

CEKONG JISHU YU YIQI

测控技术与仪器专业

本科系列教材

# 虚拟仪器 技术与设计

Xuni Yiqi Jishu yu Sheji

余成波 冯丽辉 潘盛辉 编著

XUNI YIQI JISHU YU SHEJI



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

# 虚拟仪器技术与设计

余成波 冯丽辉 潘盛辉 编著

重庆大学出版社

## 内 容 提 要

本书以测控技术与仪器专业应用为背景,系统地介绍了虚拟仪器的相关理论及软硬件技术,并且给出了大量的工程实例和编程语言实例。全书分为8章。第1章是有关虚拟仪器的概念阐述;第2章是介绍虚拟仪器软件标准;第3章介绍了虚拟仪器系统开发环境;第4章为虚拟仪器的信号分析与处理;第5章介绍了虚拟仪器系统的抗干扰设计;第6章是网络化虚拟仪器的原理与设计;第7章为虚拟仪器系统的软件总体设计;第8章介绍了虚拟仪器的工程实例。全书提供了丰富的虚拟仪器设计技术的实例。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、信号与信息处理、电气工程与自动化、自动化等学科的本科生教材,也可供研究生以及从事有关专业技术的科技人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

虚拟仪器技术与设计/余成波,冯丽辉,潘盛辉编著. —重庆:重庆大学出版社,2006.7  
(测控技术与仪器专业本科系列教材)

ISBN 7-5624-3632-0

I. 虚... II. ①余... ②冯... ③潘... III. 智能仪器—高等学校—教材 IV. TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 030385 号

### 虚拟仪器技术与设计

余成波 冯丽辉 潘盛辉 编著

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:任卓惠 责任印制:秦 梅

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

四川省内江市兼升印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:462 千

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5624-3632-0 定价:23.00 元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 前言

虚拟仪器是仪器技术与计算机技术深层次相结合的产物,是全新概念的测量仪器。自 20 世纪 80 年代诞生以来,与前几代测试仪器相比,以前所未有的速度迅猛发展,是仪器领域的一次革命。

虚拟仪器将传统的仪器由硬件实现的数据分析、处理与显示等功能改为功能强大的计算机软件来完成。通过配置以获取调理信号为目的的 I/O 接口设备(数据采集(DAQ)卡、GPIB 仪器、VXI 总线仪器模块以及串行口仪器等),实现不同的测量、测试功能软件对采集获得的信号进行分析与处理。与传统仪器相比,虚拟仪器的经济性、灵活性和可扩展性等方面都有独特的优势。从某种意义上讲,“软件就是仪器”。

虚拟仪器技术涉及信号分析与处理、计算机的软硬件及总线仪器技术、软件工程、网络通信、电子技术、控制工程等多个学科。从总体上来说,它包括硬件和软件两个基本要素。本书主要是以虚拟仪器为主线索,将有关的理论基础、软硬件技术、总线技术综合为一个较为完整的虚拟仪器技术体系,使读者能从系统集成的高度了解和掌握系统的总体概貌和构成,并通过编者在长期教学科研实践中获得的成果与经验总结介绍,使读者学会虚拟仪器设计技术。

全书分为 8 章。第 1 章是有关虚拟仪器的概念阐述;第 2 章是介绍虚拟仪器软件标准;第 3 章介绍了虚拟仪器系统开发环境,第 4 章为虚拟仪器的信号分析与处理,第 5 章介绍了虚拟仪器系统的抗干扰设计,第 6 章是网络化虚拟仪器的原理与设计,第 7 章为虚拟仪器系统的软件总体设计,第 8 章介绍了虚拟仪器的工程实例。

本书是集体工作的成果,由余成波、冯丽辉、潘盛辉担任主编,全书由余成波统稿。其中:第 1 章由瞿峰、余成波编写;第 2 章由陈学军、余成波编写;第 3 章由瞿峰、余成波、潘盛辉编写;第 4 章由陈学军、余成波、黎家龙编写;第 5 章由潘盛辉、余成波编写;第 6、8 章由冯丽辉编写;第 7 章由徐慧娟、陶红艳编写;张莲、李恭琼、张睿、高云、栗秋华、吴丹等参加了部分章节的例程的编写及校对工作。本书在编写过程中得到许多兄弟

院校的同行们的大力支持和帮助,提出了许多宝贵意见,在此,一并表示衷心的感谢。

全书所给出的一些虚拟仪器设计技术的实例是编著者长期从事教学与科研的经验总结,所有程序均已通过作者的调试,读者可直接引用。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、信号与信息处理、电气工程与自动化、自动化等学科的本科生教材,也可供研究生以及从事有关专业技术的科技人员学习参考。

限于作者的水平,不妥及错误之处在所难免,恳切希望读者给予批评指正。

编 者

2006 年 2 月

# 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 .....                   | 4  |
| 1.2.1 虚拟仪器的概念 .....              | 4  |
| 1.2.2 虚拟仪器的组成与分类 .....           | 4  |
| 1.3 虚拟仪器的特点与应用 .....             | 6  |
| 1.3.1 虚拟仪器的特点 .....              | 6  |
| 1.3.2 虚拟仪器技术的应用 .....            | 6  |
| 1.4 虚拟仪器的发展 .....                | 8  |
| 1.5 虚拟仪器的整体设计 .....              | 9  |
| 第 2 章 虚拟仪器软件标准 .....             | 11 |
| 2.1 概述 .....                     | 11 |
| 2.1.1 SCPI .....                 | 11 |
| 2.1.2 VXI Plug&Play 与 VISA ..... | 12 |
| 2.1.3 仪器驱动器 .....                | 13 |
| 2.1.4 IVI .....                  | 14 |
| 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 .....            | 16 |
| 2.2.3 常用 SCPI 命令简介 .....         | 20 |
| 2.3 虚拟仪器软件体系 VISA .....          | 22 |
| 2.3.1 VISA 资源描述 .....            | 22 |
| 2.3.2 VISA 事件的处理机制 .....         | 25 |
| 2.4 IVI 仪器驱动器 .....              | 27 |
| 2.4.1 IVI 仪器规范 .....             | 27 |

|              |                             |            |
|--------------|-----------------------------|------------|
| 2.4.2        | IVI 驱动器的功能                  | 28         |
| 2.4.3        | IVI 驱动器的特点                  | 31         |
| <b>第 3 章</b> | <b>虚拟仪器系统开发环境</b>           | <b>32</b>  |
| 3.1          | 虚拟仪器常用编程语言简介                | 32         |
| 3.2          | 虚拟仪器开发语言 LabWindows/CVI 介绍  | 33         |
| 3.2.1        | LabWindows/CVI 下虚拟仪器软件组成    | 33         |
| 3.2.2        | LabWindows/CVI 程序设计的基本概念    | 34         |
| 3.2.3        | LabWindows/CVI 设计虚拟仪器的步骤与方法 | 35         |
| 3.2.4        | LabWindows/CVI 编程环境         | 35         |
| 3.2.5        | 基于 LabWindows/CVI 编程的基础     | 42         |
| 3.2.6        | 用户界面设计                      | 52         |
| 3.2.7        | 基于 LabWindows/CVI 数据采集      | 59         |
| 3.3          | 虚拟仪器开发语言 LabVIEW 介绍         | 69         |
| 3.3.1        | 启动 LabVIEW                  | 69         |
| 3.3.2        | LabVIEW 程序的基本构成与术语          | 71         |
| 3.3.3        | LabVIEW 的编程环境               | 73         |
| 3.3.4        | LabVIEW 程序设计的一般过程           | 79         |
| 3.3.5        | VI 结构控制                     | 85         |
| 3.3.6        | 基于 LabVIEW 编程语言的数据采集        | 91         |
| <b>第 4 章</b> | <b>虚拟仪器的信号分析与处理</b>         | <b>104</b> |
| 4.1          | 概述                          | 104        |
| 4.2          | 基于 LabWindows/CVI 的信号分析与处理  | 105        |
| 4.2.1        | 信号的产生与仿真                    | 105        |
| 4.2.2        | 信号的时域分析                     | 110        |
| 4.2.3        | 信号的频域分析                     | 117        |
| 4.2.4        | 信号的加窗处理                     | 124        |
| 4.2.5        | 信号的滤波                       | 130        |
| 4.3          | 基于 LabVIEW 编程环境的信号处理与分析     | 141        |
| 4.3.1        | 信号的产生                       | 141        |
| 4.3.2        | 数字信号处理                      | 149        |
| <b>第 5 章</b> | <b>虚拟仪器系统的抗干扰设计</b>         | <b>167</b> |
| 5.1          | 常见的系统干扰                     | 167        |
| 5.1.1        | 概述                          | 167        |
| 5.1.2        | 干扰源及干扰模式                    | 168        |
| 5.1.3        | 干扰耦合途径                      | 171        |

|            |                            |            |
|------------|----------------------------|------------|
| 5.2        | 虚拟仪器系统抗干扰设计                | 172        |
| 5.2.1      | 抗干扰设计应采取的措施                | 172        |
| 5.2.2      | 信号传输电缆抗干扰技术                | 172        |
| 5.2.3      | 接地                         | 172        |
| 5.2.4      | 隔离与耦合                      | 176        |
| 5.2.5      | 布线抗干扰设计                    | 178        |
| 5.2.6      | 虚拟仪器的防雷技术                  | 179        |
| 5.2.7      | 软件抗干扰设计                    | 180        |
| 5.3        | 电磁兼容试验标准                   | 181        |
| 5.3.1      | 信息技术设备定义                   | 182        |
| 5.3.2      | 限值                         | 182        |
| 5.3.3      | 测量方法                       | 184        |
| <b>第6章</b> | <b>网络化虚拟仪器的原理与设计</b>       | <b>187</b> |
| 6.1        | 网络体系结构与协议                  | 187        |
| 6.1.1      | OSI 参考模型                   | 188        |
| 6.1.2      | TCP/IP 参考模型                | 188        |
| 6.2        | LabVIEW 虚拟仪器中的网络通信协议与应用    | 189        |
| 6.2.1      | TCP 和 UDP 通信               | 189        |
| 6.2.2      | DataSocket 技术              | 197        |
| 6.2.3      | 基于 Web 的远程发布               | 213        |
| 6.3        | 组建网络化虚拟仪器系统的模式与应用          | 222        |
| 6.3.1      | C/S 模式                     | 222        |
| 6.3.2      | B/S 模式                     | 223        |
| 6.3.3      | 应用实例                       | 224        |
| 6.4        | 虚拟仪器系统在远程教学中的应用            | 231        |
| 6.4.1      | Web 虚拟仪器基本概念               | 231        |
| 6.4.2      | 应用实例                       | 232        |
| 6.5        | LabWindows/CVI 中的主要协议与应用简介 | 236        |
| 6.5.1      | TCP/IP 协议及应用               | 237        |
| 6.5.2      | DataSocket 技术及应用           | 244        |
| <b>第7章</b> | <b>总体设计技术分析</b>            | <b>251</b> |
| 7.1        | 系统设计的基本原则                  | 251        |
| 7.1.1      | 硬件设计的基本原则                  | 251        |
| 7.1.2      | 软件设计的基本原则                  | 252        |
| 7.2        | 系统总体设计的一般步骤                | 252        |
| 7.2.1      | 分析问题和确定任务                  | 252        |

|              |                                 |            |
|--------------|---------------------------------|------------|
| 7.2.2        | 系统总体设计 .....                    | 252        |
| 7.2.3        | 硬件和软件的设计 .....                  | 253        |
| 7.2.4        | 系统联调及性能测试 .....                 | 254        |
| 7.3          | 软件设计总体分析 .....                  | 255        |
| 7.3.1        | 概述 .....                        | 255        |
| 7.3.2        | 虚拟仪器系统对应用软件的要求 .....            | 255        |
| 7.3.3        | 软件评价 .....                      | 256        |
| 7.3.4        | 总体规划 .....                      | 258        |
| 7.4          | 虚拟仪器系统软件框架举例分析 .....            | 258        |
| 7.4.1        | 软件框架的提出和核心内容 .....              | 258        |
| 7.4.2        | 自动测试软件框架结构 .....                | 259        |
| 7.4.3        | 自动测试软件框架的使用方法 .....             | 260        |
| 7.4.4        | 自动测试流程库的结构 .....                | 260        |
| 7.4.5        | 自动测试软件框架的主调流程 .....             | 262        |
| 7.4.6        | 自动测试软件框架的扩充升级 .....             | 263        |
| 7.5          | 实时多任务处理技术 .....                 | 263        |
| 7.5.1        | 问题的提出 .....                     | 263        |
| 7.5.2        | 实时多任务处理的基本要求 .....              | 264        |
| 7.5.3        | 实时多任务处理方法 .....                 | 264        |
| 7.6          | 实时多任务处理技术举例 .....               | 268        |
| 7.6.1        | 基于 VXI 中断事件举例 .....             | 268        |
| 7.6.2        | 多线程技术 .....                     | 270        |
| 7.7          | 虚拟仪器操作软件及其设计 .....              | 272        |
| <b>第 8 章</b> | <b>虚拟仪器的工程实例 .....</b>          | <b>275</b> |
| 8.1          | 基于 Web 虚拟仪器技术的电热连续结晶机远程监控 ..... | 275        |
| 8.2          | 几个关键技术简介 .....                  | 276        |
| 8.3          | 本例系统功能及运行结果 .....               | 280        |
| <b>参考文献</b>  | <b>.....</b>                    | <b>284</b> |

# 第 1 章

## 绪 论

---

由于电子技术、计算机技术和网络技术的高速发展及其在电子技术与仪器领域中的应用,新的测试理论、方法、领域以及新的仪器结构的不断出现,电子测量仪器的功能和作用也发生了质的变化。在这种背景下,20 世纪 80 年代末,美国成功研制了虚拟仪器。本章将重点介绍有关虚拟仪器的发展历史及其组成等常识和基本概念。

### 1.1 测试与仪器

#### 1.1.1 测试技术

测试是人们认识客观世界取得定性或定量信息的基本方法,是信息工程的源头及重要组成部分。在科学技术高度发展的今天,测试工作将处于各种现代装备系统设计和制造的首位,并成为生产率、制造能力及实用性水平的重要标志。有资料报道:目前,测试成本已达到所研制装备系统总成本的 50%,甚至达 70%,而且编制测试程序所花的时间比系统设计所花的时间长得多。因此,在激烈竞争的世界中,测试将与现代装备系统的设计和制造构成一个完整的整体,是保证现代装备系统实际性能指标的重要手段。有人认为,微电子技术、计算机技术和电子测试技术将是现代电子装备系统的三大基础。因此,国际上先进的工业国家都投入巨资对电子测试技术、自动测试设备(ATE)和自动测试系统(ATS)进行研究,并取得了惊人的进展。

随着现代科学技术的迅速发展,对测试技术和设备(无论是电参量还是非电参量)提出了愈来愈高的要求。近年来,对测试项目、测试范围、测试速度及其准确度的要求不断提高。尤其是航天、导弹、雷达、通信等系统的鉴定,调试及维护,或者大规模集成电路的生产和检验(即使简单产品的计量测试,如电阻、电容等),都远非人工测试所能胜任。同时,加上因产量大、品种多、精度高等情况,人工测试已难以适应,为此,发展自动测试是唯一出路。因此,现代科学技术发展的需要是自动测试技术发展的动力;反之,自动测试技术的发展又促进了现代科学的更迅速发展。

20 世纪 60 年代初,出现了以计算机为核心的“第一代自动测试系统”。但它采用各种非

标准的专用接口,结构和格式各异,难以推广。至20世纪70年代,出现了CAMAC与GPIB两种国际公认的标准接口,促使自动测试技术迅速发展,这就是目前广泛流行的“第二代自动测试系统”。就目前电子测量而言,国际上主要厂商生产的电子仪器已大部或将逐步做到全部配置GPIB接口,以使用户联成各种规模的自动测试系统。

自动测试本质的意义,就是利用计算机“智能”本领来提高测试准确度,扩大功能,做许多“人工”做不了的事情。以微波网络分析仪为例,由于采用了微机实时求解误差模型的参数,消除了主要系统误差,使仪器精密度提高了1~2个数量级。这种通过软件来提高测试准确度的思想和方法给计量测试技术开辟了一条新的道路。各种先进技术的发展,对自动化测试的要求愈来愈高,如宽量程、宽频带、高精度、高分辨率、高可靠性、高重复性、大动态、多功能、多参数、实时性、自动判决、显示和记录、自动故障诊断等。因而各种先进技术和自动计量测试技术相互依赖、相互促进的关系,将更为突出。而且,电子测试技术的发展往往应超前发展。一个新的科学理论和现代装备如果没有先进的测试技术和仪器的支持,其研究、设计及试验均是不可能的。科学技术的发展,尤其是微电子技术和计算机科学的发展又极大地推动了电子测试技术和仪器的发展,并使常规的测试原理和仪器设计发生了重大的变革。可以预料,在不久的将来会在现代测试技术领域产生一系列强有力的、新颖的测试概念和测试仪器,从而大大提高测试质量,降低测试成本,并缩短新产品进入市场的时间。

### 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需的工具与物质手段。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,而且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,各种数字仪器将模拟仪器的精度、分辨率与测量速度提高了几个数量级,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和显示转变为集控制、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技术的进步取得重大突破,其主要突出表现在: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。

未来几年中,仪器仪表产品的高科技化,必将成为日后仪器仪表科技与产业的发展主流。近20年来,随着微电子技术、计算机技术、精密机械技术、高密封技术、特种加工技术、集成技术、薄膜技术、网络技术、纳米技术、激光技术、超导技术以及生物技术等高新技术迅猛发展,对仪器仪表提出了更高、更新、更多的要求(如:要求速度更快,灵敏度更高,稳定性更好,样品量更少,检测微损甚至无损,遥感遥控距离更远,使用更方便,成本更低廉,无污染等);同时,也极大地推动了仪器仪表科技产业的发展,并成了仪器仪表进一步发展的物质、知识和技术基础。尤其需要指出的是,近10年来,由于包括纳米技术的精密机械的研究成果、分子层次的现代化学研究成果、基因层次的生物研究成果、新型传感器技术与智能化技术研究成果,以及高精密超性能特种功能材料研究成果和全球网络技术推广应用成果等在内的一大批当代最新科技成果的竞相问世,使得仪器仪表领域发生了根本性的变革。这些新成果不仅成了现代仪器仪表及其产业赖以生存与发展的土壤、基础、支撑与动力,而且还正在迅速改变仪器仪表的工作原理与本质特征,并使其具备和拥有了传统仪器仪表根本无法实现的众多的、全新的、超高的功能。因此,现代仪器仪表产品已成为最具典型性的高科技产品。目前,它不但已经完全突破了传统的光、机、电的框架,向着计算机化、网络化、智能化、多功能化的方向迅速发展,而且由于大量采用高新科学技术的研究成果、跨学科的综合设计、高精尖的制造技术的实际应用,使得仪器仪表正朝着更高速、更灵敏、更可靠、更简捷地获取分析、检测、控制对象全方位信息的方向阔步前进。由此可见,高科技化不但是现代仪器仪表的主要特征,而且是振兴仪器仪表工业的必由之路,也是新世纪仪器仪表及其产业的发展主流。

伴随现场总线的问世,过程测控仪表发展历程出现了重大转折和难得机遇。目前,现场总线已成为全球自动化技术的热点。现场总线是用于现场智能化仪表与控制室之间的一种全数字化、双向、多站的通信系统。它的产生,既是广大用户的实际需求和制造厂商之间技术竞争的结果,也是计算机技术、通信技术和控制技术在工业控制领域相结合的产物。现场总线的出现,为仪器仪表的更新换代、产品升级以及实现进一步的高精度、高性能,特别是多参数在线实时测控与自动测控、高稳定、高可靠、高适应性、多功能、低消耗等提供了巨大动力和发展空间。

随着仪器仪表产品应用领域特别是非传统应用领域的进一步拓展,为仪器仪表工业的持续发展注入了新活力和新动力。回顾仪器仪表工业的发展进程,可清晰看到,仪器仪表的应用范围已经覆盖了人类活动的所有领域,并且正从传统的化学成分分析、物理检测、机械测量、天文地理观测、工业生产过程自动控制、产品质量测控等传统应用领域,进一步向生物医学、生物工程、生态环境等非传统应用领域扩展。同时,随着新世纪高分子化学、分子生物学、生命科学、临床医学、药学、材料、环境监测和控制等高新科技与产业的发展,仪器仪表的应用领域还将获得更为迅速的拓展。例如,在匹兹堡召开的国际化学与应用光谱学学术会议上,有的专家就提出了有关人体“综合形态分析”的概念,并希望尽快研制与开发出可“直接”观察人体各组成部分及其化学成分图像的仪器仪表系统。因此,现代科技的进步使仪器仪表的应用领域越来越广阔,越来越纵深。这一切,无疑为仪器仪表的进一步发展提供了又一强大动力,展示了光明美好的前景。

## 1.2 虚拟仪器

### 1.2.1 虚拟仪器的概念

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。即虚拟仪器就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(即软面板),通过友好的图形界面及图形化编程语言控制仪器运行,构成多种仪器,完成对被测量的采集、分析、判断、显示、存储及数据生成的仪器。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。而软件就成为了虚拟仪器的关键,任何一个使用者都可以通过修改虚拟仪器的软件来改变它的功能,这就是美国 NI 公司“软件就是仪器”(The software is the instrument)一说的来历。

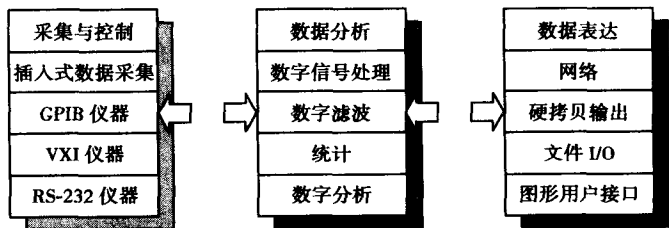


图 1.1 VI 内部功能划分

### 1.2.2 虚拟仪器的组成与分类

虚拟仪器由通用仪器硬件平台(简称硬件平台)和应用软件两个部分构成。

#### (1) 虚拟仪器的硬件平台

虚拟仪器的硬件平台一般分为计算机硬件平台和测控功能硬件(I/O 接口设备)。计算机硬件平台可以是各种类型的计算机,如 PC、便携式计算机、工作站、嵌入式计算机等。计算机管理着虚拟仪器的硬件资源,是虚拟仪器的硬件支撑。计算机技术在显示、存储能力、处理性能、网络、总线标准等方面的发展,推动着虚拟仪器系统的发展。

I/O 接口设备主要完成被测输入信号的采集、放大、模/数转换。不同的总线有其相应的 I/O 接口硬件设备,如利用 PC 总线的数据采集卡(DAQ)、GPIB 总线仪器、VXI 总线仪器模块、串口总线仪器等。

虚拟仪器的硬件构成有多种方案,通常采用的几种如图 1.2 所示。

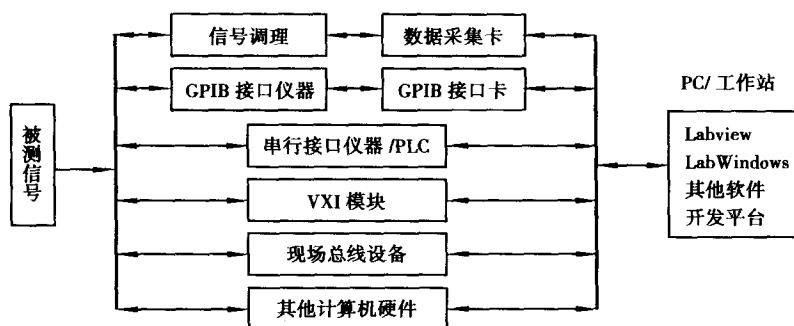


图 1.2 虚拟仪器的基本构成框图

### 1) 基于数据采集的虚拟仪器系统

这种方式借助于插入计算机内的数据采集卡与专用的软件如 LabVIEW(或 LabWindows/CVI)相结合,通过 A/D 变换将模拟、数字信号采集到计算机进行分析、处理、显示等,并可通过 D/A 转换实现反馈控制。根据需要还可加入信号调理和实时 DSP 等硬件模块。这种系统采用 PCI 或 ISA 总线,将数据卡(DAQ)插入计算机的 PCI 或 ISA 插槽中。充分利用计算机的资源,大大增加了测试系统的灵活性和扩展性。利用 DAQ 可方便快速地组建基于计算机的仪器,实现“一机多型”和“一机多用”。该方式是构成 VI 最基本的方式,也是最廉价的方式。

### 2) 基于通用接口总线 GPIB 接口的仪器系统

GPIB(General Purpose Interface Bus)仪器系统的构成是迈向虚拟仪器的第一步,即利用 GPIB 接口卡将若干 GPIB 仪器连接起来,用计算机增强传统仪器的功能,组织大型柔性自动测试系统,技术易于升级,维护方便,仪器功能和面板自定义,开发和使用容易。它可高效灵活地完成各种不同规模的测试测量任务。利用 GPIB 技术,可由计算机实现对仪器的操作和控制,替代传统的人工操作方式,排除人为因素造成的测试测量误差。同时,由于可预先编制好测试程序,实现自动测试,提高了测试效率。

### 3) 基于 VXI 总线仪器实现虚拟仪器系统

VXI(VMEbus Extension for Instrumentation)总线为虚拟仪器系统提供了一个更为广阔的发展空间。VXI 总线是一种高速计算机总线——VME(Versa Module Eurocard)总线在仪器领域的扩展。由于其标准开放、传输速率高、数据吞吐能力强、定时和同步精确、模块化设计、结构紧凑、使用方便灵活,已越来越受到重视。它便于组织大规模、集成化系统,是仪器发展的一个方向。

### 4) 基于串行口或其他工业标准总线的系统

将某些串行口仪器和工业控制模块连接起来,组成实时监控系統。将带有 RS-232 总线接口的仪器作为 I/O 接口设备通过 RS-232 串口总线与 PC 计算机组成虚拟仪器系统,目前仍然是虚拟仪器的构成方式之一。当今,PC 计算机已更多地采用了 USB 总线和 IEEE 1394 总线。

特别提醒:目前较常用的虚拟仪器系统是数据采集系统、GPIB 控制系统、VXI 仪器系统以及这三者之间的任意组合。

### (2) 虚拟仪器的软件

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两类;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、HPVEE 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,其中不少功能和性能直接由软件实现;

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在电子计算机的显示屏上显示测试结果的数据、曲线簇、模型甚至多维模型;

⑥规范测试结果的信息存储、传送或记录。

## 1.3 虚拟仪器的特点与应用

### 1.3.1 虚拟仪器的特点

虚拟仪器与传统仪器相比,具有以下特点:

①传统仪器的面板只有一个,其表面布置着种类繁多的显示与操作元件,由此可能导致认读与操作错误。虚拟仪器与之不同,它可以通过在几个分面板上的操作来实现比较复杂的功能。虚拟仪器融计算机强大的硬件资源,突破了传统仪器在数据处理、显示、存储等方面的限制,大大增强了传统仪器的功能。高性能处理器、高分辨率显示器、大容量硬盘等已成为虚拟仪器的标准配置。

②在通用硬件平台确定后,由软件取代传统仪器中的硬件来完成仪器的功能。

③仪器的功能可以根据用户需要由软件自行定义,而不是由厂家事先定义的,增加了系统灵活性。

④仪器性能的改进和功能扩展只需要更新相关软件设计,而不需购买新的仪器,节省了物质资源。

⑤研制周期较传统仪器大为缩短。

⑥虚拟仪器是基于计算机的开放式标准体系结构,可与计算机同步发展,与网络及其周边设备互联。

决定虚拟仪器具有传统仪器不可能具备的特点的根本原因在于“虚拟仪器的关键是软件”。

### 1.3.2 虚拟仪器技术的应用

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对于实际工程人员来说,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,通过计算机实时集中控制和管理,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,在短期内提高有一定的困难。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,但投资大,技术更新快,维护困难。利用虚拟仪器技术,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,仪器与电路的互相配合,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。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。目前,虚拟仪器在实验教学、科学研究、远程教育中发挥着巨大的作用。利用虚拟仪器构建虚拟实验室被认为是有广阔前景的事业。

## 1.4 虚拟仪器的发展

美国国家仪器公司(National Instrument 简称 NI)在 20 世纪 80 年代中期,首先提出了“软件就是仪器”(The Software is the Instrument)这一虚拟仪器概念。这个概念为用户定义、构造自己的仪器系统提供了完美的解决途径。虚拟仪器通过软件将计算机硬件资源与仪器硬件有机地融合为一体,从而把计算机强大的计算处理能力和仪器硬件的测量、控制能力结合在一起,大大缩小了仪器硬件的成本和体积,并通过软件实现对数据的显示、存储以及分析处理。从发展史看,电子测量仪器经历了由模拟仪器、智能仪器到虚拟仪器。当硬件平台 I/O 接口设备与计算机确定后,编制某种测量功能的软件就成为该种功能的测试仪器。因为虚拟仪器可与计算机同步发展,与网络及其他周边设备互联,用户只需改变软件程序就可以不断赋予它或扩展增强它的测量功能。这就是说,仪器的设计制造不再是厂家的专利。虚拟仪器开创了仪器使用者可以成为仪器设计者的时代,这将给仪器使用者带来无尽的收益。

虚拟仪器从概念的提出到目前技术发展已日趋成熟,体现了计算机技术对传统工业的革命。大致说来,虚拟仪器发展至今,可以分为三个阶段,而这三个阶段又是同步进行的。

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 同计算机连接起来,用户就可以用计算机控制仪器。随着计算机系统性价比的不断上升,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。

第二阶段,开放式的仪器构成。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仪器功能的区别。

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标准工具。发展到这一阶段,人们也认识到了虚拟仪器软件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 口方式(适合于普及型的廉价系统,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,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,它是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。不久的将来,还可以把数码发布到 Web 网页上甚至把数据传输到手机上,实现在不同地点、不同国家的同行合作处理同一个科研项目。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