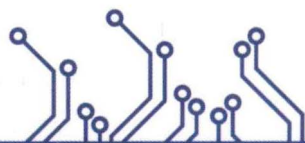




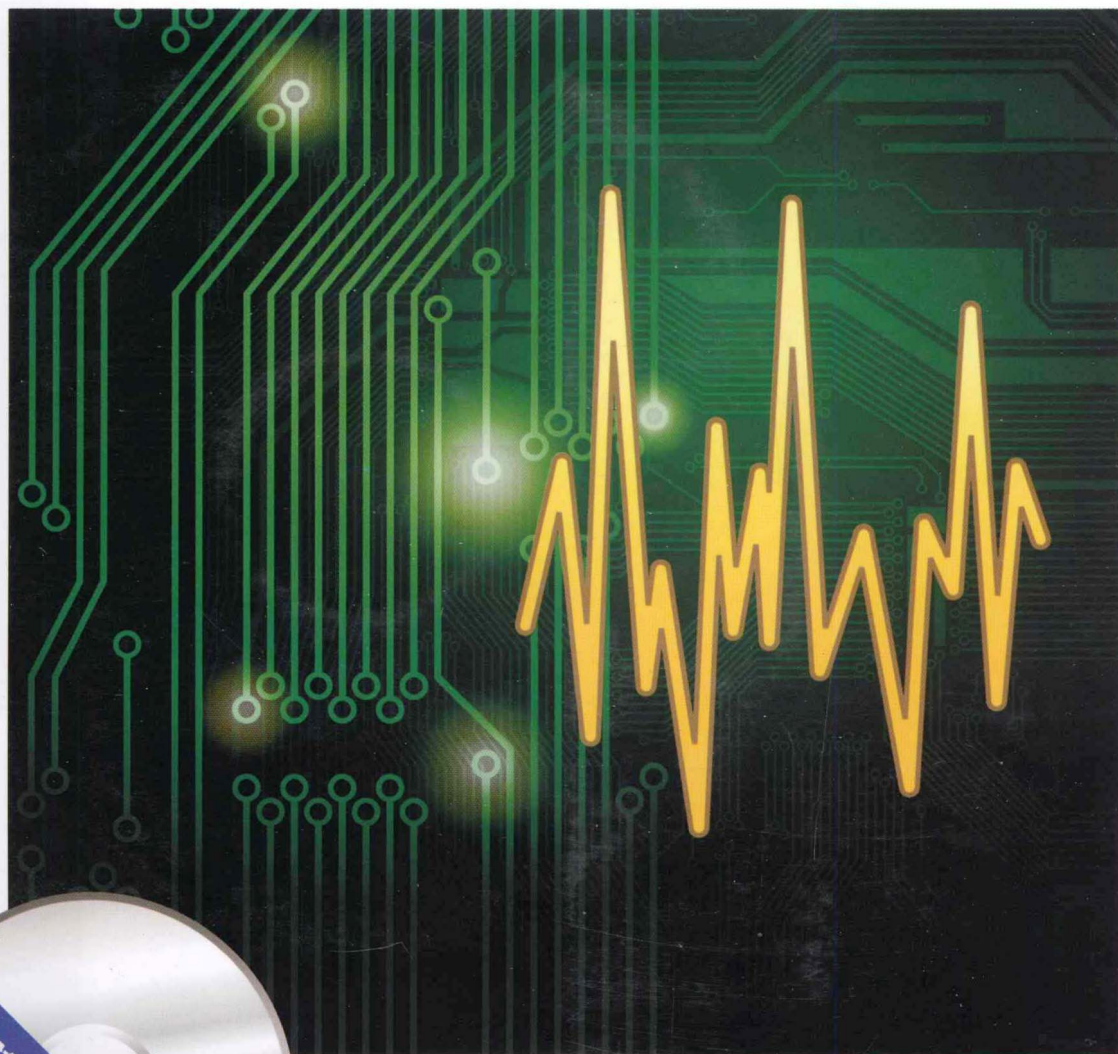
周鹏 许钢 马晓瑜 汪石农 张明艳 编著



精通

LabVIEW

信号处理



清华大学出版社



随书光盘
光盘包含书中所有实
例源代码



精通LabVIEW 信号处理

周鹏 许钢 马晓瑜 汪石农 张明艳 编著



清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

LabVIEW 是美国国家仪器 (National Instruments Corp., 简称 NI 公司) 推出的一种基于图形化编程语言方式的创新软件产品, 是一个目前应用最广泛、发展最快、功能最强的集成化虚拟仪器开发环境。它广泛用于电子信息技术、测试测量、控制理论、振动分析和跨平台设计等应用领域。

本书以 LabVIEW 2011 版本为对象, 通过理论与实例结合的方式, 深入浅出地讲述 LabVIEW 的编程实现及 LabVIEW 在信号处理中的应用。本书共 9 章。第 1 章与第 2 章主要讲述 LabVIEW 的基础知识; 第 3 章主要讲述基于 LabVIEW 数学分析的实现过程; 第 4 章至第 8 章着重讲解 LabVIEW 在数字信号处理、数字滤波器、数字图像处理及小波变换等信号处理领域的应用, 同时对 LabVIEW 与其他应用软件的接口技术也作了较为详细的讲述; 第 9 章主要以实例分析的方式进一步说明如何使用 LabVIEW 软件设计简易的虚拟仪器系统。随书附带 1 张光盘, 内容为与本书完全配套的实例源文件。

本书重在强调理论与实例的结合, 可作为高等院校虚拟仪器及相关课程的教材或教学参考书, 也可作为学习 LabVIEW 的入门及应用教材, 供从事信号分析与处理、仿真与测试、通信、电子信息类等工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目 (CIP) 数据

精通 LabVIEW 信号处理/周鹏等编著. —北京: 清华大学出版社, 2013. 7

(LabVIEW 研究院)

ISBN 978-7-302-32337-2

I. ①精… II. ①周… III. ①软件工具—程序设计—应用—信号处理 IV. ①TN911.7-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 092461 号

责任编辑: 袁金敏

封面设计: 陈晓兵

责任校对: 徐俊伟

责任印制: 何 芊

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京密云胶印厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 18.25

字 数: 445 千字

版 次: 2013 年 7 月第 1 版

印 次: 2013 年 7 月第 1 次印刷

附光盘 1 张

印 数: 1~3000

定 价: 45.00 元

产品编号: 049444-01

前 言

LabVIEW 是实验室虚拟仪器工程平台 (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 的简称, 是美国国家仪器 (National Instruments Corp., 简称 NI 公司) 推出的一种基于图形化编程语言方式的创新软件产品, 是一个目前应用最广泛、发展最快、功能最强的集成化虚拟仪器开发环境。LabVIEW 的特点在于它使用图形化编程语言在程序框图中创建源程序, 即用程序框图代替了传统的程序代码, 运行方便, 编程简单易懂。LabVIEW 具有模块化特性, 有利于程序的可重用性。LabVIEW 将软件的界面设计与功能设计独立开来, 修改人机界面无需对整个程序进行调整, LabVIEW 是利用数据流框图接收指令, 使程序简单明了, 充分发挥了 G 语言的优点, 这就大大缩短了虚拟仪器的开发周期、消除了虚拟仪器编程的复杂过程。而通用的编程软件需利用组件技术实现软面板的设计, 这使程序设计变得非常麻烦。自 1986 年 LabVIEW 诞生至今, 目前已广泛用于电子信息技术、测试测量、控制理论、振动分析、跨平台设计等应用领域。

本书主要讲述 LabVIEW 在电子信息技术尤其是在信号处理方面的应用。LabVIEW 除了可以使用户独立地完成电子信息类诸如模拟电路、数字电路等专业基础课和专业课的计算和实验学习外, 还可以与信号与系统、通信原理、数字信号处理、数字图像处理等课程很好地结合, 甚至完成电子信息类、测控类专业的综合大实验或毕业设计等任务, 加深对抽象专业知识的直观理解, 培养分析问题和解决问题的能力。

本书主要内容

本书以 LabVIEW 2011 版本为对象, 通过理论与实例结合的方式, 深入浅出地讲述 LabVIEW 的编程实现及 LabVIEW 在信号处理中的应用。本书共分 9 章, 各章的主要内容如下。

第 1 章, 主要介绍虚拟仪器的产生、概念、构成及特点, 对 LabVIEW 软件的 G 语言开发环境进行详细阐述, 并简述 LabVIEW 程序的组成。

第 2 章, 详细阐述 LabVIEW 的编程实现过程。内容包括 LabVIEW 的基本数据类型及其操作、LabVIEW 中的编程结构, 同时在 LabVIEW 编程中局部变量、全局变量和属性节点的使用也作相关介绍。最后, 本章在对于程序的调试技巧方面进行介绍, 还对 LabVIEW 中项目浏览窗口的使用和可执行文件的生成及图形显示进行讲述。

第 3 章, 主要讲述 LabVIEW 集成的常用的数学分析 VI 函数的使用方法以及相应的应用实例实现。LabVIEW 本身所具有的强大数学分析能力可以有效地完成对数据的各种分析和处理, 同时也是数字信号处理节点的有益支持, 因此, 用户熟练掌握这些数学分析函数节点可以在编程实现中达到事半功倍的效果。

第 4 章~第 8 章, 是本书重点, 着重讲解 LabVIEW 在数字信号处理、数字滤波器的设计实现、数字图像处理及小波变换等信号处理领域的应用, 同时对 LabVIEW 与其他应用软件的接口技术也作了较为详细的讲述。

第9章，主要以实例分析方式进一步说明如何使用 LabVIEW 软件设计简易的虚拟仪器系统。

本书特点

近几年，随着 LabVIEW 在中国的普及，市场上也出现了很多 LabVIEW 相关的书籍，但很少有关于 LabVIEW 与信号处理结合比较全面的书籍，本书命名为《精通 LabVIEW 信号处理》，是指本书不同于以往的虚拟仪器教程，一般普通的书籍只注重虚拟仪器图形化编程软件 LabVIEW 的操作技能，本书在讲解 LabVIEW 软件基本编程的同时，重点而较全面地讲解 LabVIEW 软件在信号处理中的应用，包括时频分析、滤波器设计、图像处理及小波变换等知识，把 LabVIEW 与大学课程信号处理和图像处理结合起来重点讲解其应用。用户学习完后，会真正掌握 LabVIEW 在信号处理中的广泛应用和实例分析，能够更加清晰地理解并掌握信号处理中的相关知识。

(1) 舍弃了太过繁琐的入门理论知识讲解，在操作中穿插了大量的实例分析。

(2) 大多数的用户都会有这样的感觉，LabVIEW 入门简单，基本操作也比较容易，但要将这些基本的软件知识综合应用到具体实例中，往往有些不知所措。本书为了解决这个问题，在知识讲解过程中，将 LabVIEW 软件与大学本科课程数字信号处理和图像处理等内容相结合，详细讲解理论在 LabVIEW 软件中的实现，不断引用一些具有代表性的实例，着重对实例运用的操作进行分析。

(3) 在 LabVIEW 2011 提供的帮助文档中，内容繁多，用户读起来颇费时间和精力，在本书中针对信号处理中的知识，精选其中内容重点讲述。

LabVIEW 版本

本书中所讲述的概念及编程实现是在以 LabVIEW 2011 版本为对象下完成的，这是在本书写作时 LabVIEW 的最新版本，也将是今后一段时间内使用较为广泛的 LabVIEW 版本。由于 LabVIEW 2011 完全向下兼容，因此即使用户使用的是较早版本的 LabVIEW，本书中所讲述的都是基于 LabVIEW 实现的最典型实例，书中绝大部分内容同样适用。

最近几年每到 10 月份前后，NI 公司都会发布最新版本的 LabVIEW 软件，在本书正式出版时，可能又会有新的 LabVIEW 版本发布了，相信它定会给用户带来全新的体验与惊喜。

光盘说明

随书附带 1 张光盘，内容为与本书内容完全配套的实例源文件。每章实例用一个独立的文件夹存放，每个实例都用非常清晰且易于明了的名字命名，如“... \ 第 2 章 \ 例 2.2.4 连接字符串函数”即表示为第 2 章中第 2 节的第 4 个实例设计，用于“连接字符串函数”的实例设计实现。

由于 LabVIEW 版本的兼容性问题，本书的实例是在 LabVIEW 2011 版本下设计实现的，因此，用户要打开验证光盘中的实例，计算机上必须装有合法的 LabVIEW 2011 或更高版本。

作者致谢

本书由安徽工程大学周鹏主编。第 1 章由周鹏、许钢、汪石农编写，第 4 章由马晓瑜、周鹏编写，第 6 章由张明艳编写，其余章节均由周鹏编写，全书由周鹏统稿。许钢与汪石农老师对本书部分内容进行了校对。在此对所有参与编写的人员表示感谢！

本书在编写的过程中得到了 NI 公司以及倪斌、潘天厚、贾佳、黄煜洲等诸多 NI 工程师的鼎力帮助；另外我的学生赵捷、陈亮、林园胜、罗功宇等同学为本书的编写提出了宝贵的建议。在此对他们表示衷心的感谢！感谢我的父母，感谢我的爱人汪俊和儿子周梓涵，他们给予我巨大的鼓励与支持！

最后感谢您选择本书，希望我们的努力能对您的工作和学习有所帮助。同时由于笔者水平有限，在编写此书时难免会有疏忽，敬请读者批评指正，不吝赐教，以便我们更加努力地改进。本书课件和部分课后习题参考答案可免费索取，E-mail:zhpytu@163.com。

周 鹏

2013 年 3 月于安徽工程大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 G 语言与虚拟仪器概述	1
1.1.1 G 语言的概念	1
1.1.2 虚拟仪器的概念及构成分类	1
1.1.3 虚拟仪器的国内外研究现状	5
1.2 LabVIEW 概述及程序组成	6
1.2.1 LabVIEW 概述	6
1.2.2 LabVIEW 的程序组成	7
习题	8
第 2 章 LabVIEW 编程实现	9
2.1 基本概念	9
2.1.1 前面板	10
2.1.2 程序框图	12
2.1.3 子 VI 与子程序	15
2.1.4 图标/连接端口	15
2.1.5 工具选板	16
2.1.6 控件选板	17
2.1.7 函数选板	19
2.1.8 Express VI	22
2.2 数据类型与操作	25
2.2.1 数值型	25
2.2.2 布尔型	28
2.2.3 字符串与路径	32
2.3 数据结构	37
2.3.1 数组	38
2.3.2 簇	41
2.3.3 矩阵	45
2.3.4 波形数据	47
2.4 程序结构	49
2.4.1 循环结构	50
2.4.2 顺序结构	56
2.4.3 条件结构	59

2.4.4	事件结构	61
2.4.5	公式节点与脚本	62
2.4.6	局部变量、全局变量与属性节点	65
2.5	程序调试、项目浏览器与可执行文件的生成	71
2.5.1	程序调试	71
2.5.2	项目浏览器	72
2.5.3	可执行文件的生成	74
2.6	图形显示	76
2.6.1	波形图表	77
2.6.2	波形图	79
2.6.3	XY 图	82
2.6.4	强度图和图表	84
2.6.5	数字波形图	86
2.6.6	混合信号图	88
2.6.7	二维图形	90
2.6.8	三维图形	90
习题		94

第 3 章 基于 LabVIEW 的数学分析 96

3.1	图形化编程与数学分析	96
3.2	初等与特殊函数	97
3.3	函数计算、微积分与微分方程	98
3.3.1	函数计算	98
3.3.2	微积分	99
3.3.3	微分方程	101
3.4	线性代数	102
3.5	概率与统计	104
3.5.1	基本概念	105
3.5.2	常用的随机变量的数字特征	105
3.5.3	LabVIEW 中概率与统计函数 VI	107
3.6	拟合与插值	109
3.6.1	拟合	109
3.6.2	插值	115
3.7	最优化与零点求解	116
3.7.1	最优化	116
3.7.2	零点求解	118
3.8	MathScript 节点	119
3.8.1	MathScript 节点概述	119
3.8.2	LabVIEW 中 MathScript 节点使用	120

习题	126
第 4 章 基于 LabVIEW 的信号发生、分析与处理	128
4.1 信号的发生	128
4.1.1 基本函数发生器	129
4.1.2 基本多频信号发生器	130
4.1.3 白噪声信号发生器	131
4.1.4 高斯白噪声信号发生器	132
4.1.5 周期随机噪声信号发生器	132
4.2 信号的时域分析与处理	133
4.2.1 基本平均直流-均方根	134
4.2.2 平均直流-均方根	135
4.2.3 周期平均值和均方根	136
4.2.4 瞬态特性测量	137
4.2.5 脉冲测量	138
4.2.6 幅值和电平测量	138
4.2.7 提取单频信息	140
4.2.8 提取混合单频信息	141
4.2.9 卷积积分	141
4.2.10 相关分析	142
4.2.11 谐波失真分析	144
4.3 信号的频域分析与处理	146
4.3.1 傅里叶变换	147
4.3.2 Hilbert 变换	148
4.3.3 功率谱分析	149
4.3.4 联合时频分析	150
4.3.5 窗函数	151
4.3.6 LabVIEW 中其他频域分析处理 VI	152
4.4 波形测量与信号调理	152
4.4.1 波形测量	152
4.4.2 信号调理	154
4.5 波形监测与逐点信号分析	155
4.5.1 波形监测	155
4.5.2 逐点信号分析	156
习题	157
第 5 章 基于 LabVIEW 的滤波器设计	158
5.1 数字滤波器概述	158
5.1.1 数字滤波器的基本概念	158

5.1.2	数字滤波器的分类	159
5.1.3	实际（非理想）数字滤波器的类型	160
5.1.4	实际（非理想）数字滤波器的基本参数设置	166
5.1.5	数字滤波器的选择	166
5.2	LabVIEW 中的数字滤波器	167
5.2.1	Express VI 的滤波器 VI	167
5.2.2	波形调理 VI 的滤波器 VI	171
5.2.3	函数选板的滤波器 VI	175
5.3	FIR 滤波器设计	179
5.4	巴特沃斯滤波器	184
5.5	切比雪夫滤波器	186
5.6	反切比雪夫滤波器	188
5.7	椭圆滤波器	189
5.8	贝塞尔滤波器	191
5.9	中值滤波器	193
5.10	自适应滤波器	195
5.10.1	自适应滤波器概述	195
5.10.2	自适应滤波器结构原理及算法	196
5.10.3	基于 LabVIEW 的自适应滤波器的设计实现	199
习题		202
第 6 章	基于 LabVIEW 的数字图像处理实现	204
6.1	图像处理概述	204
6.2	IMAQ 模块	205
6.2.1	Vision 控件选板	205
6.2.2	视觉与运动函数选板	206
6.3	Vision Assistant 2011	208
6.4	图像读取与保存	209
6.4.1	图像文件格式简介	209
6.4.2	读取图像	209
6.4.3	保存图像	210
6.5	基于 LabVIEW 的图像增强设计实现	212
6.5.1	灰度变换	212
6.5.2	中值滤波	213
6.5.3	锐化滤波	214
习题		215
第 7 章	与其他应用程序的接口	216
7.1	LabVIEW 的 ActiveX 编程	216

7.1.1	ActiveX 概述	216
7.1.2	ActiveX 控件容器	218
7.1.3	ActiveX 函数	219
7.1.4	LabVIEW 作为 ActiveX 客户端	223
7.1.5	LabVIEW 作为 ActiveX 服务器	227
7.1.6	ActiveX 事件	232
7.2	与 MATLAB 语言接口技术	232
7.2.1	MATLAB 概述	233
7.2.2	MATLAB 脚本节点在 LabVIEW 中的调用	233
7.2.3	使用 ActiveX 函数与 MATLAB 接口	239
7.2.4	两种调用 MATLAB 方法的比较	243
7.3	LabVIEW 对 Windows 库函数的调用	244
7.3.1	动态链接库 (DLL) 与 API 概述	244
7.3.2	CIN 节点与 CLF 节点	246
7.3.3	调用 Windows API 函数	247
7.4	LabVIEW 对可执行系统文件的调用	250
7.5	LabVIEW 对 DDE 函数的调用	251
	习题	251

第 8 章 基于 LabVIEW 的小波变换实现 252

8.1	小波变换的基本理论	252
8.1.1	小波变换概述	252
8.1.2	从傅里叶变换到小波变换	252
8.1.3	常用的小波函数	255
8.2	在 LabVIEW 中实现小波变换	257
8.3	基于 LabVIEW 与 MATLAB 的小波去噪算法实现	258
8.3.1	小波去噪方法概述	258
8.3.2	小波去噪算法的 LabVIEW 实现	259
	习题	263

第 9 章 基于 LabVIEW 设计简易的虚拟仪器系统 264

9.1	基于 LabVIEW 的简易虚拟示波器设计	264
9.2	基于 LabVIEW 的多功能信号发生器设计	267
9.3	基于 LabVIEW 的虚拟滤波器设计	270
9.3.1	基于 LabVIEW 的常见滤波器设计	273
9.3.2	基于 LabVIEW 的巴特沃斯滤波器设计	273
	习题	274

参考文献 277

第 1 章 绪 论

LabVIEW 是美国国家仪器 (National Instruments Corp., 以下简称 NI 公司) 推出的一种基于“图形”方式的集成化程序开发环境。在以 PC 为基础的测量和信号处理中, LabVIEW 具有很强的优势。

本章主要介绍虚拟仪器的产生、概念、构成及特点, 对 LabVIEW 软件的 G 语言开发环境进行详细阐述, 并简述 LabVIEW 程序的组成。

1.1 G 语言与虚拟仪器概述

1.1.1 G 语言的概念

G 语言是图形化编程语言 (Graphical Programming Language) 的缩写, 是一种适合应用于任何编程任务、具有扩展函数库的通用编程环境语言。和 BASIC 及 C 语言一样, G 语言也定义了数据类型、结构类型和模块调用语法规则等编程语言的基本要素, 同时 G 语言丰富的扩展函数库还为用户编程提供极大的方便。

G 语言与传统高级编程语言最大的差别在于一般高级语言采用文本编程, 而 G 语言采用图形化编程语言。G 语言是 LabVIEW 的核心, 熟练掌握 G 语言的编程要素和语法规则, 是开发 LabVIEW 应用程序最重要的基础。G 语言采用图形化编程方式 (即各种图表、节点、程序框图、连线等), 界面形象直观。

1.1.2 虚拟仪器的概念及构成分类

自从 1785 年库仑发明静电扭秤、1834 年哈里斯提出静电电表结构以来, 电子仪器随着相关技术的进步、仪器元器件质量的提高和测量理论方法的改进得到飞速发展。从十九世纪初到二十世纪末, 仪器的发展经历了模拟仪器、电子仪器、数字仪器、智能仪器等阶段, 发展到现在的虚拟仪器。

模拟仪器主要指针式万用表、晶体管电压表及模拟示波器等, 这类仪器的基本结构是电磁机械式的, 利用电磁测量原理, 借助指针的移动或电子束的偏移来显示最终结果。特点是结构简单, 成本较低, 易于维护, 适用于对精度要求不高的场合。

从 20 世纪初到 20 世纪 50 年代, 仪器的材料性能得到改善, 出现了电子管。同时, 测量理论和方法与电子技术、控制技术相结合, 出现了以记录仪和示波器为代表的电子仪器。

20 世纪 50 年代以后, 随着晶体管和集成电路的出现及应用电子技术的发展, 数字技术已经成功地应用到测量仪器中。数字仪器目前相当普及, 如数字电压表、数字频率计等, 这类仪器将模拟信号的测量转化为数字信号的测量, 并以数字方式输出最终结果, 适用于快速响应和较高准确度的测量。

20 世纪 70 年代初, 第一片微处理器问世, 智能仪器内置微处理器, 既能进行自动测试, 又具有一定的数据处理功能, 可取代部分脑力劳动, 智能仪器以微电子器件代替常规电子线路, 具有信息采集、显示、处理、传输及优化控制等功能, 甚至具有辅助专家进行推断分析与决策的能力。它的功能块全部都是以硬件 (或固化的软件) 的形式存在, 无论是开发还是应用, 都缺乏灵活性。

20 世纪 90 年代以后虚拟仪器进入了人们的视野, 这类仪器充分利用最新的计算机技术实现和扩展传统仪器的功能。它利用现有的计算机, 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。因此, 这种以计算机软件为核心, 辅以相应的硬件设备的测试系统代表了未来测试仪器的发展方向。

微电子技术、计算机技术、软件技术、网络技术的高度发展及其在电子测量技术与仪器上的应用, 新的测试理论、新的测试方法、新的测试领域及新的仪器结构不断出现, 在许多方面已经突破传统仪器的概念, 电子测量仪器的功能和作用已经发生了质的变化。在这种背景下, 20 世纪 80 年代末美国率先研制成功虚拟仪器 (Virtual Instrument, 简称 VI)。虚拟仪器技术是当今计算机辅助测试领域的一项重要技术, 它推动着传统仪器朝着数字化、智能化、模块化、网络化的方向发展。虚拟仪器, 它是现代计算机技术、通信技术和测量技术相结合的产物, 是传统仪器观念的一次巨大变革, 是未来仪器产业发展的一个重要方向。

虚拟仪器的概念, 是 NI 公司于 1986 年提出的, 同时也提出了“软件即仪器”的概念, 打破了传统仪器只能由厂家定义, 用户无法改变的局面。随着现代软件和硬件技术的飞速发展, 仪器的智能化和虚拟化已经成为研究的方向。虚拟仪器既具有传统仪器的功能, 又有别于其他传统仪器, 它能够充分利用和发挥现有计算机的先进技术, 使仪器的测试和测量及自动化工业系统的测试和监控变得异常方便和快捷。

虚拟仪器是指通过应用程序将计算机、软件的功能模块和仪器硬件结合起来, 用户可以通过友好的图形界面 (通常叫做虚拟前面板, 简称前面板) 来操作这台计算机就像在操作自己定义、自己设计的一台个人仪器一样, 从而完成对被测信号的采集、分析、判断、显示、数据存储等。虚拟仪器通过软件对数据的分析处理、表达及图形化用户接口, 把计算机资源 (如微处理器、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) 的测量能力、控制能力结合在一起。虚拟仪器突破了传统仪器以硬件为主体的模式, 而使用者是在操作具有测试软件的电子计算机进行测量。

虚拟仪器技术的实质是充分利用最新的计算机技术来实现和扩展传统仪器的功能。软件是虚拟仪器的关键, 当基本硬件确定以后, 就可以通过不同的软件实现不同的功能。用户可以根据自己的需要设计自己的仪器系统来满足多种多样的应用要求。利用计算机丰富的软、硬件资源, 可以大大突破传统仪器在数据的分析、处理、表达、传递、储存等方面的限制, 达到传统仪器无法比拟的效果。

虚拟仪器从构成要素上讲, 由计算机、应用软件和仪器硬件等构成; 从构成方式上讲, 则由以 DAQ 板和信号调理为仪器硬件而组成的 PC-DAQ 测试系统, 或以 GPIB、VXI、Serial 和 Field Bus 等标准总线仪器为硬件组成的 GPIB 系统、VXI 系统、串口系统和现场总线系统等多种形式。虚拟仪器的构成如图 1-1 所示。

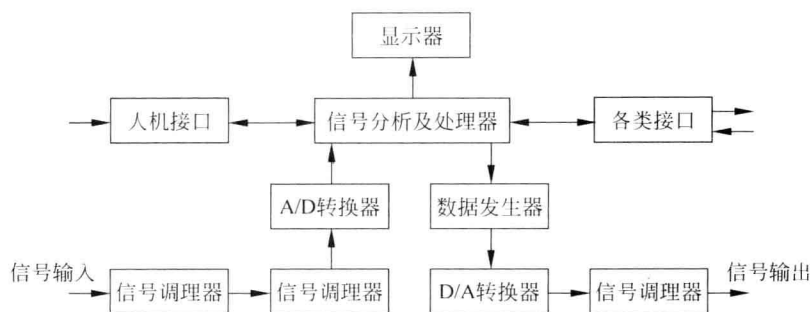


图 1-1 虚拟仪器的结构

目前，虚拟仪器的构成方式有以下几种。

(1) PC-DAQ 插卡式的 VI

这种方式用数据采集卡配以计算机平台和虚拟仪器软件，便可构成各种数据采集和虚拟仪器系统。它充分利用了计算机的总线、机箱、电源及软件的便利，其关键在于 A/D 转换技术。这种方式受 PC 机机箱、总线限制，存在电源功率不足，机箱内噪声电平较高、无屏蔽，插槽数目不多、尺寸较小等缺点。但因插卡式仪器价格便宜，因此其用途广泛，特别适合于工业测控现场、各种实验室和教学部门使用。

(2) 并行口式的 VI

最新发展的可连接到计算机并行口的测试装置，其硬件集成在一个采集盒里或探头上，软件装在计算机上，可以完成各种 VI 功能。它的最大好处是可以与笔记本计算机相连，方便野外作业，又可与台式 PC 相连，实现台式和便携式两用，非常方便。

(3) GPIB 总线方式的 VI

GPIB (General Purpose Interface Bus) 技术是 IEEE 488 标准的 VI 早期的发展阶段。它的出现使电子测量由独立的单台手工操作向大规模自动测试系统发展。典型的 GPIB 系统由一台 PC 机，一块 GPIB 接口卡和若干台 GPIB 仪器通过 GPIB 电缆连接而成。在标准情况下，一块 GPIB 接口卡可带多达 14 台的仪器，电缆长度可达 20m。GPIB 测试系统的结构和命令简单，造价较低，主要市场在台式仪器市场。适用于精确度要求高，但对计算机速率要求和总线控制实时性要求不高的场合应用。

(4) VXI 总线方式的 VI

VXI 总线是 VMEbus eXtension for Instrumentation 的缩写，是高速计算机总线 VME 在 VI 领域的扩展，有稳定的电源，强有力的冷却能力和严格的 RFI/EMI 屏蔽。由于它的标准开放，且具有结构紧凑、数据吞吐能力强、定时和同步精确、模块可重复利用、众多仪器厂家支持的优点，得到了广泛的应用。经过多年的发展，VXI 系统的组建和使用越来越方便，有其他仪器无法比拟的优势，适用于组建大、中规模自动测量系统及对速度、精度要求高的场合，但 VXI 总线要求有专用机箱、零槽管理器及嵌入式控制器，造价比较高。

(5) PXI 总线方式的 VI

PXI 总线是 PCI eXtension for Instrumentation 的缩写，是 PCI 在 VI 领域的扩展，这种新型模块化仪器系统是在 PCI 总线内核技术上增加了成熟的技术规范和要求形成的，具有多板同步触发、精确定时的星形触发、相邻模块间高速通讯的局部总线及高度的可扩展性等优点，适用于大型高精度集成系统。

(6) 网络接口方式的 VI

尽管 Internet 技术最初并没有考虑如何将嵌入式智能仪器设备连接在一起，不过 NI 等公司已经开发了通过 Web 浏览器观测这些嵌入式仪器设备的产品，使人们可以通过 Internet 操作仪器设备。根据虚拟仪器的特性，能够方便地将虚拟仪器组成计算机网络，利用网络技术将分散在不同地理位置不同功能的设备联系在一起，使昂贵的硬件设备、软件在网络上得以共享，减少了设备重复投资。现在，有关 MCN（Measurement and Control Networks）方面的标准正在积极进行，并取得了一定进展。由此可见，网络化虚拟仪器将具有广泛的应用前景。

(7) USB 接口方式的 VI

Universal Serial Bus（USB）因为其在 PC 上的广泛使用、即插即用的易用性和 USB 2.0 高达 480Mbps/s 的传输速率，逐渐成为仪器控制的主流总线技术。USB 接口被广泛应用，也使得工程师可以很方便地将基于 USB 的测量仪器连接到整个系统中。但是 USB 在仪器控制方面亦有一些缺点，如 USB 的传输线没有工业标准的规格，在恶劣的环境下，可能造成数据的丢失；此外，USB 对传输线的距离也有一定的限制。

无论哪种 VI 系统，都是将仪器硬件搭载到笔记本电脑、台式机或工作站等各种计算机平台加上应用软件而构成的。

与传统仪器相比，虚拟仪器的特点在于以下几点。

(1) 打破了传统仪器的“万能”功能概念，将信号的分析、显示、存储、打印和其他管理集中交由计算机来处理，充分利用计算机技术，完善了数据的传输、交换等性能，使得组建系统变得更加灵活、简单。

(2) 强调“软件就是仪器”的新概念，软件在仪器中充当了以往由硬件甚至整机实现的角色，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，使系统的测量精度、测量速度和可重复性都大大提高。

(3) 仪器由用户自己定义，系统的功能、规模等均可通过软件修改、增减，可方便地同外设、网络及其他应用设备连接。虚拟仪器的出现，彻底打破了传统仪器由厂家定义、用户无法改变的模式。

(4) 鉴于虚拟仪器的开放性和功能软件的模块化，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，系统组建时间缩短，功能易于扩展，管理规范，维护和开发的费用降低。虚拟仪器的开发厂家，为扩大虚拟仪器的功能，在测量结果的数据处理、表达模式及其变换方面发布了各种软件，建立了数据处理的高级分析库和开发工具库（如测量结果的谱分析、快速傅立叶变换、各种数字滤波器、卷积处理和相关函数处理、微积分、峰值和波形发生、噪声发生、回归分析、数值运算、时域和频域分析等），使虚拟仪器发展成为可以组建极为复杂自动测试系统的仪器系统。

表 1-1 是虚拟仪器与传统仪器的比较。

表 1-1 虚拟仪器与传统仪器的比较

比 较 项 目	虚 拟 仪 器	传 统 仪 器
开发费用	软件使得开发与维护费用低	开发与维护费用高
关键	关键是软件	关键是硬件

续表

比 较 项 目	虚 拟 仪 器	传 统 仪 器
价格	价格低，可重复用，可重配置性强	价格昂贵
功能定义	用户定义仪器功能	厂商定义仪器功能
更新周期	技术更新周期短（1~2 年）	技术更新周期长（5~10 年）
开放程度	开放，灵活，与计算机同步发展	封闭，固定
网络功能	与网络及外设互联方便	功能固定，互联有限

1.1.3 虚拟仪器的国内外研究现状

虚拟仪器技术目前在国外发展很快，美国的 B&B 公司在 NI 公司的 LabVIEW 和 PXI/SCXI 基础上开发了车内测试系统（IVDAS）。IVDAS 的性能优越性源于使用 PXI 和 SCXI 所带来的灵活性和可升级性。美国的 Geomatics 公司和 Goldsmith 公司等利用虚拟仪器开发工具，研制开发了农业自动化灌溉系统和秧苗分析系统。

近年来，各大虚拟仪器公司开发了不少虚拟仪器开发平台软件，以便使用者利用这些公司提供的开发平台软件组建自己的虚拟仪器或测试系统，并编制测试软件，如美国 HP 公司的 HP-VEE 和 HPTIG 平台软件，美国 Tektronix 公司的 Ez-Test 和 Tek-TNS 软件，以及美国 HEM Data 公司的 Snap-Master 平台软件，但美国 NI 公司的 LabVIEW 软件和 LabWindows/CVI 开发软件是最早和最具影响力的开发软件。

当今虚拟仪器系统开发采用的总线包括传统的 RS232 串行总线、GPIB 通用接口总线、VXI 总线、PCI 总线、PXI 总线，以及已经被 PC 广泛采用的 USB 通用串行总线和 1394 总线（即 Firewire，也叫做火线）。特别是美国 NI 公司，为使虚拟仪器能够适应上述各种总线的配置，开发了大量的软件及适应要求的硬件（插件），可以灵活地组建不同复杂程度的虚拟仪器自动测试系统。

2005 年 1 月，美国 NI 公司推出 USB-6008 即插即用式数据采集模块，该模块可通过 USB 接口供电，不需要任何外接电源。模块内具有 8 通道、12bit A/D 转换、取样率最高 10kHz、两个模拟输出、12bit 数字 I/O 线及 1 个计数器，可提供高达±35V 的模拟输入过电压保护，该模块的 USB 接口数据传输速率数据为 12Mbps。

2005 年 12 月，美国 NI 公司针对 I²C（inter-integrated circuit）及 SPI（serial peripheral interface）通信接口推出了 USB 接口模块 USB-8451，该接口模块提供 I²C 和 SPI 通讯接口和 8bit 数字 I/O，USB 接口的数据传输速率为 12Mbps。

在国内，许多高等院校也都在积极开展虚拟仪器的研究和开发。其中，唐山大学基于 CompactPCI/PXI 研制的锅炉供热自动控制系统，成功地应用在唐山市热力总公司项目上。清华大学基于 CompactPCI/PXI 技术建设的实验室热工水利学测控平台，研制成功了先进的热工测量技术和热工仿真技术，成功地完成了海水淡化等重要课题研究。重庆大学开发了虚拟实时噪声倍频程分析仪，实现了对噪声总声压级、各种计权声压级及相应倍频程的实时测量和分析。清华大学汽车系利用虚拟仪器技术构建的汽车发动机检测系统，用于汽车发动机的出厂检验，主要检测发动机的功率特性、负荷特性等。国防科技大学进行了虚拟数字示波器的设计研究，其结果与 HP 公司的双通道台式数字存储示波器

HP54603B 相比增加了频域分析功能；充分利用计算机的存储与外设连接的能力，测量结果和波形直接打印输出；另外，还开发了基于虚拟仪器的 RailSAR 测控系统，RailSAR 轨道合成孔径雷达是一套非常复杂的成像雷达系统，也是一个自动化程度很高的测量系统。

虚拟仪器的出现是仪器发展史上的一场变革，代表着仪器发展的最新方向和潮流，对科学技术的发展和工业生产产生不可估量的影响。虚拟仪器在一些发达国家中设计、生产、使用已经十分普及，国内与之相比仍然存在着较大差距。国内专家预测：未来的几年内，我国将有 50% 的仪器为虚拟仪器，国内将有大批企业使用虚拟仪器系统对生产设备的运行状况进行实时监测。目前我国各行业特别是电子、通信行业对先进仪器的需求更加强劲，随着微型计算机的发展，虚拟仪器将会逐步取代传统的测试仪器。

随着各种新技术的发展，虚拟仪器将会向高效、高速、高精度和高可靠性以及自动化、智能化和网络化的方向发展，并且越来越大众化和小型化。开放式数据采集标准将使虚拟仪器走上标准化、通用化、系列化和模块化的道路。

虚拟仪器可广泛应用于电子测量、电力工程、物矿勘探、医疗、振动分析、声学分析、故障诊断及教学科研等诸多领域，所以国际上从 1988 年陆续有虚拟仪器产品面市，当时有五家制造商推出 30 种产品。此后，虚拟仪器产品每年成倍增加，到 1994 年底，虚拟仪器制造厂已达 95 家共生产 1 000 多种虚拟仪器产品，销售额达 2.93 亿美元，占整个仪器销售额 73 亿的 4%。美国是虚拟仪器的诞生地，也是全球最大的虚拟仪器制造国，生产虚拟仪器的主要厂家有 HP 公司目前生产 100 多种型号的虚拟仪器，Tektronix 公司目前生产约 80 多种型号的虚拟仪器，此外，还有 NI 公司、Keithely 公司、Iotech 公司等。

1.2 LabVIEW 概述及程序组成

1.2.1 LabVIEW 概述

在给定计算机必要的仪器硬件之后，构成和使用虚拟仪器的关键在于软件。软件为用户提供了集成开发环境、高水平的仪器硬件接口和用户接口。正确选择软件对程序开发和设计起着非常重要的作用。

对于虚拟仪器应用软件的编写，大致可分为两种方式。

(1) 通用编程软件进行编写。主要有 Microsoft 公司的 Visual Basic 与 Visual C++，Borland 公司的 Delphi，Sybase 公司的 PowerBuilder。

(2) 通过专业图形化编程软件进行开发。如 HP 公司的 HP-VEE，NI 公司的 LabVIEW 和 LabWindows/CVI 等。

虚拟仪器系统的设计必须满足以下条件：开发成本低、执行效率佳、程序弹性大、易于扩展。

LabVIEW 是实验室虚拟仪器工程平台 (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 的简称，是一个功能比较完整的软件开发环境，是美国 NI 公司的创新软件产品，也是目前应用最广泛、发展最快、功能最强的图形化编程软件开发环境。LabVIEW 的特点在于它使用图形化编程语言在程序框图中创建源程序，即用程序框图代替了传统的程序代码，运行方便，编程简单易懂。