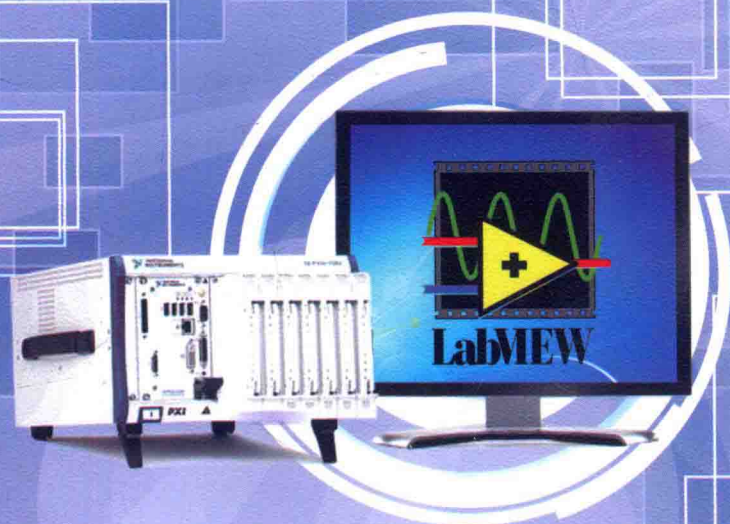




普通高等教育仪器类“十三五”规划教材



虚拟仪器技术 分析与设计（第3版）

张重雄 张思维 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>

普通高等教育仪器类“十三五”规划教材

虚拟仪器技术分析与设计

(第3版)

张重雄 张思维 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

虚拟仪器是现代仪器技术与计算机技术相结合的产物,代表着仪器发展的最新方向和潮流,是信息技术的一个重要领域。

本书系统地介绍了虚拟仪器的相关技术与设计方法,内容包括虚拟仪器的总线接口技术,软件标准,图形化编程语言 LabVIEW 2015,数据采集与信号处理,通信技术。从工程实用的角度出发,详细论述了虚拟仪器的综合设计。本书内容丰富,理论联系实际,通过大量的实例,深入浅出地介绍了虚拟仪器的设计技巧。为了适合教学需要,各章末均附有思考题和习题,并配有电子课件。

本书可作为高等院校“虚拟仪器”课程的教材或教学参考书,也可作为工程技术人员开发设计虚拟仪器的参考书。

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

虚拟仪器技术分析与设计 / 张重雄, 张思维编著. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2017. 1

普通高等教育仪器类“十三五”规划教材

ISBN 978-7-121-30364-7

I. ①虚… II. ①张… ②张… III. ①虚拟仪表—高等学校—教材 IV. ①TH86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 276291 号

责任编辑: 凌 毅

印 刷: 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

装 订: 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

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: 16.5 字数: 430 千字

版 次: 2007 年 8 月第 1 版

2017 年 1 月第 3 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 39.80 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)88254888,88258888。

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。

本书咨询联系方式:(010)88254528, lingyi@phei.com.cn。

第 3 版前言

虚拟仪器技术是现代仪器技术与计算机技术相结合的产物,是 21 世纪科学技术中的核心技术之一。它的出现导致传统仪器的结构、概念和设计观点都发生了巨大的变革,代表着仪器发展的最新方向和潮流。

虚拟仪器利用计算机软件代替传统仪器的硬件来实现信号分析、数据处理和显示等多种功能,突破了传统仪器由厂家定义功能,用户无法改变的固定模式。虚拟仪器具有组建灵活、研制周期短、成本低、易维护、扩展方便和软件资源丰富等优点,“软件即是仪器”最本质地刻画出虚拟仪器的特征。

美国国家仪器公司(NI)在 20 世纪 80 年代最早提出了虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)的概念。30 多年来,虚拟仪器这种计算机操纵的模块化仪器系统在世界范围内已得到了广泛的认同和应用。近几年来,我国对虚拟仪器应用的需求开始急剧增长,虚拟仪器的应用范围也在不断扩大。特别是伴随着计算机技术的飞速发展,高性能的计算机推动了以软件作为核心的虚拟仪器技术的快速发展。虚拟仪器技术已被广泛应用于军事、科研、测量、检测、计量、测控等众多领域。

本书 2007 年出版第 1 版,得到了读者的鼓励和鞭策,并提出了许多宝贵意见,2012 年在对第 1 版内容进行相应增删的基础上出版了第 2 版。本次再版结合虚拟仪器技术的最新发展和读者的反馈意见,在内容方面又进行了补充与调整,并对第 2 版中出现的印刷错误进行了修订。

本次再版以美国国家仪器公司最新推出的 LabVIEW 2015 图形化编程语言为虚拟仪器开发平台,介绍虚拟仪器的基本原理与设计方法,并给出大量的虚拟仪器设计实例,其目的是通过理论与实例结合的方式,图文并茂,深入浅出地介绍虚拟仪器的设计方法和技巧。

全书分为 8 章。第 1 章简要介绍虚拟仪器的基本概念和组成;第 2 章介绍 GPIB, VXI, PXI, LXI 等几种目前用于虚拟仪器的专用总线;第 3 章讲述程控仪器标准命令(SCPI)、虚拟仪器软件结构(VISA)、虚拟仪器驱动程序等虚拟仪器软件标准;第 4 章介绍图形化编程语言 LabVIEW 的基本特性以及 LabVIEW 2015 的编程环境与虚拟仪器的创建步骤和调试方法;第 5 章介绍程序结构,字符串、数组和簇,局部变量和全局变量,文件操作,图形显示等几种 LabVIEW 编程中常用的控件和函数的用法;第 6 章结合实例,介绍在 LabVIEW 中进行数据采集、信号产生、信号分析与处理的方法和技巧;第 7 章介绍串行通信, TCP/UDP 网络通信, NI 的 DataSocket 通信,共享变量, IrDA 无线数据通信的 LabVIEW 实现方法;第 8 章从工程实用的角度出发,结合实例,介绍虚拟仪器的工程设计。

本书配有电子课件等教辅资料,读者可以登录华信教育资源网 www.hxedu.com.cn 下载。由于虚拟仪器技术发展迅速,应用广泛,限于编者水平,缺点错误在所难免,欢迎读者批评指正。

编者

2016 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	1	第 3 章 虚拟仪器软件标准	45
1.1 虚拟仪器的基本概念	1	3.1 可编程仪器标准命令 (SCPI)	45
1.2 虚拟仪器的组成	2	3.1.1 SCPI 的目标	45
1.2.1 虚拟仪器的硬件结构	2	3.1.2 SCPI 仪器模型	46
1.2.2 虚拟仪器的软件结构	4	3.1.3 SCPI 命令句法	47
1.2.3 虚拟仪器系统	5	3.1.4 常用 SCPI 命令简介	51
1.3 虚拟仪器的特点	5	3.1.5 SCPI 编程方法	53
1.4 虚拟仪器的应用	6	3.2 虚拟仪器软件结构(VISA)	54
1.5 虚拟仪器技术发展趋势	7	3.2.1 VISA 的结构与特点	54
本章小结	8	3.2.2 VISA 的现状	55
思考题和习题 1	8	3.2.3 VISA 的资源结构	55
第 2 章 虚拟仪器总线接口技术	9	3.2.4 VISA 的应用	57
2.1 GPIB 总线	9	3.3 虚拟仪器驱动程序	58
2.1.1 GPIB 的基本特性	9	3.3.1 VPP 仪器驱动程序	59
2.1.2 GPIB 器件及接口功能	10	3.3.2 IVI 仪器驱动程序	66
2.1.3 GPIB 总线结构	11	本章小结	70
2.1.4 GPIB 仪器系统	14	思考题和习题 3	70
2.2 VXI 总线	15	第 4 章 虚拟仪器软件开发平台 LabVIEW	71
2.2.1 VXI 总线的特点	15	4.1 LabVIEW 概述	71
2.2.2 VXI 器件、模块与主机箱	16	4.1.1 LabVIEW 的含义	71
2.2.3 VXI 总线组成及功能	19	4.1.2 LabVIEW 的特点	71
2.2.4 VXI 总线的通信协议	22	4.1.3 LabVIEW 的发展	72
2.2.5 VXI 总线系统资源	25	4.1.4 LabVIEW 2015 的安装与 运行	74
2.2.6 VXI 总线仪器系统	26	4.2 LabVIEW 2015 编程环境	75
2.3 PXI 总线	27	4.2.1 LabVIEW 2015 的基本 开发平台	75
2.3.1 PXI 总线的特点	28	4.2.2 LabVIEW 2015 的操作 选板	77
2.3.2 PXI 总线规范	28	4.2.3 LabVIEW 2015 的菜单和 工具栏	80
2.3.3 PXI 仪器系统	34	4.2.4 LabVIEW 2015 中的数据	
2.4 LXI 总线	36		
2.4.1 LXI 的特点和优势	36		
2.4.2 LXI 总线规范	37		
2.4.3 LXI 仪器系统	40		
本章小结	43		
思考题和习题 2	43		

类型	81	6.1.1 数据采集系统的含义	133
4.3 LabVIEW 2015 的初步操作	84	6.1.2 数据采集系统结构	134
4.3.1 创建虚拟仪器	85	6.1.3 数据采集卡的选用及产品 介绍	136
4.3.2 调试虚拟仪器	86	6.1.4 数据采集卡的安装配置	142
4.3.3 创建和调用子 VI	89	6.1.5 基于 LabVIEW 的数据 采集过程	144
4.3.4 虚拟仪器创建举例—— 虚拟温度计	90	6.1.6 基于 LabVIEW 的数据 采集 VI 设计	145
本章小结	93	6.2 信号产生	151
思考题和习题 4	93	6.2.1 数字信号的产生与数字化 频率的概念	151
第 5 章 虚拟仪器设计基础	94	6.2.2 信号生成	152
5.1 程序结构	94	6.2.3 波形生成	154
5.1.1 循环结构	94	6.3 信号的时域分析	159
5.1.2 条件结构	97	6.3.1 卷积运算	159
5.1.3 顺序结构	99	6.3.2 相关分析	161
5.1.4 事件结构	100	6.3.3 微积分运算	164
5.1.5 公式节点	103	6.4 信号的频域分析	166
5.2 字符串、数组和簇	105	6.4.1 快速傅里叶变换(FFT)	166
5.2.1 字符串	105	6.4.2 频谱分析	168
5.2.2 数组	107	6.4.3 频率响应分析	172
5.2.3 簇	109	6.4.4 谐波分析	173
5.3 局部变量和全局变量	111	6.5 数字滤波器	176
5.3.1 局部变量	111	6.5.1 调用数字滤波器子程序 应注意的问题	177
5.3.2 全局变量	113	6.5.2 LabVIEW 中的数字 滤波器	178
5.4 文件操作	114	6.5.3 窗函数	178
5.4.1 LabVIEW 支持的文件 类型	114	6.5.4 数字滤波器应用举例	179
5.4.2 文件操作函数	115	6.6 曲线拟合	181
5.4.3 文件操作举例	116	6.6.1 LabVIEW 的曲线拟合 函数	182
5.5 图形显示	120	6.6.2 曲线拟合举例	182
5.5.1 波形图和图表	121	本章小结	186
5.5.2 XY 图	125	思考题和习题 6	186
5.5.3 强度图和图表	125	第 7 章 虚拟仪器通信技术	188
5.5.4 数字波形图	127	7.1 串行通信	188
5.5.5 三维图形	128	7.1.1 串行通信的概念	188
本章小结	131	7.1.2 串行通信节点	190
思考题和习题 5	131		
第 6 章 虚拟仪器的数据采集与 信号处理	133		
6.1 数据采集	133		

7.1.3 串行通信应用举例	192	8.1.3 软件设计的基本原则	216
7.2 网络通信	194	8.2 虚拟仪器的设计步骤	216
7.2.1 TCP 通信	194	8.3 虚拟仪器软面板设计技术	217
7.2.2 UDP 通信	198	8.3.1 虚拟仪器软面板的设计思想	217
7.2.3 DataSocket 通信	200	8.3.2 虚拟仪器软面板的设计原则	218
7.3 共享变量	205	8.4 虚拟仪器设计实例	220
7.3.1 创建项目文件	206	8.4.1 虚拟数字电压表	220
7.3.2 创建共享变量	206	8.4.2 虚拟示波器	225
7.3.3 共享变量的使用	208	8.4.3 基于 LabVIEW 和声卡的数据采集系统	230
7.3.4 共享变量用于网络通信	209	8.4.4 基于 NI myDAQ 和 LabVIEW 的音频信号处理系统	238
7.4 IrDA 无线数字通信	211	8.4.5 基于虚拟仪器的电能质量监测系统	243
7.4.1 IrDA 概述	212	本章小结	254
7.4.2 IrDA 节点	212	思考题和习题 8	254
7.4.3 IrDA 通信编程举例	212	参考文献	255
本章小结	213		
思考题和习题 7	213		
第 8 章 虚拟仪器设计实例	215		
8.1 虚拟仪器的设计原则	215		
8.1.1 总体设计原则	215		
8.1.2 硬件设计的基本原则	215		

第1章 绪论

本章主要介绍虚拟仪器的基本概念、虚拟仪器的组成、虚拟仪器的特点与应用和虚拟仪器技术的发展趋势,重点突出“软件即仪器”的观点。

随着微电子技术、计算机技术、软件技术、通信技术的迅速发展,新的测量理论、测量方法、测量领域和新的仪器结构不断出现,在许多方面已经突破了传统仪器的概念。尤其是以计算机为核心的仪器系统与计算机软件技术的紧密结合,导致了仪器的概念发生了突破性的变化,出现了一种全新的仪器概念——虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)。

虚拟仪器是现代仪器技术与计算机技术相结合的产物,它的出现是仪器发展史上的一场革命,代表着仪器发展的最新方向和潮流,是信息技术的一个重要领域,对科学技术的发展和工业生产将产生不可估量的影响。

1.1 虚拟仪器的基本概念

虚拟仪器是指,在以通用计算机为核心的硬件平台上,由用户自己设计定义,具有虚拟的操作面板,测试功能由测试软件来实现的一种计算机仪器系统。虚拟仪器突破了传统电子仪器以硬件为主体的模式。实际上,测量时使用者是在操作具有测试软件的计算机,犹如操作一台虚拟的电子仪器,虚拟仪器因此得名。“软件即仪器”(Software is Instrument),最本质地刻画出虚拟仪器的特征。它比传统的电子仪器更为通用,更能适应迅猛发展的当代科学技术对测量仪器提出的不断更新的要求,推动着传统仪器朝着数字化、模块化、虚拟化、网络化的方向发展。

测试仪器的种类很多,功能各异。但无论何种测试仪器,其组成都可以概括为数据的采集与控制、数据的分析与处理、结果的输出与显示三大功能模块,且都以硬件形式存在,所以开发、维护的费用高,技术更新周期长。即便是后来出现的数字化仪器、智能仪器,使传统仪器的准确度提高、功能增强,但仍未改变传统仪器那种独立使用、手动操作、任务单一的模式。为此,总线式仪器和系统应运而生。人们研制出多种通信接口,用于将多台智能仪器连在一起,构成功能更强、适应面更广的测试系统,但这种总线式仪器中仍有许多重复的部件或功能单元。

虚拟仪器技术的出现,打破了传统仪器由厂家定义功能、用户无法改变的固定模式。虚拟仪器技术给了用户一个充分发挥自己的才能和想象力的空间。用户可以随心所欲地根据自己的需求,设计自己的仪器系统,满足多种多样的应用需求。

虚拟仪器的概念是对传统仪器概念的重大突破,是计算机系统与仪器系统相结合的产物。它利用计算机系统的强大功能,结合相应的硬件,大大突破了传统仪器在数据采集、显示、传送、处理等方面的限制,使用户可以方便地对虚拟仪器进行维护、扩展和升级等。

虚拟仪器中“虚拟”的含义表现在两个方面。一方面是指虚拟仪器面板,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外形与实物相像的图标,其操作对应着相应的软件程序,使用鼠标或键盘操作虚拟仪器面板上的控件,就如使用一台实际的仪器。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,它们的功能是通过硬件来实现的。

需要指出的是,虚拟仪器实质上是一种创新的仪器,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、最关键的部分。

1.2 虚拟仪器的组成

虚拟仪器的组成包括硬件和软件两个基本要素。

1.2.1 虚拟仪器的硬件结构

虚拟仪器的硬件结构如图 1.1 所示。硬件是虚拟仪器工作的基础,主要完成被测信号的采集、传输、存储处理和输入/输出等工作,由计算机和 I/O 接口设备组成。计算机一般为一台 PC 或工作站,是硬件平台的核心,它包括微处理器、存储器和输入/输出设备等,用来提供实时高效的数据处理工作。I/O 接口设备即采集调理部件,包括 PC 总线的数据采集(Data Acquisition, DAQ)卡、GPIB 总线仪器、GPIB 接口卡、VXI/PXI/LXI 总线仪器模块、串口总线仪器/PLC 和现场总线仪器模块等标准总线仪器,主要完成被测信号的采集、放大和模数转换。



图 1.1 虚拟仪器的硬件结构

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,或将计算机中数据输出给受控对象,典型结构如图 1.2 所示。

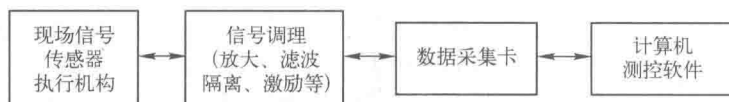


图 1.2 基于数据采集卡的虚拟仪器的典型结构

这种系统采用 PC 本身的 PCI 或 ISA 总线,将数据采集卡插入到计算机的 PCI 或 ISA 总线插槽中,并与专用的软件相结合,完成测试任务。它充分利用了微型计算机的软、硬件资源,更好地发挥了微型计算机的作用,大幅度地降低了仪器成本,并具有研制周期短、更新改进方便等优点。这种插卡式实现方案性价比极佳。

(2) 基于 GPIB 总线方式的虚拟仪器

通用接口总线(General Purpose Interface Bus, GPIB)是由 HP 公司于 1978 年制定的总线标准,是传统测试仪器在数字接口方面的延伸和扩展。

典型的基于 GPIB 总线方式的虚拟仪器系统由一台 PC、一块 GPIB 接口卡和若干台 GPIB 形式的仪器通过 GPIB 电缆连接而成,如图 1.3 所示。通过 GPIB 技术可以实现计算机对仪器的操作和控制,替代了传统的人工操作方式,提高了测试、测量效率。

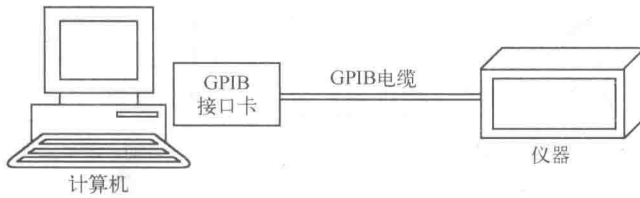


图 1.3 基于 GPIB 总线方式的虚拟仪器系统构成示意图

(3) 基于 VXI 总线方式的虚拟仪器

在虚拟仪器技术中最引人注目的应用是基于 VXI(VMEbus eXtension for Instrumentation)总线的自动测试仪器系统。由于 VXI 总线具有标准开放、结构紧凑、数据吞吐能力强、定时和同步精确、模块可重复利用、众多厂家支持等优点,所以得到了广泛应用。经过近 30 年的发展,VXI 系统的组建和使用越来越方便,尤其是在组建大、中规模自动测试仪器系统和对速度、精度要求高的场合,具有其他仪器无法比拟的优势。典型的基于 VXI 总线的虚拟仪器系统的构成如图 1.4 所示。

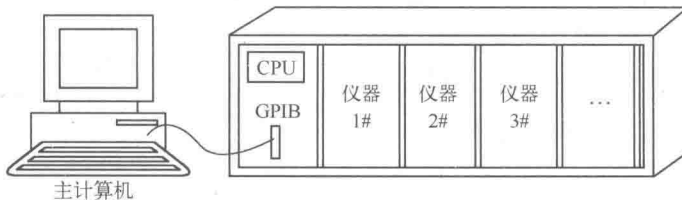


图 1.4 基于 VXI 总线的虚拟仪器系统构成示意图

(4) 基于 PXI 总线方式的虚拟仪器

PXI(PCI eXtension for Instrumentation)总线是 NI 公司在 1997 年 9 月 1 日推出的全新的开放性模块化仪器总线规范。它以 Compact 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。PXI 总线的传输速率已经达到 132 MBps(32 位数据总线)或 264 MBps(64 位数据总线)。

目前,由于 PXI 模块仪器系统具有良好的性价比,所以越来越多的工程技术人员开始关注 PXI 的发展,尤其是在某些要求测试系统体积小的使用场合。另外,由于 PXI 测试系统的数据传输速率高,所以在某些高频段的测试已经采用了 PXI 测试系统。

把台式 PC 的性价比和 PCI 总线面向仪器领域的扩展优势结合起来,将形成未来主流的虚拟仪器平台之一。典型的基于 PXI 总线方式的虚拟仪器的构成如图 1.5 所示。

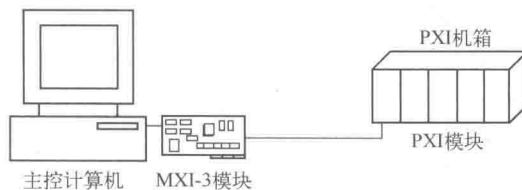


图 1.5 基于 PXI 总线方式的虚拟仪器构成示意图

(5) 基于 LXI 总线方式的虚拟仪器

2004 年 9 月,VXI 科技公司和安捷伦公司共同推出一种适用于自动测试系统的新一代基于

局域网(LAN)的模块化测量仪器接口标准 LXI(LAN-based eXtension for Instrumentation),即基于 LAN 的仪器扩展。开放式的 LXI 标准于 2005 年 9 月正式公布,随后,LXI 标准的特有模块仪器和测量系统投入市场。LXI 是整合了可编程仪器标准 GPIB 协议和工业标准 VXI 的成果而发展起来的接口总线技术,它将台式仪器的内置测量技术、PC 标准 I/O 接口与基于插卡框架系统的模块化集于一体,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。

作为以太网技术在自动化测试领域的应用扩展,LXI 为高效能的仪器提供了一个自动测试系统的 LAN 模块式平台。无论是相对 GPIB、VXI 还是 PXI,LXI 都将是未来总线技术的发展趋势。以 LXI 为主体的虚拟仪器网络结构如图 1.6 所示。在这种构成方案中,GPIB,VXI,PXI,LXI 共存于系统,它们通常仅是 LAN 上的一个节点,这样不仅能够最大地发挥各自的功能和优势,而且可以相互进行数据的传输和资源的共享。

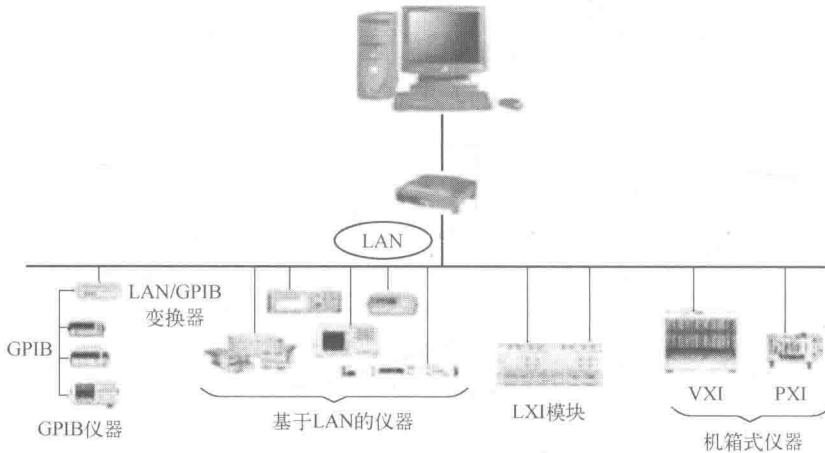


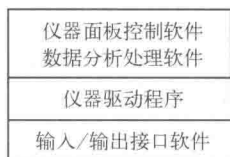
图 1.6 以 LXI 为主体的虚拟仪器网络结构

1.2.2 虚拟仪器的软件结构

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 1.7 所示。



(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

图 1.7 虚拟仪器软件框架

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,他们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) 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 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 公司的 VEE、NI 公司的 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。

1.2.3 虚拟仪器系统

以 PC-DAQ 接口的虚拟仪器为例,虚拟仪器系统的整体结构如图 1.8 所示。

传感器将被测信号转换为电信号,经信号调理电路调整为标准信号后,送数据采集卡进行采集。数据采集卡中通过多路模拟开关、A/D 转换芯片和数据缓存几个部件将模拟信号转换成数字信号并存储在缓存中。计算机通过虚拟仪器编程软件开发的应用程序调用设备驱动程序对数据采集卡进行控制,读取并处理采集的数据,通过虚拟仪器面板,显示、打印、输出测试结果。

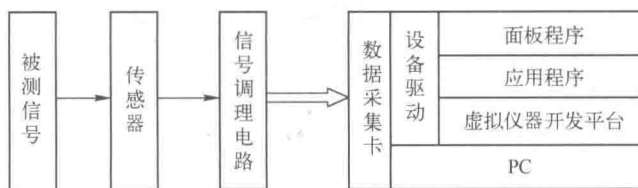


图 1.8 虚拟仪器系统的整体结构

1.3 虚拟仪器的特点

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,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。综合虚拟仪器的构成及工作原理,它具有如下技术特点。

(1) 突出“软件就是仪器”的概念

传统仪器的某些硬件在虚拟仪器中被软件代替,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) 丰富和增强了传统仪器的功能

融合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。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。

(3) 仪器由用户自己定义

虚拟仪器打破了传统仪器由厂家定义功能和控制面板,用户无法更改的模式。虚拟仪器通过为用户提供组建自己仪器的重要源代码库,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。仪器用户可根据自己不断变化的需求,自由发挥自己的想象力,方便灵活地组建测量系统,系统的扩展、升级可随时进行。

(4) 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。

(5) 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。

虚拟仪器与传统仪器的比较如表 1.1 所示。

表 1.1 虚拟仪器与传统仪器的比较

传统仪器	虚拟仪器
关键是硬件	关键是软件
厂商定义仪器功能	用户定义仪器功能
开发与维护费用高	软件的应用,使得开发与维护费用低
封闭、固定	开放、灵活,与计算机技术保持同步发展
技术更新周期长(5~10年)	技术更新周期短(1~2年)
功能单一,互连能力有限	与网络及其他周边设备互连方便
价格高	价格低,可复用,可重配置性强

1.4 虚拟仪器的应用

虚拟仪器作为新兴的仪器代表,由于具有绝对的技术优势,被广泛应用于电子、机械、通信、汽车制造、生物、医药、化工、科研、军事、教育等各个领域。从简单的仪器控制、数据采集到尖端的测试和工业自动化,从大学实验室到工厂企业,从探索研究到技术集成,都可以发现虚拟仪器技术的应用成果。

在测量仪器方面,示波器、逻辑分析仪、频谱仪、信号发生器、电压电流表,是科研机关、企业研发实验室、大专院校的必备测量仪器。随着计算机技术在测试系统的广泛应用,由于传统的仪器设备缺乏相应的计算机接口,因而,配合数据采集及数据处理十分困难。在完成某些测试任务时,可能需要许多仪器,如示波器、电压表、频率分析仪、信号发生器等,对复杂的数字电路系统还

需要逻辑分析仪、IC 测试仪等。这么多的仪器不仅价格昂贵、体积大、占用空间，而且相互连接也不方便。而虚拟仪器将计算机资源与仪器硬件、DSP 技术结合，在系统内共享软/硬件资源，既有传统仪器的功能，又有传统仪器所没有的特殊功能。它把厂家定义仪器功能的方式转变为由用户自己定义，用户可根据测试功能的需要，自己设计所需要的仪器系统，只要将具有一种或多种功能的通用模块相结合，并且调用不同功能的软件模块，就能组成不同的仪器功能。

在专用测量系统方面，虚拟仪器的应用空间更为广阔。随着信息技术的迅猛发展，各行各业无不转向智能化、自动化、集成化，无处不在的计算机应用为虚拟仪器的推广提供了良好的基础。虚拟仪器的概念就是用专用的软/硬件配合计算机实现专用设备的功能，并使其自动化、智能化，因此，虚拟仪器适合于一切需要计算机辅助进行数据存储、数据处理、数据传输的计量场合。

在自动控制和工业控制领域，虚拟仪器同样应用广泛。绝大部分闭环控制系统要求精确的采样、及时的数据处理和快速的数据传输。虚拟仪器恰恰符合上述特点，十分符合测控一体化的设计。尤其在制造业，虚拟仪器的卓越计算能力和巨大数据吞吐能力必将使其在温控系统、在线监测系统、电力仪表系统、流程控制系统等工控领域发挥更大的作用。

伴随着计算机技术的快速发展以及人们对仪器功能、灵活性的要求越来越高，虚拟仪器技术将会在更广泛的领域得到应用和普及。

1.5 虚拟仪器技术发展趋势

自从美国国家仪器公司(National Instruments, NI)于 1986 年提出虚拟仪器的概念至今，虚拟仪器的发展大约可分为 3 个阶段。

第一阶段：利用计算机增强仪器的功能。由于 GPIB 总线标准的确立，计算机和外界通信成为可能。只需要把传统仪器通过 GPIB 总线和 RS-232C 总线同计算机连接起来，用户就可以用计算机控制仪器了。

第二阶段：开放式的仪器结构。在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，二是 VXI 仪器总线标准的确立。这些新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：虚拟仪器框架得到广泛认同和采用。软件领域中的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经产生，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。

虚拟仪器技术的不断发展取决于 3 个重要因素：计算机的发展是动力，软件是主宰，高性能的 A/D 采集卡、调理放大器及传感器是关键。随着微电子技术、计算机软/硬件技术、通信技术和网络技术的飞速发展，虚拟仪器技术日新月异。

(1) 虚拟仪器网络化

将网络技术和虚拟仪器相结合，构成网络化虚拟仪器系统，是自动测试仪器系统的发展方向之一。网络化测试的最大特点就是可以实现资源共享，使现有资源得到充分利用，从而实现多系统、多专家的协同测试与诊断。网络化测试解决了已有总线在仪器台数上的限制，使一台仪器能被多个用户同时使用，不仅实现了测量信息的共享，而且实现了整个测控过程的高度自动化、智能化，同时减少了硬件的设置，有效降低了测控系统的成本。另外，由于网络不受地域限制，使网络化测试系统能够实现远程测试，这样测试人员可以不受时间和空间的限制，随时随地获取所需的信息。同时网络化测试系统还可以实现被测设备的远距离测试与诊断，从而提高了测试效率，减少了测试人员的工作量。正是由于网络化测试系统的这些优点，使得网络化测试技术备受关

注。近年来,世界著名仪器开发商安捷伦公司与 NI 公司联手致力于网络化测试软硬件的研发。国内一些实力较强的公司如中科泛华也在积极探索虚拟仪器网络设备的研究和设计。“网络就是仪器”的概念,确切地概括了仪器的网络化发展趋势。

(2) 虚拟仪器标准化

VI 的标准化主要是在硬件平台和软件模块的标准化。目前的虚拟仪器硬件平台,已经有了标准化和通用化趋势,如 VXI 联盟、PXI 规范、PCI 规范等自发性标准化组织和措施,另一些要求,如标准化触发方式,不同通道的公用时基,同步、延迟及执行参数是否连续可调或断续可调等,涉及信号及其质量和相互关系等方面,尚未形成标准化和通用化,这将影响其在不同平台上的互换性和移植性,也将影响虚拟仪器软件模块的标准化。1998 年 9 月成立的 IVI(Interchangeable Virtual Instrument)基金会努力从基本的互操作性到可互换性,为仪器驱动程序提升标准化水平。通过为仪器类制定一个统一的规范,使测试工程师获得更大的硬件独立性,使得用户在测试过程中不需要更改软件程序就可以替换设备,减少了软件维护和支持费用、缩短了仪器编程时间、提高了运行性能,具有极其重要的现实意义和非常广阔的应用前景。

(3) 不断吸收新技术给虚拟仪器带来生机

把各种最新的控制理论和方法应用到虚拟仪器的开发中来将是 VI 发展的又一个重要方向。软件工程领域的新方法新理论在虚拟仪器设计中得到广泛应用,面向对象技术、ActiveX 技术、组件技术等被广泛用来进行虚拟仪器的测试分析软件和虚拟界面软件设计,出现了许多数据处理高级分析软件和大量的仪器面板控件,这些软件为快速组建虚拟仪器提供了良好的条件。“能够在测试、控制和设计领域最优化地使用最新现成即用的商业技术,这一直是推动虚拟仪器技术进步的重要动力之一”,NI 总裁、创始者兼 CEO Dr. James Truchard 概括了虚拟仪器未来发展的总趋势。总之,不断吸收新技术的 VI 将会适应更多的应用领域,将会为实际的测控带来更大的便利和效率。

本章小结

本章介绍了虚拟仪器的相关概念。主要包括虚拟仪器的定义和组成、虚拟仪器的特点、虚拟仪器的应用、虚拟仪器技术的现状和发展趋势。为了让读者对虚拟仪器的硬件构成有一个基本的认识,本章介绍了 5 种较为常用的虚拟仪器系统的组成结构。

虚拟仪器的崛起是测试仪器技术的一次革命,是仪器领域一个新的里程碑,它使现代测控系统更灵活、更紧凑、更经济、功能更强。无论测量、测试、计量或工业过程控制和分析处理,还是涉及其他更为广泛的测控领域,选用虚拟仪器都是理想的解决方案。因此,了解虚拟仪器的概念将有助于进一步学习和掌握虚拟仪器技术。

思考题和习题 1

1. 什么是虚拟仪器? 虚拟仪器有什么特点?
2. 简述虚拟仪器的结构和组成方式。
3. 软件在虚拟仪器中有什么作用?
4. 仪器驱动程序在虚拟仪器中有何作用?
5. 虚拟仪器的发展经历了哪几个阶段?
6. 简述虚拟仪器的发展趋势。

第 2 章 虚拟仪器总线接口技术

总线技术在虚拟仪器技术的发展过程中起着十分重要的作用。作为连接控制器和程控仪器的纽带,总线的能力直接影响着系统的总体性能。总线技术的不断升级换代推动着自动测试与仪器技术水平的提高。本章将主要介绍目前用于虚拟仪器的几种专用总线,具体包括:GPIB 总线、VXI 总线、PXI 总线、LXI 总线。

2.1 GPIB 总线

GPIB 总线是专门为仪器的控制应用而设计的。这套接口系统最初由美国 HP 公司在 1972 年提出,1975 年被美国电气与电子工程师协会(IEEE)和国际电工委员会(IEC)接受为程控仪器和自动测试系统的标准接口,因此也称为 IEEE488 接口或 IEC625 接口,目前的协议是 IEEE 488.2。使用 GPIB 接口可将不同厂家生产的各种型号的仪器,用一条无源标准总线方便地连接起来,在计算机的控制下完成各种复杂的测量。

2.1.1 GPIB 的基本特性

GPIB 作为一个标准的接口总线,它具体规定了接口在机械、电气和功能三方面的有关要求和标准,具有灵活、方便、兼容性好的特点,GPIB 的基本特性如下。

(1) 设备容量

设备容量是指 GPIB 接口系统中仪器和计算机的总容量,通常可连接的仪器数目最多为 15 台。这是由接口电路负载能力的限制所决定的。若采用一些特殊措施(例如,提高仪器总线发送器的驱动能力)也可连接更多的仪器。

(2) 传输距离

互连电缆的传输路径总长不超过 20m,或者装置数目与装置之间距离的乘积不超过 20m。通常每根电缆长度为 4m、2m、1m 或 0.5m,在满足系统要求的前提下,运用短电缆对提高数据传送速度有利。

在某些应用中,计算机与现场运行的仪器之间的距离可能超出这个规定,这时就必须采取扩展措施。为此,HP 公司研制了适用于双绞电缆、同轴电缆或光纤的距离扩展器,利用这些扩展器,传输距离可达到 1000m 以上。

(3) 数据传输速度

数据传送的速度与所用电缆的长度和接口的发送器有关。在标准电缆上,数据传输速度一般为 250~500KBps。若采用三态门发送器,最高可达 1MBps。

(4) 地址容量

地址即接口系统中计算机或仪器设备的代号,常用数字、符号或字母表示。GPIB 标准规定采用 5 个比特位的编码来表示地址,地址容量为 31 个(其中编码 11111 不作为地址代码)。

地址容量(31)大于器件容量(15)是合理的。一个器件至少能占用一个地址,个别器件还可能占用两个以上的地址。不仅如此,若采用两字节编地址,前一个字节为主地址,后一个字节为副地址,一个主地址之后允许跟随 31 个副地址。因此,用两字节来表示器件的地址,可使地址容

量扩大到 $31 \times 31 = 961$ 个。

(5) 信息逻辑

总线上信息逻辑采用负逻辑,规定:低电平($\leq +0.8\text{V}$)为逻辑“1”;高电平($\geq +2.0\text{V}$)为逻辑“0”。高低电平的规定与标准 TTL 电平相容。

(6) 数传方式

GPIB 接口系统中,数据传输方式可以为:字节串行、位并行、双向异步传输。

字节串行是指不同的字节需按一定的顺序一个接一个地放在数据线上依次串行传递。位并行是指组成一个数字或符号代码的 8 位同时放在 8 条数据线上并行传递。双向是指输入数据和输出数据都经由同一组数据线传递,异步是指系统中不采用统一的时钟同步控制数据传递,而是由发送数据与接收数据的仪器之间相互直接“挂钩”来控制数据传递。

(7) 控制方式

在 GPIB 接口系统中,一般情况下只有一个控制器发送各种控制信号,进行数据处理。若一个系统中包含多个控制器,则在某一时间内只能有一个控制器起作用,其余则必须处于空闲状态。

2.1.2 GPIB 器件及接口功能

1. GPIB 器件

采用 GPIB 总线互连的仪器、设备是多种多样的,它们有的很复杂,像计算机、网络分析仪等,有的很简单,如开关器、衰减器等。但从系统组建的角度出发,它们都是系统中的一个逻辑单元,仅是测试功能不同而已。为了简单和统一起见,把这些复杂程度和功能能力不同的、执行 IEEE 488.2 协议的各种设备统称为“GPIB 器件”。简单地说,凡配备了 GPIB 接口的独立装置统称为器件。

在 GPIB 系统中,不同的器件承担着不同的任务,行使不同的功能。按器件在系统中运行功能的不同可分为 3 类。

(1) 控者器件

控者器件是系统的指挥者,能够发布命令,对接口系统进行管理,具有控制整个系统协调工作的能力,如专用控制器、计算机等。

(2) 讲者器件

讲者器件是通过接口发送各种数据和信息的设备,如数据采集器、智能仪器仪表等。一个系统中可以有一个或几个讲者器件,但在任一时刻只能有一个讲者器件工作。

(3) 听者器件

凡是能接收控者器件发出的命令或者接收讲者器件发出的测量数据的器件统称为听者器件,如打印机、绘图仪等。一个系统中可以有几个听者器件,且可以有一个以上的听者器件同时工作。

在 GPIB 系统中,器件的职能是由系统中的控制器来任命的。器件能否实施规定的职能,决定于其 GPIB 接口电路中是否配备了相应的功能电路,控者器件通过发送一系列接口命令和管理消息来控制整个系统的工作。例如,任命器件为讲者和听者,安排它们之间的数据交换,接收它们的服务请求等。

每个设备(包括计算机接口卡)都必须有一个地址,以便系统控者通过寻址方法指令哪些器件为讲者器件,哪些器件为听者器件。

2. GPIB 接口功能

测量仪器和设备种类繁多,功能各异,要把它们用接口总线连接起来,组成仪器系统并按统