今,经历了指针式仪表、模拟器件仪器、数字器件仪器、智能仪器、个人仪器、虚拟仪器等发展阶段。其间,微电子学和计算机技术对仪器技术的发展起了巨大的推动作用。

自20世纪70年代以来,随着微处理器和计算机技术的发展,微处理器或微型计算机被越来越多地嵌入到测量仪器中,构成了所谓的智能仪器或灵巧仪器(Smart instruments)。智能仪器实际上是一个专用的微处理器系统,一般包含有微处理器电路(CPU、RAM、ROM等)、模拟量输入输出通道(A/D、D/A、传感器等)、键盘显示接口、标准通讯接口(GPIB或RS-232)等。智能仪器使用键盘代替传统仪器面板上的旋钮或开关,对仪器实施操控,这就使得仪器面板布置与仪器内部功能部件的分布之间不再互相限制和牵连;利用内置微处理器强大的数字运算和数据处理能力,智能仪器能够提供自动量程转换、自动调零、触发电平自动调整、自动校准和自诊断等“智能化”功能;智能仪器一般都带有GPIB(General Purpose Interface Bus)或RS-232接口,具备可编程功能,可以很方便地与其他仪器实现互联,组成复杂的自动测试系统。

随着智能仪器和个人计算机的大量应用,在工程技术人员的工作台上常常会有多台带有微机的仪器与PC机同时使用的情况。一个系统中拥有多台微机、多套存储器、显示器和键盘,但又不能相互补充或替代,造成资源的极大浪费。1982年,美国西北仪器系统公司推出了第一台个人仪器(Personal Instrument)。个人仪器也称为PC仪器(PC Instrument)或卡式仪器。在个人仪器或个人仪器系统中,使用通用的个人计算机代替了各台智能仪器中的微机及其键盘、显示器等人机接口,由置于个人计算机扩展槽或专门的仪器扩展箱中的插卡或模块来实现仪器功能,这些仪器插卡或模块通过PC总线直接与计算机相连。个人仪器充分利用了PC机的软件和硬件资源,相对于传统仪器,大幅度地降低了系统成本、缩短研制周期。因此,个人仪器的发展十分迅速。

个人仪器最简单的构成形式是将仪器卡直接插入PC机的总线扩展槽内。这种构成方式结构简单、成本很低,但缺点是PC机扩展槽数目有限,机内干扰比较严重,电源功率和散热指标也难以满足重载仪器的要求。此外,PC总线也不是专门为仪器系统设计的,无法实现仪器间的直接通讯以及触发、同步、模拟信号传输等仪器专用功能。因此,这种卡式个人仪器性能不是很高。

为了克服卡式仪器的缺点,美国HP(Hewlett Packard)公司于1986年推出了6000系列模块式PC仪器系统,该系统采用了外置于PC机的独立仪器机箱和独立的电源系统;专门设计了仪器总线PC-IB;提供了8种常用的个人仪器组件,即数字万用表、函数发生

器、通用计数器、数字示波器、数字 I/O、继电器式多路转换器、双 D/A 转换器和继电器驱动器,每种组件都封装在一个塑料机壳内,并具有 PC-IB 总线接口。在将一块专用接口卡插入 PC 机扩展槽后,PC 机与外部仪器组件就可以通过 PC-IB 总线实现连接。随后,Tektronix 公司及其他一些公司也相继推出了各自的高级个人仪器系统。

个人仪器系统以其突出的优点显示了它强大的生命力。然而,由于各厂家在生产个人仪器时没有采用统一的总线标准,不同厂商的机箱、模块等产品之间兼容性很差,在很大程度上影响了个人仪器的进一步发展。1987 年 7 月,Colorado Data Systems、HP、Racal Dana、Tektronix 和 Wavetek 五家公司成立的一个专门委员会颁布了用于通用模块化仪器结构的标准总线——VXI (VMEbus Extensions for Instrumentation) 总线的技术规范。VXI 总线是在 VME 计算机总线的基础上,扩展了适合仪器应用的一些规范而形成的。VXI 总线是一个公开的标准,其宗旨是为模块化电子仪器提供一个开放的平台,使所有厂商的产品均可在同一个主机箱内运行。自诞生之日起,VXI 总线仪器就以其优越的测试速度、可靠性、抗干扰能力和人机交互性能等,吸引了各仪器厂商的目光,VXI 总线自动测试系统被迅速推广应用于国防、航空航天、气象、工业产品测试等领域,截止到 1994 年,生产 VXI 产品的厂商已有 90 多家,产品种类超过 1000 种,安装的系统总数超过 10000 套。

在个人仪器发展的过程中,计算机软件在仪器控制、数据分析与处理、结果显示等方面所起的重要作用也越来越深刻地为人们所认识。1986 年,美国国家仪器公司 (National Instrument, NI) 提出了虚拟仪器 (Virtual Instrumentation) 的概念。这一概念的核心是以计算机作为仪器的硬件支撑,充分利用计算机的数据运算、存储、回放、调用、显示及文件管理等功能,把传统仪器的专业功能软件化,使之更加紧密地与计算机融为一体,构成一种从外观到功能都与传统仪器相似,但在实现时却主要依赖计算机软硬件资源的全新仪器系统。

到 20 世纪 90 年代,PC 机的发展更加迅速,面向对象和可视化编程技术在软件领域为更多易于使用、功能强大的软件开发提供了可能性,图形化操作系统 Windows 成为 PC 机的通用配置。虚拟现实、虚拟制造等概念纷纷出现,经济发达国家更是在这一虚拟技术领域研究上投入了巨资,希望有朝一日能在它的带动下率先进入信息时代。在这种背景下,虚拟仪器的概念在世界范围内得到广泛的认同和应用。美国 NI 公司、HP 公司、Tektronix 公司、Racal 公司等相继推出了基于 GPIB 总线、PC-DAQ (Data Acquisition) 和 VXI 总线等多种虚拟仪器系统。

在虚拟仪器得到人们认同的同时,虚拟仪器的相关技术规范也在不断地完善。1993 年 9 月,为了使 VXI 总线更易于使用,保证 VXI 总线产品在系统级的互换性,GenRad、NI、Racal Instruments、Tektronix 和 Wavetek 公司发起成立了 VXI 即插即用 (VXIplug&play, VPP) 系统联盟,并发布了 VPP 技术规范。作为对 VXI 总线规范的补充和发展,VPP 规范定义了标准的系统软件结构框架,对 VXI 总线系统的操作系统、编程语言、仪器驱动器、高级应用软件工具、虚拟仪器软件体系结构 (VISA)、产品实现和技术支持等方面做了详细的规定,从而真正实现了 VXI 总线系统的开放性、兼容性和互换性,进一步缩短了 VXI 系统的集成时间,降低了系统成本。VXI 总线系统也因此成为虚拟仪器系统的理想硬件平台,完整的虚拟仪器技术体系即已经建立起来。

为了进一步方便虚拟仪器用户对系统的使用和维护,解决测试软件的可重用和仪器的

互换性问题, 1997 年春季, NI 公司又提出了一种先进的可交换仪器驱动器模型——IVI (Interchangeable Virtual Instruments, 可互换式虚拟仪器)。1997 年夏天, IVI 基金会成立并发布了一系列 IVI 技术规范。在 VPP 规范的基础上, IVI 规范建立了一种可互换的、高性能的、更易于维护的仪器驱动器, 支持仿真功能、状态缓冲、状态检查、互换性检查和越界检查等高级功能。允许测试工程师在系统中更换同类仪器时, 无需改写测试软件, 也允许开发人员在系统研制阶段或价值昂贵的仪器没有到位时, 利用仿真功能开发仪器测试代码, 这无疑将有利于节省系统开发、维护的时间和费用, 增加了用户在组建虚拟仪器系统时硬件选择的灵活性。目前, IVI 技术规范仍在不断完善之中。

在虚拟仪器技术发展的初期, 虚拟仪器系统主要采取三种结构形式: 基于 GPIB 总线、PC-DAQ 或 VXI 总线, 但这三种系统却都有各自的不足之处, GPIB 实质上是通过计算机对传统仪器功能的扩展和延伸, 数据传输速度较低; PC-DAQ 直接利用了 ISA 总线或串行总线, 没有定义仪器系统所需的总线; VXI 系统是将用于工业控制的 VME 计算机总线而建立的, 价格昂贵, 适用于大型或复杂仪器系统, 应用范围集中在航空、航天、国防等领域。为适应虚拟仪器用户日益多样化的需求, 1997 年 9 月, NI 公司推出了一种全新的开放式、模块化仪器总线规范——PXI (PCI eXtensions for Instrument), 直接将 PC 机中流行的高速 PCI (Peripheral Component Interconnect) 总线技术、Microsoft Windows 操作系统和 CompactPCI (坚固 PCI) 规范定义的机械标准巧妙地结合在一起, 形成了一种性价比极高的虚拟仪器系统。CompactPCI 是将 PCI 电气规范与耐用的欧洲卡机械封装及高性能连接器相结合的产物, 这种结合使得 CompactPCI 系统可以拥有多达 7 个外设插槽。在享有 CompactPCI 的这些优点的同时, 为了满足仪器应用对一些高性能的需求, PXI 规范还提供了触发总线、局部总线、系统时钟等资源, 并且做到了 PXI 产品与 CompactPCI 产品可以双向互换。目前, PXI 模块仪器系统以其卓越的性能和极低的价格, 吸引了越来越多的虚拟仪器界工程技术人员关注。

从 20 世纪 80 年代 NI 公司提出虚拟仪器的概念至今只有 30 多年的时间, 但虚拟仪器产品已占有了世界仪表仪器市场近 30% 左右的份额。从事仪器仪表研究和研制的科学家和工程师们清楚地认识到虚拟仪器不仅毋庸置疑是 21 世纪仪器发展的方向, 而且必将逐步取代传统的硬件电子化仪器, 使成千上万种传统仪器都融入计算机体系中。到那时, 电子仪器在广义上已不是一个独立的分支, 而是已演变成为信息技术的本体。

1.2 虚拟仪器基本概念

虚拟仪器是指以通用计算机为系统控制器、由软件来实现人机交互和大部分仪器功能的一种计算机仪器系统。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, 使用户可以很方便地对其进行维护、扩展和升级等, 其典型结构如图 1-1。虚拟仪器的出现模糊了测量仪器与个人计算机的界限。

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, 用以实现传统仪器的功能, 来完成数据采集、分析与显示。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 NI 公司提出其著名的口号: The software is the In-

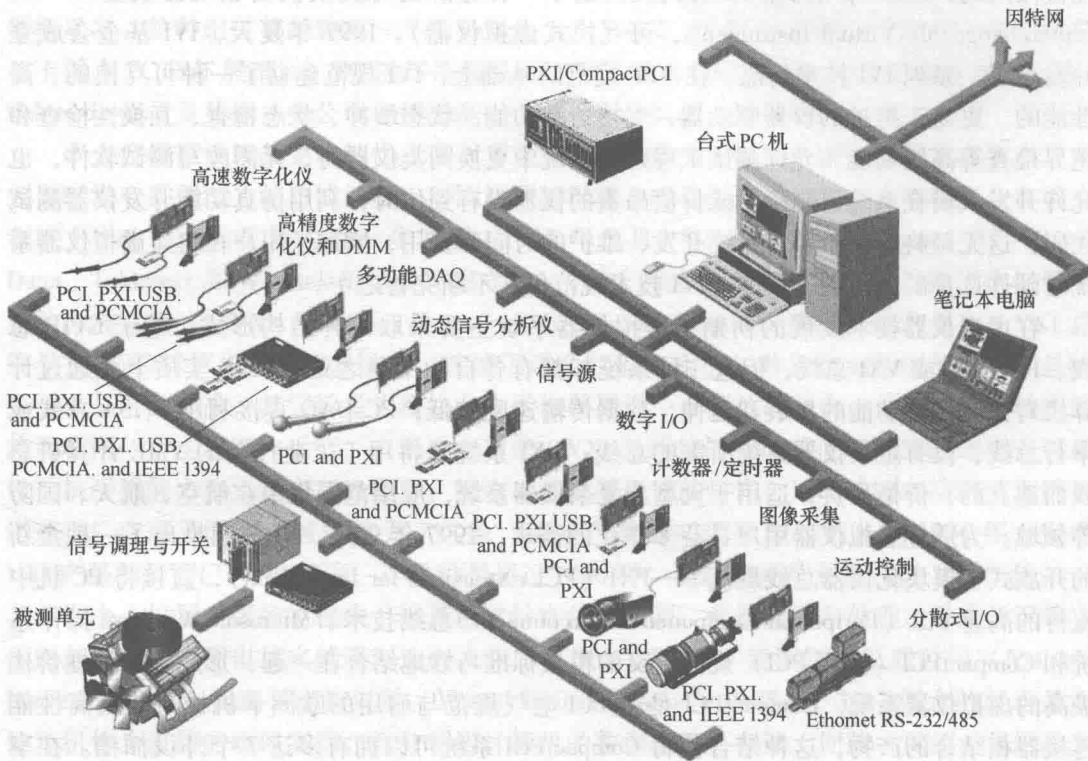


图 1-1 虚拟仪器典型结构

strument（软件就是仪器），所以通常把用 G 语言（Graphical Language）、LabWindwos/CVI 开发语言、Measurement Studio 开发包、Delphi 平台虚拟仪器扩展开发包等编制的可视化测控系统程序统称为虚拟仪器 Virtual Instrument，简称 VI，本书统一使用 VI 作为虚拟仪器的英文缩写。

虚拟仪器一词中的“虚拟”一般有两方面的含义。

1.2.1 虚拟仪器面板

在使用传统仪器时，操作人员是通过操纵仪器物理面板上安装的各种开关（通断开关、波段开关、琴键开关等）、按键、旋钮等来实现仪器电源的通断、通道选择、量程、放大倍数等参数的设置，并通过面板上安装的发光二极管、数码管、液晶或 CRT（阴极射线管）等来辨识仪器状态和测量结果。

在虚拟仪器中，计算机显示器是唯一的交互界面，物理的开关、按键、旋钮以及数码管等显示器件均由与实物外观很相似的图形控件来代替，操作人员通过鼠标或键盘操纵软件界面中这些控件来完成仪器的操控。

1.2.2 由软件编程来实现仪器功能

在虚拟仪器系统中，仪器功能是由软件编程来实现的。测量所需的各种激励信号可由软件产生的数字采样序列控制 D/A 转换器来产生；系统硬件模块不能实现的一些数据处

理功能，如 FFT 分析、小波分析、数字滤波、回归分析、统计分析等，也可由软件编程来实现；通过不同软件模块的组合，还可以实现多种自动测试功能。

1.3 虚拟仪器的系统构成

一个典型的数据采集控制系统由传感器、信号调理电路、数据采集卡（板）、计算机、控制执行设备五部分组成。按照系统中各部分之间的依赖关系，又可以把一套虚拟仪器系统划分成几个层次，如图 1-2 所示。一个好的数据采集产品不仅应具备良好的性能和高可靠性，还应提供高性能的驱动程序和简单易用的高层语言接口，使用户能较快速地建立可靠的应用系统。近年来，由于多层电路板、可编程仪器放大器、即插即用、系统定时控制器、多数据采集板实时系统集成总线、高速数据采集的双缓冲区以及实现数据高速传送的中断、DMA（直接存储器存取）等技术的应用，使得最新的数据采集卡能保证仪器级的高准确度与可靠性。

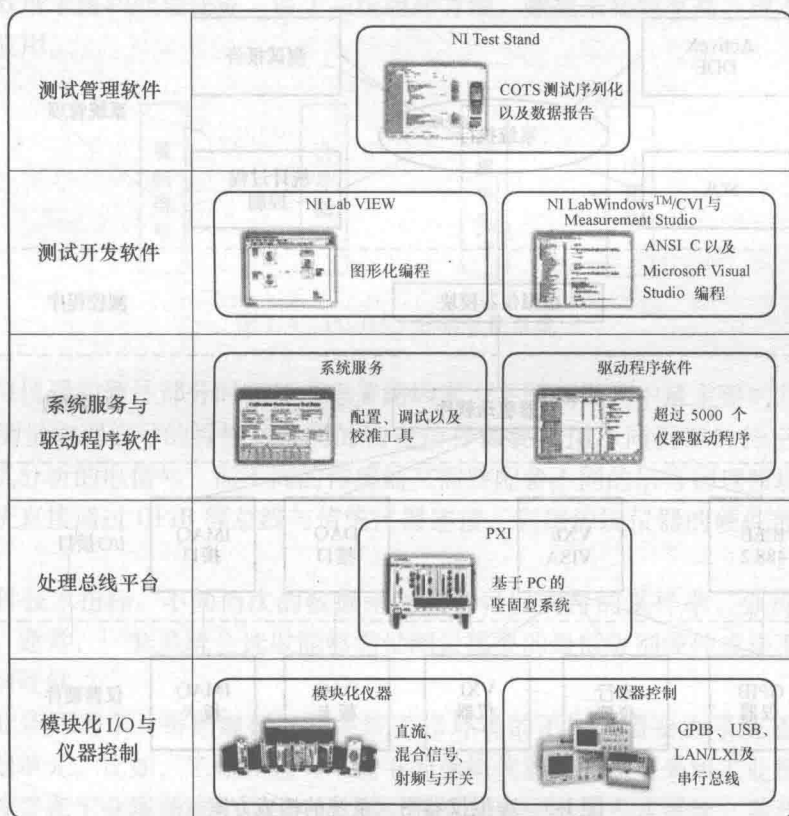


图 1-2 虚拟仪器系统的层次结构

软件是虚拟仪器测控方案的关键。虚拟仪器的软件系统主要分为四层结构：系统管理层、测控程序层、仪器驱动层和 I/O 接口层。

I/O 接口驱动程序完成特定外部硬件设备的扩展、驱动和通讯。DAQ（数据采集卡）硬件是离不开相应软件的，大多数的 DAQ 应用都需要驱动软件。驱动软件直接编制 DAQ 硬件的登录、操作管理和集成系统资源，如处理器中断、DMA 和存储器等的软件层管理。

驱动软件隐含了低级、复杂的硬件编程细节，而提供给用户的是容易理解的界面。控制 DAQ 硬件的驱动软件按功能可分为模拟 I/O、数字 I/O 和定时 I/O。驱动软件有如下的基本功能。

- (1) 以特定的采样频率获取数据。
- (2) 在处理器运算的同时提取数据。
- (3) 使用编程的 I/O、中断和 DMA 传送数据。
- (4) 在磁盘上存取数据流。
- (5) 同时执行几种功能。
- (6) 集成一个以上的 DAQ 卡。
- (7) 同信号调理器结合在一起。

虚拟仪器硬件系统包括 GPIB (IEEE488.2)、VXI、插入式数据，图像采集板、串行通讯与网络等几类 I/O 接口。虚拟仪器测试系统构成方案如图 1-3 所示。

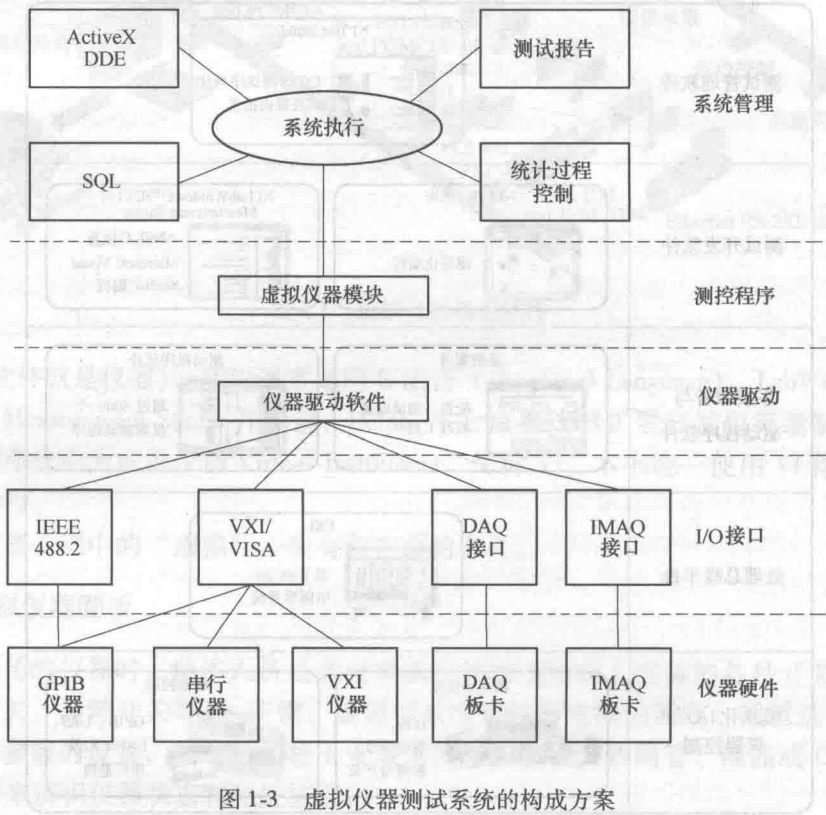


图 1-3 虚拟仪器测试系统的构成方案

GPIB (General Purpose Interface Bus) 是目前使用最为广泛的仪器接口，IEEE 488.2 标准使基于 GPIB 的计算机测试系统进入了一个新的发展阶段。GPIB 总线的出现，提高了仪器设备的性能指标。利用计算机对带有 GPIB 接口的仪器实现操作和控制，可实现系统的自动校准、自诊断等要求，从而提高了测量精度，便于将多台带有 GPIB 接口的仪器组合起来，形成较大的自动测试系统，高效地完成各种不同的测试任务，而且组建和拆散灵活，使用方便。

VXI 总线是 VMEbus eXtension for Instrumentation 的缩写, 即 VME 总线在测量仪器领域中的扩展。它能够充分利用最新的计算机技术来降低测试费用, 增加数据吞吐量和缩短开发周期。VXI 系统的组建和使用越来越方便, 其应用面也越来越广, 尤其是在组建大、中规模自动测量系统以及对精度、可靠性要求较高的场合, 有着其他仪器系统无法比拟的优势。

PCI (Peripheral Component Interconnect Special Interest Group, PCISIG 简称 PCI), 即外部设备互连。PCI 总线是一种即插即用 (PnP, Plug-and-Play) 的总线标准, 支持全面的自动配置, PCI 总线支持 8 位、16 位、32 位、64 位数据宽度, 采用地址/数据总线复用方式。其主要特点有: 突发传输, 多总线主控方式, 同步总线操作, 自动配置功能, 编码总线命令, 总线错误监视, 不受处理器限制, 适合多种机型, 兼容性强, 高性能价格比, 预留了发展空间等。PC-DAQ 测试系统是以数据采集卡、信号调理电路及计算机为硬件平台组成的测试系统, 如图 1-4 所示。这种方式借助于插入 PC 中的数据采集卡和专用的软件, 完成具体的数据采集和处理任务。由于系统组建方便, 数据采集效率高, 成本低廉, 因而得到广泛的应用。



图 1-4 PC-DAQ 数据采集系统

设计虚拟仪器的硬件部分时需要考虑多路因素, 下面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 等总线与传统仪器连接, 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。

(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讯、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, 包含以下三部分:

(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器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。

(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,它和仪器硬件的通讯、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++、Visual Basic、Delphi等通用程序开发工具,也可以利用像HP公司的HP 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 VEE、LabVIEW和LabWindows/CVI等虚拟仪器软件开发平台是随着软件技术的不断发展而出现的功能强大的专用开发工具,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,一是要考虑系统硬件的限制,二是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,基本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公司统计的种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和LabWindows。

1.4 虚拟仪器系统集成的基本概念及意义

由上可知,虚拟仪器技术是一门多学科交叉的边缘学科,任何一门其他科学都可以在其中找到其踪迹,而虚拟仪器技术的发展也促进了其他学科的发展。随着微电子技术和信

息科学的发展,测试技术与虚拟仪器技术也得到了迅猛的发展。新的传感技术和原理不断被发现和创造出来,新的信号调理技术、新的数据处理手段,加之现代网络技术和总线通讯技术的不断应用,使得虚拟仪器和测试技术的发展呈现一个全新的面貌。总的趋势是朝着高精度、微型化和智能化的方向发展。这种发展趋势中的一项关键技术便是系统的集成技术。

广义而言,系统的集成是以信息的采集、传输、转换、处理、存储、显示和利用为目的,将属于一个系统的各功能部件或元素,采用计算机软件技术按照一定的功能关系有机地组合在一起,以在一个更高层次上形成一个新的功能系统。对于一个虚拟仪器系统来说,系统的集成则意味着将不同的功能元素,即不同的传感器、信号接口装置、信号调理单元、数据处理器、执行器和终端输出装置,在某种情况下也包括主控计算机或控制器,以最优的形式结合在一起,以实现一个针对目标测量或控制任务的虚拟仪器功能实体或系统。而在这种集成中,贯穿始终的是信息和信息的传递,并且这种系统的集成往往是通过计算机技术、虚拟仪器硬件和软件技术来实现的。前面提到,系统有大和小,有简单和复杂之分,但无论是何种系统,它们的集成必然是在一个更高层次上的实现,所产生的新的系统必须具有更优的功能关系,而并不仅仅是各子系统功能的简单综合,更不能是原系统的重复。因此在系统的集成过程中,必然涉及不同信息在集成系统各层次上的融合、各不同层次的总体配置、信息流的分配和控制、系统的优化及多目标优化与决策、系统的建模、系统接口和操作系统的设计以及系统的可靠性问题和技术。

举例来说,三坐标测量机是机械加工过程中常用的精密测量仪器,其优点是测量精度高。但它的缺点是测量时间长,且一般仅能测量简单几何体零件的尺寸。而光学非接触测量技术,如干涉技术、全息测量技术、结构光三维形貌测量技术等,其最大的特点是测量时间短,能测量复杂的自由曲面零件,但其测量的精度一般不如三坐标测量机。而生产过程中往往需要实时灵活地测量不同种类的零件尺寸,最大限度地提高生产效率,实现过程的自动化。将这两种测量技术结合起来,在CAD技术的基础上实现多传感测量技术的集成质量保证系统,实施加工过程从CAD开始一直到产品的加工和最终产品质量检测的自动化,便能提高生产的效率,保证产品的质量,提升产品的市场竞争能力。为实现这样的系统,计算机信息集成技术起着关键的作用。微机电系统是当今高科技发展的热点之一。微机电系统的定义是:若将传感器、信号处理器和执行器以微型化的结构形式集成为一个完整的系统,而该系统具有“敏感”、“决定”和“反应”的能力,则称这样的系统为微系统或微机电系统。由此可见,一个微机电系统装置便是一个典型的集成系统。较之一个普通的传感器或执行器,它往往能实现更多的功能。且由于它具有体积小、功耗低等特点,因此在许多领域具有越来越多的应用。此外,即使是一台普通的精密测量仪器,由于它通常是机、光、电技术相结合的产品,且往往设置有主控计算机,因此也是一个虚拟仪器集成的例子。由此看到,大到复杂的航天器、大型化工厂的生产流程控制过程等,小到单个的仪器甚至传感器,系统集成的例子随处可见。可以说,系统集成技术的发展水平是衡量仪器仪表、测量控制和虚拟仪器等技术发展水平的一个标志,因此也直接影响到其他科学技术领域的发展水平,加大对系统集成技术的研究和发展是虚拟仪器和测试技术研究人员的重要的任务。