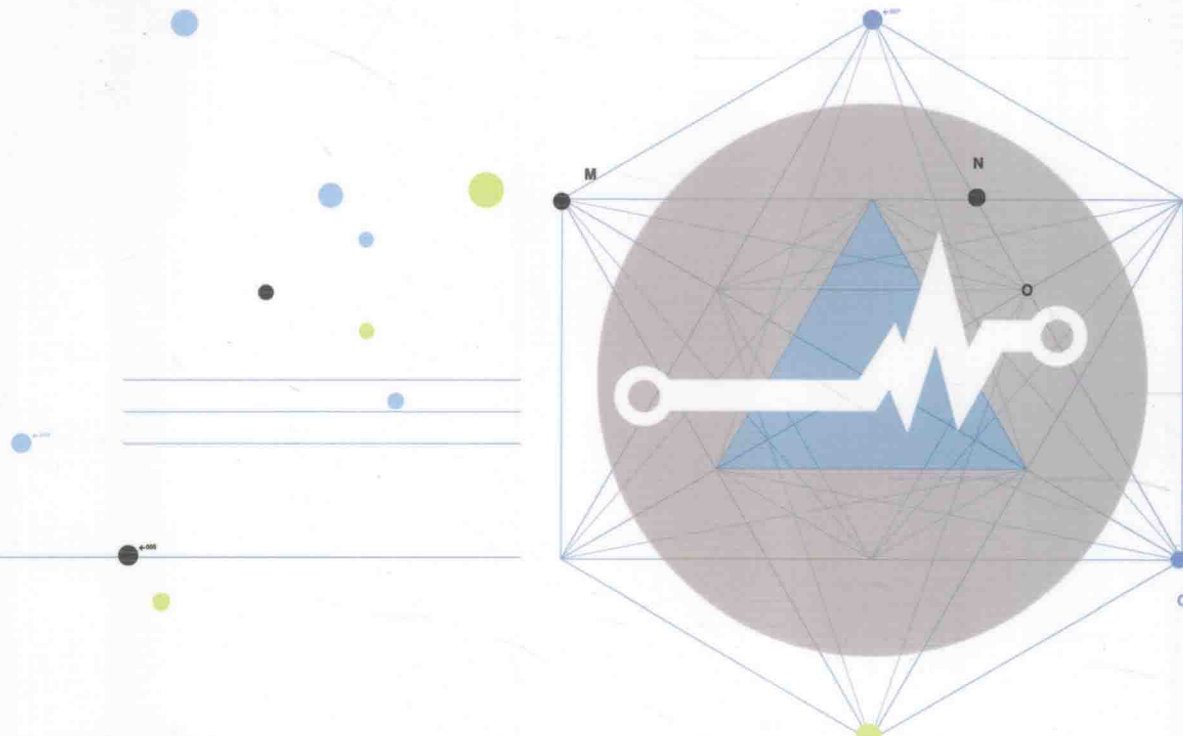




测控技术 与虚拟仪器

Control Technology
and Virtual Instrument

◎ 柳爱利 周绍磊 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

测控技术与虚拟仪器

柳爱利 周绍磊 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书着重介绍了基于虚拟仪器的测控系统在设计过程中所涉及的理论和方法,在讲述信号采集与分析、仪器设备的总线接口、系统的软件设计等知识的基础上,结合工程实践对测控系统的通用平台设计、基于小波包分析与神经网络结合的故障诊断、动态测试等技术内容进行了深入讨论。本书各部分内容的论述都依据了测控领域已经制定的相关国际标准、规范,以利于读者把握测控技术的理论体系。

本书的论述注重与工程实际相结合,可以作为自动控制、机电一体化、仪器仪表等相关专业的本科、研究生教材,也可以为检测与控制领域的工程技术人员提供参考。

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

测控技术与虚拟仪器/柳爱利,周绍磊编著. —北京:电子工业出版社,2015.6
ISBN 978-7-121-26155-8

I. ①测… II. ①柳… ②周… III. ①测量系统—控制系统 IV. ①TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第112178号

策划编辑:曲 昕

责任编辑:刘真平

印 刷:北京京师印务有限公司

装 订:北京京师印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:12 字数:307.2千字

版 次:2015年6月第1版

印 次:2015年6月第1次印刷

定 价:39.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

测控技术已广泛应用于航空、航天、武器装备、能源等重要领域,成为复杂系统与设备可靠运行的必要保证。在测控系统中,系统对被控对象的控制是建立在对被控对象的正确认知的基础上的,因此控制与测量缺一不可。测控技术发展到今天已完全突破了原有的意义,它综合测量、控制、仿真、信号处理、网络、人工智能、神经网络等技术,成为一门独立发展的学科。

测控技术涵盖的范围越来越广,如基于网络的测控技术、基于卫星定位的测控技术、基于雷达的测控技术、基于虚拟仪器的测控技术等。本书在讲述测控技术基本理论和基本方法的基础上,结合作者多年从事测控领域教学与科研的实践,着重讲述基于虚拟仪器的测控技术。

本书共八章,包括四部分内容:(1)现代测控技术涉及的基础知识;(2)测控系统的软件设计;(3)测控系统开发平台的设计;(4)测试技术的发展。第一部分包括第1~3章,介绍了信号的采集与分析、仪器设备的接口总线等基础知识。信号的采集与分析包括时域和频域信号的测量方法、采样定理、信号的傅里叶及小波变换等内容。接口总线讲述了组建测控系统常用的IEEE 488、VXI、LXI等总线规范。第二部分包括第4章和第5章,介绍了测控系统软件设计的相关内容,包括系统的软件开发工具,虚拟仪器软件结构VISA、标准编程指令SCPI等软件标准规范,以及仪器驱动器的相关设计标准和方法等。第三部分即第6章,介绍了测控系统通用开发平台的设计,包括系统的硬件平台和软件平台,并结合工程实践给出一个开发平台设计实例。第四部分包括第7章和第8章,结合具体应用,对基于小波包分析和神经网络相结合的故障诊断方法和动态测试技术进行了深入讨论。

全书由柳爱利、周绍磊编著。其中第1~5章由柳爱利编写,第6~8章由周绍磊编写,柳爱利对全书进行了统稿。

本书在出版过程中,得到了电子工业出版社和曲昕编辑的大力支持,谨此表示深深的感谢。

本书在编写过程中,参考、引用了许多专家、学者的论著,在此一并表示衷心的感谢。由于作者学识、水平有限,书中不足和疏漏在所难免,殷切希望读者批评指正。

编 著 者
2015年5月

目 录

第1章 概述	1
1.1 测控系统的体系结构	1
1.2 现代测控系统的特征	2
1.3 现代测控系统中的虚拟仪器	4
1.3.1 虚拟仪器的特点	4
1.3.2 虚拟仪器的总线形式	5
1.3.3 虚拟仪器的软件	6
1.4 本书的内容	7
第2章 信号采集与分析	8
2.1 引言	8
2.2 时域采样与时域采样定理	8
2.2.1 时域采样	8
2.2.2 时域采样定理	11
2.2.3 信号复原	12
2.3 信号处理中基本的数学变换	14
2.3.1 傅里叶级数	14
2.3.2 傅里叶变换	14
2.3.3 拉普拉斯变换	15
2.3.4 离散时间信号的傅里叶变换	15
2.3.5 离散傅里叶级数	16
2.3.6 Z 变换	16
2.4 信号的频域分析	16
2.4.1 周期信号的谱分析	17
2.4.2 能量有限信号的频谱分析	18
2.4.3 功率有限信号的频谱分析	19
2.4.4 功率谱分析方法的有效性判别	21
2.4.5 经典谱分析与现代谱分析	22
2.4.6 ARMA 模型分析方法	23
2.5 基于小波的信号处理	27
2.5.1 小波变换的基本概念	28
2.5.2 常用小波函数	29
2.5.3 小波包分析	30
2.6 信号滤波技术	32
2.6.1 连续时间信号的滤波	33

2.6.2	离散时间信号的滤波	33
2.6.3	连续时间信号的数字处理	34
2.6.4	均衡与补偿技术	35
2.6.5	插值与选抽滤波	36
2.6.6	频偏问题与希尔伯特变换	38
2.6.7	自适应滤波	40
2.6.8	通道串扰问题与解耦滤波	41
2.7	相关函数和相关检测	42
第3章	测控系统的接口总线	47
3.1	引言	47
3.2	RS-232C 总线	48
3.2.1	接口信号	48
3.2.2	电气特性	49
3.2.3	RS-232C 总线连接系统	49
3.3	IEEE 488 总线	51
3.3.1	总线的主要特征	52
3.3.2	总线结构	52
3.3.3	接口功能	55
3.4	VXI 总线	56
3.4.1	VXI 标准体系结构	56
3.4.2	VXI 总线的机械构造	58
3.4.3	VXI 总线模块结构	59
3.4.4	VXI 总线的系统机箱	59
3.4.5	VXI 总线的电气结构	60
3.4.6	VXI 总线控制方案	65
3.5	LXI 总线	69
3.5.1	LXI 总线系统的连接方式	69
3.5.2	LXI 的网络相关协议	71
3.5.3	LXI 的物理标准	72
3.5.4	LXI 仪器的分类定义	73
3.5.5	LXI 器件的触发	74
3.5.6	LXI 仪器的界面	77
3.5.7	LXI 的软件编程规范	78
第4章	测控系统的软件开发工具	81
4.1	引言	81
4.2	LabWindows/CVI 编程使用	81
4.2.1	LabWindows/CVI 简介	81
4.2.2	LabWindows/CVI 编程中的概念	81

4.2.3 LabWindows/CVI 环境下的软件开发	82
4.2.4 LabWindows/CVI 开发环境	83
4.3 LabWindows/CVI 编程实例	85
4.4 CVI 应用程序的发布	92
第 5 章 测控系统的软件标准	93
5.1 引言	93
5.2 虚拟仪器软件结构 VISA	93
5.2.1 VISA 简介	93
5.2.2 VISA 的结构	94
5.2.3 VISA 的特点	95
5.2.4 VISA 的现状	96
5.2.5 VISA 的应用举例	96
5.2.6 VISA 资源描述	97
5.2.7 VISA 事件的处理机制	98
5.3 可编程仪器标准命令 SCPI	100
5.3.1 SCPI 仪器模型	100
5.3.2 SCPI 命令句法	101
5.3.3 常用 SCPI 命令简介	105
5.4 VPP 仪器驱动程序	107
5.4.1 仪器驱动程序的特点	107
5.4.2 仪器驱动程序的结构模型	110
5.4.3 仪器驱动程序的功能面板	114
5.5 IVI 仪器驱动程序	116
5.5.1 IVI 规范及体系结构	116
5.5.2 开发 IVI 特定驱动程序	118
5.6 VPP 仪器驱动程序设计实例	121
5.6.1 带操作软面板的虚拟仪器驱动器设计实例	121
5.6.2 带操作软面板的 Agi33521A 驱动器设计	122
5.6.3 Agi33521A 驱动器的交互式接口设计	125
第 6 章 测控系统的开发平台	129
6.1 引言	129
6.2 测控计算机	130
6.3 仪器系统	130
6.3.1 测试功能	130
6.3.2 仪器系统的体系结构	131
6.3.3 供电	131
6.3.4 通用测试设备	131
6.3.5 专用测试设备	132

6.3.6	检测接口	132
6.3.7	接口适配器 (TUA)	134
6.4	软件平台	134
6.4.1	软件平台的外部接口	134
6.4.2	软件平台功能描述	135
6.4.3	软件平台系统结构	136
第 7 章	动态测试技术	142
7.1	引言	142
7.2	动态测试的特点	142
7.3	系统动态特性的数学描述	143
7.3.1	连续系统的动态特性	143
7.3.2	离散系统的动态特性	144
7.4	系统的动态特性指标	145
7.4.1	系统的时域动态特性指标	145
7.4.2	系统的频域动态特性指标	145
7.5	动态测试信号的分析方法	146
7.6	系统故障特征向量的提取	146
7.6.1	故障特征提取	146
7.6.2	基于坐标变换的特征提取	149
7.6.3	基于信号变换的特征提取	150
7.7	动态测试实例	151
7.7.1	测试任务	151
7.7.2	测试方案	151
7.7.3	信号分析处理	153
第 8 章	测控系统中的故障诊断技术	157
8.1	引言	157
8.1.1	故障诊断的基本定义	157
8.1.2	故障诊断方法的分类	158
8.2	故障诊断的基本原理	159
8.3	故障诊断的故障树分析法	160
8.3.1	故障树分析法特点	160
8.3.2	故障树的建造	161
8.3.3	故障树定性分析	162
8.4	故障诊断专家系统	166
8.4.1	诊断专家系统概述	166
8.4.2	诊断专家系统的结构	166
8.4.3	故障诊断专家系统建立方法	167
8.4.4	专家系统的设计实现	171

8.4.5 传统故障诊断专家系统的局限性	172
8.5 基于神经网络的故障诊断	173
8.5.1 神经网络的基本原理	173
8.5.2 神经网络的故障诊断能力	176
8.5.3 小波包分析与神经网络的结合	176
参考文献	180

第1章 概述

随着高技术产品复杂程度的日益提高，现代测控技术已广泛应用于航空、航天、武器装备、能源等重要领域，成为复杂系统与设备可靠运行的必要保证。现代测控技术是一门与计算机技术、检测技术和控制技术紧密相关的综合性技术。其中基于虚拟仪器（VI）的测控系统在科学研究、国防安全和各种社会生产中已得到广泛应用。以导弹为例，导弹的研制、生产及使用过程都离不开测控系统，测控技术贯穿于导弹寿命周期的各个阶段。在航天领域，测控系统是直接为火箭、卫星等飞行器发射和运行服务的重要设施，是航天发射和飞行必不可少的重要支持系统。

本章主要对基于虚拟仪器（VI）的测控系统的典型体系结构、特征及发展趋势进行阐述，以利于读者对现代测控系统有一个总体认识。

1.1 测控系统的体系结构

由于没有标准的接口总线，早期的计算机和测试设备采用专用接口连接起来组成测控系统，这是通常所说的第一代测试设备。后来出现了 IEEE 488（或称 GPIB）、CAMAC、VXI、PXI 等标准接口总线，采用这些标准接口总线组成的测控系统就是通常所说的第二代测试设备。

在测控系统中，单一的总线有时不能满足设计要求，需要几种总线配合使用以完成测试任务，即复合总线系统，如图 1.1 所示。基于 IEEE 488、VXI、PXI 等总线仪器组成的测试系统是目前测控系统的主流组建方案。

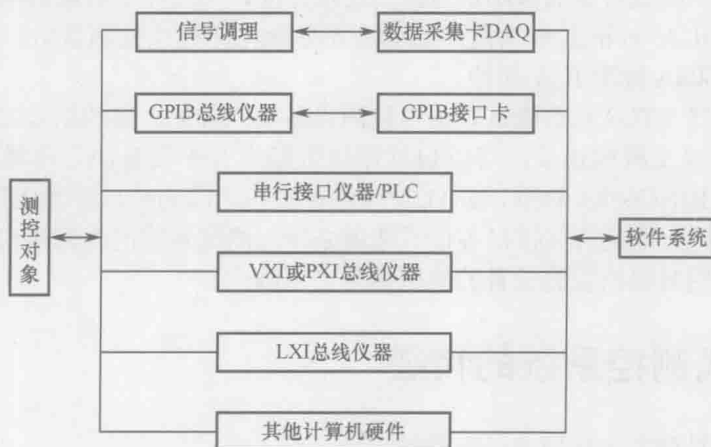


图 1.1 测控系统的复合总线结构

图 1.2 所示是一个基于虚拟仪器的测控系统典型结构，测控系统由测控计算机（含测试程序集 TPS）、测试资源、阵列接口（ICA）、测试单元适配器（TUA）等构成，系统为总线制架构，采用 VXI 和 GPIB 混合总线方式。

测控计算机是测试系统的控制中心，提供测控总线（VXI 和 GPIB）的接口通信、测试

资源的管理、测试程序（TPS）的调度管理和测量数据管理，并提供人机操作界面，实现自动测试。测试资源一般由通用测试设备和专用测试设备两大类构成。

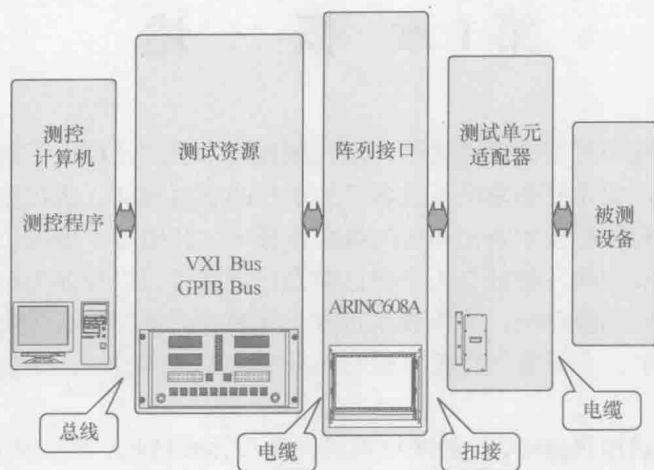


图 1.2 基于虚拟仪器的测控系统典型结构

测控系统通常选用技术成熟的货架产品，目前主要选择 VXI 和 GPIB 两种总线形式的产品。以导弹的功能测试为例，一般包括：VXI 主机箱（带零槽控制器）、微波信号源、频率计模块、数字示波器模块、数字电压表模块、计数器模块、矩阵开关模块、数字信号输出模块、数字信号输入模块、任意函数信号发生器模块、直流稳压电源、交流电源的三相交流净化电源等。

专用测试设备是指专门用于被测设备某些特定参数测量、模拟、控制的设备。如激光陀螺的测试一般应包括三轴电动转台，雷达的测试一般包括微波暗箱、目标模拟器等专用测试设备。

阵列接口是接口连接器组件（ICA），其中汇集了测试系统测试资源的全部电子、电气信号，既为测试设备到测试对象的激励信号提供连接界面，又为测试对象的响应传送到测试设备提供连接界面。ICA 可根据系统设计要求选择标准化阵列式检测接口，如符合国际标准的 21 槽位 ARINC608A 标准 ICA 部件。

测试单元适配器（TUA）是测试设备与被测设备（UUT）之间的信号连接装置，可提供电子和电气的转接以及机械连接，可以包括测试资源中并不具备的专用激励源和负载。如果 ICA 部件符合 ARINC608A 标准，则 TUA 与测试设备之间的接口界面应符合 ARINC608A 标准，即测试单元适配器的阵列接口各信号通道必须与测试系统的阵列接口各信号通道严格对应，并在实际使用时根据被测设备的测试信号需求确定。

1.2 现代测控系统的特征

现代测控系统目前大多体现出以下特征。

1. 虚拟仪器技术的广泛应用

虚拟仪器是随着计算机技术和现代仪器技术的发展而产生的新一代测试仪器。虚拟仪器在传统硬件仪器的功能基础上，充分发挥了计算机的信号分析能力和良好的人机交互能力，成为组建测控系统的有力工具。虚拟仪器技术依靠其有效的标准化、高数据传输率和接口易于组合扩展的特点，满足了测控系统对计算机和系统接口技术的要求。虚拟仪器技术也因此

成为现代测控系统的一个重要特征。

2. 注重测控系统的标准化和通用性设计

由于高技术复杂设备与系统往往可靠性要求高,使用寿命长,有可能需要不断改型与升级,相应测控系统设计、开发与维护的难度大,系统间缺乏互操作性,费用高昂。现在测控系统广泛采用的商业产品更新换代快(典型周期为5年),而武器系统的使用寿命往往超过20年,随着测控系统硬件的更新,系统的维护费用将不断攀升。系统的标准化设计将有效提高系统的可移植性和仪器的可互换性,降低系统维护费用。

软件的可移植性和互操作性是实现测控软件可重用、扩大系统的应用范围、提高开发效率、降低开发成本的关键。实现测控系统的可移植性、互操作性的两个基本条件是:测控系统信号接口的标准化、软件与具体测试资源的硬件无关。

为了降低成本、缩短开发周期,测控系统中大量采用商业货架产品,而商用产品更新换代快,为了延长测试系统的使用寿命,仪器更换不可避免。另一方面,随着通用测控系统应用范围的扩大,为适应被控对象测试需求的变化,也要求仪器能够方便地升级换代。由于仪器型号、生产厂商的不同,将给仪器互换带来一系列兼容性问题。仪器的可互换性就是最大限度地减少仪器间的使用差异,提高通用性,为用户提供灵活的仪器互换机制。

测控系统的标准化和通用性是以虚拟仪器的标准化为基础的,虚拟仪器的标准化,不但包括成熟的硬件标准,而且包含新的测试软件标准、先进的测试软件开发环境和可测试性理论等。建立在标准化硬件与软件平台基础上的测控系统,具有良好的开放性、可移植性和通用性,从而有效降低测控系统的研制和维护费用。

3. 测控系统的网络化

集中测控越来越满足不了复杂、远程(异地)和范围较大的测控任务的需求,随着分布计算技术、网络通信技术和传感器网络技术的发展,以 Intranet/Internet 为应用背景的网络化、分布式测控系统成为测控系统的一个重要发展方向。

标准的计算机网络协议(如 OSI 的开放系统互连参考模型、Internet 上使用的 TCP/IP 协议)在开放性、稳定性、可靠性方面均有很大优势,采用这些协议很容易构建测控系统网络的基础体系结构。应用计算机网络技术组建测控系统从20世纪80年代就已开始,在目前网络型测控系统中,网络主要用来连接各个子测试系统或子站,实现信息共享和交互,满足测控系统内部各组件间、不同测控系统间、测控系统与外部环境间信息的共享和无缝交互能力,这种测控系统的体系结构称为局域网型。

随着虚拟仪器技术的发展,比如 LXI 标准总线仪器的出现,被网络连接的也可以是具有联网能力的仪器模块,测控系统能够完成对这类远程仪器的控制,为分布式或远程设备的安全运行提供可靠保障。因此,对于信息数据量大,分布地域分散,使用时并发性、实时性要求高的测控系统,其网络结构应能够提供实时、准确的运行支持,从而提高系统的执行效率。

4. 测控过程智能化

由于计算机成为测控系统的核心,各种智能测控理论和人工智能技术得以方便地应用于测控系统,使得测控系统具有更完善的调度运行、过程监控、故障诊断、报警处理、统计分析和智能决策等能力。

1.3 现代测控系统中的虚拟仪器

1.3.1 虚拟仪器的特点

虚拟仪器是随着计算机技术和现代测量技术的发展而产生的，虚拟仪器是对传统仪器概念的一次突破，是计算机软、硬件技术和测量技术相结合的产物，代表着测控仪器的发展方向。随着虚拟仪器技术的快速发展和应用，结合基于网络通信能力的远程测控系统性能的提高，虚拟仪器已成为现代测控系统与自动控制系统的重要组成部分。

所谓虚拟仪器，其基本思想是在一定的硬件环境（或平台）支持下，通过编制和执行不同的虚拟仪器软件，来构成各种不同的仪器，实现各种用户定义的仪器或测试功能。虚拟仪器以计算机为核心，充分利用计算机强大的图形界面和数据处理能力，提供对测量数据的分析和显示功能。虚拟仪器包括硬件和软件两个基本组成要素，如图 1.3 所示。



图 1.3 虚拟仪器基本组成

虚拟仪器中“虚拟”的含义包括两个方面：一方面指虚拟仪器操作面板，虚拟仪器面板上的各种“控件”与传统仪器面板上的各种“控件”所完成的功能是相同的，传统仪器面板上的控件都是实物，并且是通过手动和触摸进行操作的；而虚拟仪器面板上的控件是在计算机屏幕上显示的与实物相像的图标，使用鼠标或键盘操作这些控件，其操作对应着相应的软件程序。另一方面是指虚拟仪器的测控功能是通过软件编程来实现的，而传统仪器特别是早期的仪器，其功能是通过硬件来实现的。

虚拟仪器通过应用程序将通用计算机与仪器硬件结合起来，用户可以通过友好的图形界面（通常称为虚拟软面板）操作这台计算机，就像在操作自己定义、自己设计的单个传统仪器一样。虚拟仪器以透明的方式把计算机资源（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、控制能力结合在一起，通过软件实现对数据的分析处理、表达以及图形化用户接口，如图 1.4 所示。

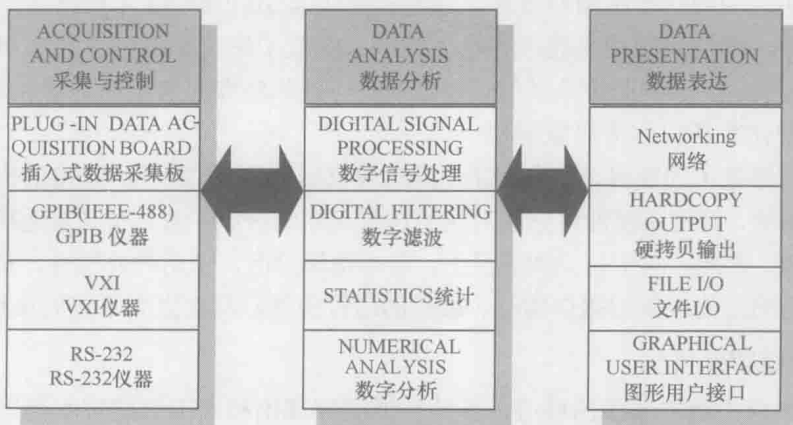


图 1.4 虚拟仪器的内部功能划分

应用程序将可选硬件（如 GPIB、VXI、PXI、RS-232 接口的仪器）和库函数等软件结合

在一起,实现了仪器模块间的通信、定时与触发。由于虚拟仪器具有模块化、开放性和灵活配置的特点,当用户的测试要求变化时,可以方便地由用户自己来增减硬件、软件模块或重新配置现有系统,以满足新的测试要求。这样,当用户从一个项目转向另一个项目时,就能简单地构造出新的虚拟仪器系统而不丢弃已有的硬件和软件资源。与传统仪器相比,虚拟仪器具有以下几个性能特点。

(1) 突出“软件就是仪器”的概念,传统仪器的某些硬件被虚拟仪器中的软件所代替,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,再加上标准化总线的使用,这些变化使仪器的测量精度、测量速度和可重复性都大大提高。

(2) 虚拟仪器的软、硬件都制定了开放的标准协议,使得仪器具有模块化、可重复使用及可互换等特点。为改变测控系统的性能,可以方便地加入一个通用仪器模块或更换一个仪器模块,有利于测控系统的扩展。

(3) 虚拟仪器可由用户定义仪器功能,由于仪器的功能可在用户级上产生,故它不再完全由仪器生产厂家来确定,用户可以根据自己的需要,通过增加或修改软件,为虚拟仪器加入新的测量功能而不用购买一台新的仪器。

(4) 虚拟仪器丰富和增强了传统仪器的功能,数据处理、显示、存储、打印等功能可由计算机处理,充分利用了计算机强大的数据处理、传输和发布能力,使组建系统变得更加灵活、方便。

1.3.2 虚拟仪器的总线形式

按照数据采集与控制中所采用的接口总线的不同,目前虚拟仪器有 PC 插卡、GPIB、VXI 或 PXI 四种常见的总线接口形式,利用计算机的并行接口、串行接口(RS232C、RS485 等)亦能构成虚拟仪器硬件平台。利用计算机的网络接口或不同形式的现场总线接口,还可构成分布式或网络环境下的虚拟仪器。根据构成虚拟仪器接口总线的不同,可分为如下几种构成方案。

1. 基于数据采集卡的虚拟仪器

在以 PC 为基础的虚拟仪器中,插入式数据采集卡是虚拟仪器中最常用的接口形式之一,其功能是将现场数据采集到计算机中,或将计算机中的数据输出给受控对象,典型结构如图 1.5 所示。

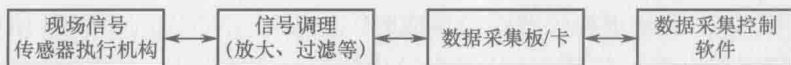


图 1.5 典型的数据采集控制系统框图

这种系统采用 PC 本身的 PCI 或 ISA 总线,将数据采集卡插入计算机,并与软件相结合完成测试任务。

2. 基于 GPIB 总线方式的虚拟仪器

GPIB 技术是虚拟仪器技术发展的第一阶段。一个典型的 GPIB 测试系统由一台计算机、一块 GPIB 接口板和若干 GPIB 仪器通过标准 GPIB 电缆连接而成。

3. 基于 VXI 或 PXI 总线的虚拟仪器

VXI 总线是一种高速计算机总线——VME 总线在仪器领域的扩展。由于它的标准开放、

结构紧凑,具有数据吞吐能力强、定时和同步精确、模块可重复利用、众多仪器厂商支持等优点,很快得到了广泛的应用,随着 VXI 总线规范的不断完善和发展、VXI 即插即用系统联盟的不懈努力,VXI 系统的组建和使用越来越方便,其应用面也越来越广,尤其在组建大、中规模自动测量测试系统,以及对速度、精度要求高的场合,有着其他仪器系统无法比拟的优势。

PXI 总线以 PCI 为基础,是 PCI 总线面向仪器领域的扩展。PXI 总线符合工业标准,在机械、电气和软件特性方面充分发挥了 PCI 总线的全部优点。由于 PXI 仪器具有良好的性价比,应用场合越来越广泛,尤其是在某些要求测试系统体积小的使用场合。

4. 基于 LXI 总线的虚拟仪器

LXI 总线是以太网技术在仪器领域的扩展,每一台 LXI 仪器相当于网络上的一个节点。LXI 整合了可编程仪器标准、GPIB 协议和 VXI 相关标准发展起来的接口总线技术,它将台式仪器的测量技术、PC 标准 I/O 接口集于一体,具有数据吞吐量高、模块化结构好、开放性强、即插即用等特点。

1.3.3 虚拟仪器的软件

构造一个虚拟仪器系统,基本硬件确定以后,就可以通过不同的软件实现仪器的功能。软件是虚拟仪器系统的关键,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,给用户提供一个设置仪器参数、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、分析和输出等功能。

虚拟仪器软件框架与所采用的接口总线无关,也就是说不同接口总线的可互换仪器具有统一的软件框架。这里以 VXI 总线为例,讨论 VXI 总线虚拟仪器的软件框架。

VXI 总线虚拟仪器的软件框架如图 1.6 所示,它主要由三部分组成:VXI 总线接口软件、仪器驱动器和应用软件(软面板)。VXI 总线接口功能由 VXI 总线零槽控制器提供,包括资源管理器、资源编辑器、交互式控制工具及 VXI 功能库。该软件在编程语言和 VXI 总线之间建立起连接,提供对 VXI 背板总线的控制和支持,是实现 VXI 总线系统集成的基础。仪器驱动器是完成对某一特定仪器的控制与通信的程序。仪器驱动器的设计须符合 VXI 总线即插即用联盟的两方面的规范,即《VPP3.1:仪器驱动器结构和模型》和《VPP3.2:仪器驱动器设计规范》。在 VXI 总线虚拟仪器系统集成时,如果厂家在提供仪器模块的同时提供了符合 VPP 标准的仪器驱动器,则用户不用开发该模块的仪器驱动器,所需做的就是应用程序中调用厂家提供的仪器驱动器。但对于自制模块或一些不符合 VPP 规范的模块,则需自行开发相应的仪器驱动器。

软件是基于虚拟仪器测控技术的关键。虚拟仪器软件开发工具多种多样,如 NI 公司的 LabVIEW 和 LabWindows/CVI,HP 公司的 VEE,微软公司的 VB、VC 等,它们都有开发网络应用项目的工具包。以 LabVIEW 和 LabWindows/CVI 为例,它们不仅使基于虚拟仪器的测控系统开发变得简单方便,而且为测控系统的网络化提供了可靠、便利的技术支持。LabWindows/CVI 中封装了 TCP 类库,可以开发基于 TCP/IP 的网络应用。LabVIEW 的 TCP/IP 和 UDP 网络 VI 能够与远程测控应用程序建立通信,Internet 工具箱为应用测控系统增加了 E-mail、FTP 和 Web 的能力;利用远程自动化 VI,还可对其他设备的分散 VI 进行远程控制。

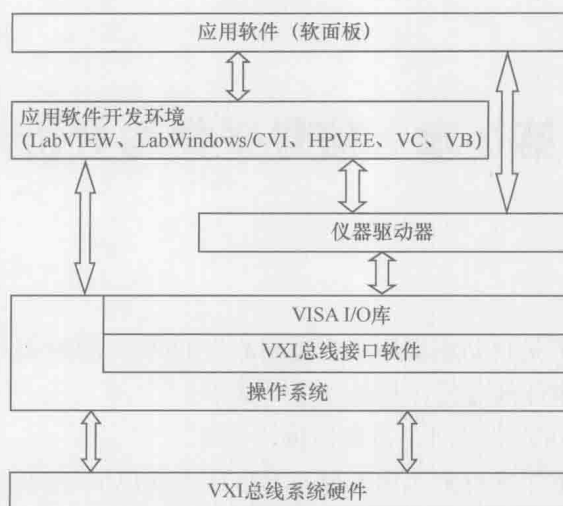


图 1.6 VXI 总线虚拟仪器的软件框架

1.4 本书的内容

本书由以下四部分组成：（1）现代测控技术涉及的基础知识；（2）测控系统的软件设计；（3）测控系统开发平台的设计；（4）测试技术的发展。

第一部分包括第 1~3 章，分别介绍了信号的采集与分析及仪器设备的接口总线等基础知识。信号的采集与分析包括时域和频域信号的测量方法、采样定理、信号的傅里叶变换及小波变换等内容。接口总线讲述了组建自动测试系统选用的 IEEE 488、VXI、LXI 等总线规范。

第二部分包括第 4 章和第 5 章，介绍了测控系统软件设计的相关内容，包括系统的软件开发工具及仪器驱动器的设计。

第三部分即第 6 章，介绍了测控系统通用开发平台的设计，包括硬件平台和软件平台，并详细介绍了一个开发平台的设计过程。

第四部分包括第 7 章和第 8 章，分别介绍了动态测试技术及故障诊断等内容。

第2章 信号采集与分析

2.1 引言

模拟信号和数字信号是自动测试系统中需要测量的两种主要信号形式：

- 模拟信号 $s(t)$ 是指连续时间、连续幅值的信号；
- 数字信号 $s(n)$ 是指离散时间、离散幅值的信号。

数字信号处理技术近年来得到飞速发展，它远优于模拟信号处理，并广泛应用到各个科技领域。但模拟信号有直观和实时等优点，在某些科研方面还需要用模拟信号来描述和分析问题。

测试信号分析的基本问题是为获得测试结果而对信号进行参数分析、特征识别等。由于测试的多样性，信号分析处理的问题和方法也变得丰富多彩，包括信号的参数分析、频谱分析、滤波以及统计特性分析等，大致包括以下情况：

(1) 对原始测量信号进行频谱分析。频谱是人们认识信号最重要的手段之一。依据频谱组成，人们很容易抓住信号与系统的特征。据此，可以有效地对信号进行分析、处理、合成，以及设计特定的系统。

频谱分析的主要目的是将信号分解成一系列单一的成分，以便弄清信号的组成，从中判别有用的信号并进一步分析有用信号的特征，区分有用信号与无用信号之间、有用信号不同分量之间的相互关系。频谱特征通常指信号的带宽、有用信号的频率范围、干扰的范围与统计特性等。

(2) 滤波是信号处理中最重要的概念与方法之一，在测试信号分析技术中有着十分重要的地位。借助滤波器或滤波程序可以去除信号中的噪声或无用分量，也可用于分离不同的信号分量，或用于信号参数的提取以及信号特性的修正或补偿。

(3) 为了对信号进行有效的放大与传输，调制/解调技术也十分常用。因此调制/解调的方法以及由调制/解调引起的频偏检测、延时检测也可以归入测试信号处理的范围。

(4) 此外，在对信号进行测试时，必然会出现信号传输的失真。为获得精确的测试结果，有时需要研究信道的均衡等问题。

以上问题都是测试过程中所需要考虑的信号分析与处理问题，本章只介绍测试过程中所涉及的信号采样、信号频域变换、信号频域分析、滤波技术等问题。

2.2 时域采样与时域采样定理

2.2.1 时域采样

以电压信号的测量为例，在自动测试系统中，信号的测量过程是通过数压表或数据采集卡采集到电压数据并通过数据总线传送到计算机进行处理，这一过程如图 2.1 所示，具体包