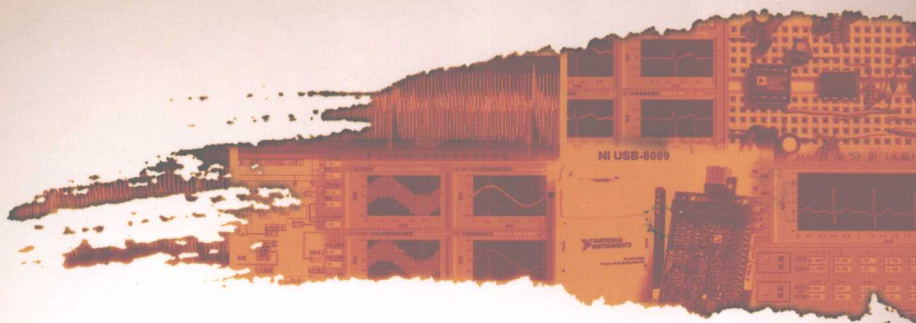




滇 | 西 | 学 | 术 | 文 | 丛

虚拟仪器心电信号 自动分析系统设计

——现代虚拟测试分析系统设计方法研究

◎黄进文 著◎

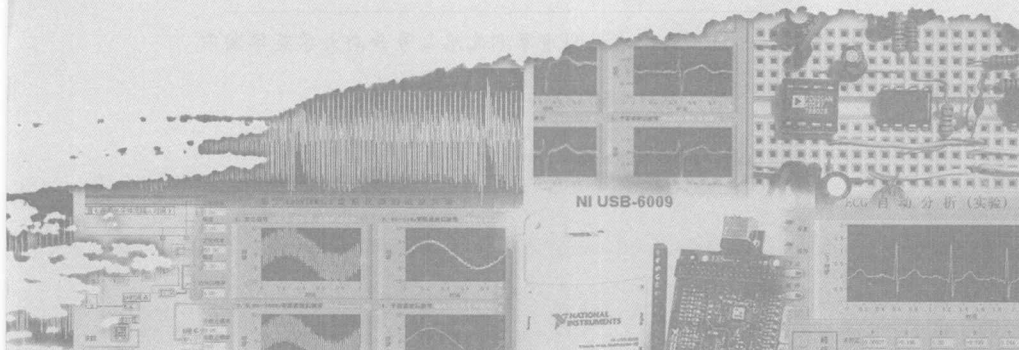
虚拟仪器心电信号 自动分析系统设计

——现代虚拟测试分析系统设计方法研究

滇 | 西 | 学 | 术 | 文 | 丛

◎黄进文 著◎

云南大学出版社
Yunnan University Press



图书在版编目 (CIP) 数据

虚拟仪器心电信号自动分析系统设计/黄进文著. —昆明: 云南大学出版社, 2009
(滇西学术文丛)

ISBN 978 - 7 - 81112 - 739 - 3

I. 虚… II. 黄… III. 智能仪器—应用—心电图—自动分析—系统设计 IV. TH772 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 008129 号

虚拟仪器心电信号自动分析系统设计

——现代虚拟测试分析系统设计方法研究

黄进文 著

策划编辑: 徐 曼
责任编辑: 徐 曼 朱光辉
封面设计: 刘 雨
出版发行: 云南大学出版社
印 装: 云南国浩印刷有限公司
开 本: 850mm × 1168mm 1/32
印 张: 5.375
字 数: 133 千
版 次: 2009 年 2 月第 1 版
印 次: 2009 年 2 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978 - 7 - 81112 - 739 - 3
定 价: 14.00 元

社 址: 云南省昆明市翠湖北路 2 号云南大学英华园内
邮 编: 650091
电 话: 0871 - 5033244 5031071
网 址: <http://www.ynup.com>
E-mail: market@ynup.com

“滇西学术文丛”总序

蒋永文

保山师范高等专科学校地处气候宜人、风景秀丽、历史悠久的滇西重镇保山，是一所建校近30年，主要为拥有1100万人口的滇西7个州市培养中小学师资的地方师范院校。长期以来，在艰苦的条件下，学校为该区域培养了上万名中小学教师和各行业建设者，为祖国西部边疆少数民族地区的教育发展作出了应有的贡献。

大学肩负着创造知识和传播知识的重任。学术是支撑大学的精髓，学科是构筑大学的基石，学者是大学精神的化身。教学与科研相统一是大学的基本理念。科研和教学是彼此促进的。在教学中，可以激发灵感，开阔思路，发现研究课题，而研究成果又可以丰富教学内容，促进教学质量的提高，二者相得益彰。为了给滇西地区提供更好的高等教育资源，保山师专必须建立一支热爱教育事业，业务过硬，高水平、高质量的教师队伍。为此，学校确立了以重点学科建设为龙头，以形成

科研特色、增强科研实力、提高效益为目标的发展战略。学校近几年采取了资助科研立项、奖励科研成果、出版学术论文集等措施来不断提高广大教师的教学水平和科研水平，已收到了较好的效果。为了更好地为广大教师提供出版学术论著的园地，学校决定从 2007 年起出版“滇西学术文丛”，推出学术水平较高的著作。相信“滇西学术文丛”的出版，一定会对保山师范高等专科学校科学研究的深入，以及学科建设和学科带头人、骨干教师的培养产生积极的影响。

辽阔的天空，允许大鹏展翅高飞，也允许小鸟上下蓬蒿；广袤的大地，允许参天大树生长，也允许无名小草成长。我们是小鸟，我们是小草，这套丛书，远非成熟完美，作者水平也还需要不断提高。我们期待着批评和指教。我们会做得越来越好。

2007 年 5 月

前 言

现代测试技术已成为 21 世纪关键的信息技术之一，随着电子信息技术快速发展，以计算机技术为核心的虚拟化测试分析技术，为现代测试技术带来了一个创新发展的新机遇。当今社会，心血管疾病是发病率和死亡率较高、对人类生命威胁较大的疾病，心电信号（ECS）检测及处理的目的，就是根据所得到的心电图（ECG）特征参数，推断出心血管系统的状态，进而作为医学决策的依据。虽然心电图机在我国县级以上医院已基本普及，但目前的心电图还主要依赖于人工读图，而且对相关人员所具备的专业知识水平要求较高。寻找适合计算机心电图自动识别的实现方式，实现心电图计算机自动诊断，不但可以将医务人员从烦琐的图形识别和数据处理中解脱出来，大大提高工作效率，还可以避免人工读图所带来的人为误差。本书写作的目的，一方面是阐述作者在基于虚拟仪器的心电信号自动分析领域的研究成果，另一方面也以该系统的构建来说明基于虚拟仪器设计现代测试系统的方法。

LabVIEW 是“Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench”的缩写，即“实验室虚拟仪器集成环境”，它是美国国家仪器公司（National Instrument，即 NI 公司）推出的著名虚拟仪器系统，也是一种图形化编程语言（G 语言），它具有图形化编程的高性能与灵活性，也是目前最优秀的虚拟仪器开发平台。LabVIEW 提供了为测试测量与自动化应用设计的高端性能和配

置功能,为测试系统的数据采集、仪器控制、测量分析和数据显示等各种应用提供了完整的开发工具。基于虚拟仪器的测试分析系统,较之传统仪器系统有着许多优越性,是未来测试技术发展的新方向。为此项新技术在我国的发展做出努力,是每位相关科研工作者应尽的责任。

本书采用综合案例分析的方法,以设计实际系统作为实际案例,来展示设计的全过程:设想、设计、实验并实践所有的系统环节。以 NI 公司 2007 年推出的最新虚拟仪器系统 LabVIEW 8.2 作为平台,结合作者近年来在心电信号计算机自动分析领域的研究过程与成果,以心电信号自动采集与分析系统为设计案例,详细阐述了基于虚拟仪器 LabVIEW 来设计现代测试分析系统的方法。有关信号分析算法的实验、实测程序(LabVIEW 后面板)均由作者编写并进行了人体心电信号的实际采集及运行测试。本书主要讲述信号处理的算法分析和系统的设计方法,不注重 LabVIEW 基础知识的介绍。

本书在 ECG 自动分析领域,提出了多种新方法,如引入辅助信号通道、提高差分法检测 ECG 特征点准确度的双通道差分检测法,QRS 波离散极值点识别法,ST 段波形分离与波形形态分析方法,高频心电(HFEKG)检测方法等。与传统检测方法相比,系统实现更为简化、运行速度更快、检测识别率高且抗干扰性能好。在基于虚拟仪器 LabVIEW 实现 ECG 信号数字调理方面,有创新和自身特点,主要表现在充分利用 LabVIEW 系统功能的基础上,实现了系统设计的简化和信号调理效果的优化。整个系统的实现基于虚拟仪器 LabVIEW 为平台,所分析的案例涵盖了除网络测试外的所有测试分析环节。

全书共分 10 章,第 1、2 章主要介绍现代测试工程的基本知识、虚拟仪器 LabVIEW 基础及心电信号的生物学特性、虚拟心电信号测试分析系统的整体设计构想;第 3 章介绍 ECG 信号

采集及硬件电路设计；第4章介绍基于LabVIEW的心电信号数字调理方法；第5至第8章介绍ECG的 $P-Q-R-S-T$ 各特征点检测算法、 ST 段波形参数分析及高频心电检测，是本书的核心内容；本部分首要注重的是算法分析，同时也注重基于LabVIEW的系统实现方法介绍；第9章讨论测试系统算法误差及系统误差分析、LabVIEW测试数据的存储管理；第10章是基于虚拟仪器LabVIEW的网络测试系统简介。

本书可为心电信号计算机自动分析系统研究开发领域、基于虚拟仪器LabVIEW的测试系统研发领域及相关领域的研究人员、工程人员或学生等提供参考。

在完成本著作的研究期间得到了云南大学信息学院王威廉教授的大力帮助，并为笔者提供了优良的实验条件，在此，笔者谨向王老师表示诚挚的谢意！宗容副教授、杨明华副教授为笔者创造了优良的工作条件，再次表示谢意！同时，笔者一并向本书撰写过程中所参阅的大量文献的作者表示感谢！

笔者衷心希望广大读者及同行对本书提出宝贵建议，谢谢！

目 录

第 1 章 绪 言	(1)
1.1 现代测试工程概述	(1)
1.2 虚拟仪器概述	(5)
1.3 基于虚拟仪器构建测试系统的方法	(11)
1.4 测试系统的主要性能指标	(12)
第 2 章 虚拟心电信号自动分析系统整体结构设计	(14)
2.1 测试对象的特性——心电信号及其特点	(14)
2.2 系统设计目标及原则	(17)
2.3 系统的整体结构设计	(18)
第 3 章 ECG 信号采集及硬件电路设计	(21)
3.1 ECG 采集电路设计原则	(21)
3.2 ECG 采集电路设计	(22)
3.3 工频干扰问题的合理解决方式	(31)
3.4 最终的 ECG 采集、放大电路	(36)
第 4 章 系统接口及心电信号的数字调理	(38)
4.1 系统接口的实现方式	(38)
4.2 心电检测中工频干扰抑制技术及相关理论基础	(43)

4.3	ECG 波形调理方式	(46)
4.4	LabVIEW 中的数字滤波器及实验设计	(47)
4.5	实际采集 ECG 的信号调理	(49)
 第 5 章 基于虚拟仪器 LabVIEW 的 ECG 特征参数检测		
		(52)
5.1	ECG 中的 QRS 波群特点及检测步骤	(52)
5.2	目前的 ECG 特征参数检测方法简介	(53)
5.3	基于虚拟仪器的 QRS 波双通道差分检测法依据	(55)
5.4	基于虚拟仪器 LabVIEW 的 ECG 特征点识别	(63)
5.5	P 波起点和 T 波止点的检测算法	(81)
 第 6 章 S-T 段的波形参数及波形形态识别		
		(85)
6.1	S-T 段波形参数识别原理	(85)
6.2	基于虚拟仪器 LabVIEW 8.2 的算法实现	(91)
 第 7 章 QRS 波高频心电信号检测		
		(97)
7.1	高频心电信号及其检测简介	(97)
7.2	HFECG 的分类、特点及判别依据	(98)
7.3	基于 LabVIEW 的 HFECG 快速检测方法	(98)
7.4	算法基于 LabVIEW 的编程实验	(101)
7.5	结果分析	(104)
 第 8 章 系统的完整结构及数据的存储管理		
		(106)
8.1	系统的完整结构	(106)
8.2	LabVIEW 数据存储管理	(109)

第 9 章 虚拟测试系统的性能评估、误差分析及校正措施	
.....	(114)
9.1 平滑滤波对 ECG 的 R 波幅值影响及校正方法	(114)
.....	(114)
9.2 ECG 采集电路对信号参数的影响	(124)
9.3 一般测试系统的噪声干扰与传输误差	(127)
第 10 章 网络化测试系统及虚拟仪器 LabVIEW 的网络测试功能简介	(130)
10.1 构建网络化测试系统的基本要求	(130)
10.2 网络化测试系统的基本形式	(131)
10.3 测试网络的类型	(132)
10.4 网络化测试的实时性要求	(135)
10.5 网络化测试系统的时间同步问题	(135)
10.6 虚拟仪器 LabVIEW 的网络化测试功能	(138)
附录 ECG 实用诊断标准	(150)
参考文献	(153)

第1章 绪 言

本章内容 介绍基于虚拟仪器构建现代测试系统的相关基础知识,包括测试及测试工程的基本概念、测试系统的分类及特征、虚拟仪器的概念及其与传统仪器之比较、LabVIEW 虚拟仪器系统的特点,基于虚拟仪器构建测试系统的方法。

1.1 现代测试工程概述

1.1.1 测量、检测及测试工程

测试技术发展至今,经历了“测量—检测—测试系统—测试工程”的发展过程。测量具有广泛的意义,就信号而言,测量仅仅是指检出被测信号,确定被测对象某方面的属性参量。检测则在检出信号的基础上,进一步对信号进行处理和分析,从而做出相应的判断。测试技术是信息技术的支柱学科之一,它指的是对信息的一种认知方法,是对被测信息进行检出、处理、变换、分析、判断,做出控制行为和结果输出,并能完成信息的存储、传输的综合过程。

测试是测量技术和检测技术在现代信息技术、计算机技术支撑下发展起来的测试技术的高级阶段,并已逐步发展成为一门新兴学科,即测试工程学。测试工程学是以系统工程的思想研究测试理论、测试技术、信号处理、信息传输、数据分析判断、测试管理及测试系统集成与控制的一门工程学科。

不同的测试系统，其结构差别可能很大，下面对测试系统的类型作简单描述。

1.1.2 测试系统的基本形式

1. 已知测试和未知测试

按照测试系统的模型及对待测对象的了解程度划分，测试可分为已知测试和未知测试两种。已知测试是指对待测对象的属性已经有比较明确的认识，测试的目的只是对被测对象进行验证或者实现监测功能；未知测试指对被测对象还没有确定的认识或描述的模型，需要通过对测试数据的分析来建立一个经验型的估计模型，然后还要不断改进，从而得到更多被测对象的测量信息和更完善的对象描述方式。

对于已知测试，测试系统构建的重点在于确定测试信号处理的方式（信号调理方式），以及对数据进行分析的方法（即算法分析）；而对于未知测试，测试系统的构建往往只能从被测对象的可测信号出发，尽可能多地感知被测信号，对被测信号进行各种尝试性分析，再找出合适的信号调理方法和数据分析方法，进而不断改进测试系统的各个环节。

良好的测试系统都要经历一个从未知测试到已知测试的不断完善的过程。

2. 测试系统的结构分类

(1) 单一信号的简单测试系统。

这是测试的简单形式，往往只须用单一的量测仪器，对被测对象某一单一的属性参数进行测量即可得到结果，从一定意义上来说，还不能称其为“测试”或“测试系统”。

(2) 数据采集型测试系统。

这是应用较为普遍的一种测试系统。这种系统测试的主要目的不在于数据分析（可能在后续系统中完成），而是尽可能多地收集到被测对象多方面的属性参数并存储下来。数据采集型测试

系统一般由传感器、必要的信号处理环节、数据采集卡和计算机等构成，其基本结构如图 1.1 所示。



图 1.1 数据采集型测试系统结构

(3) 采集分析型测试系统。

数据采集与分析型测试系统不但要完成信号的采集与存储，而且更重要的是还要具备数据的分析处理功能。这类系统往往以信号调理过程为基础、以数据处理软件为核心来进行系统的设计构建。软件系统包括对信号进行数字调理的部分和对数据进行分析的算法设计部分。采集分析型测试系统结构如图 1.2 所示。

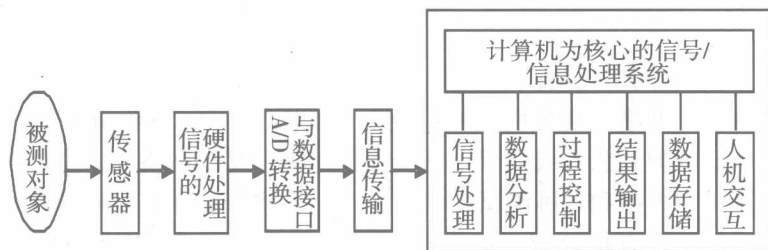


图 1.2 采集分析型测试系统结构

本书讨论的基于虚拟仪器的测试系统，就是采用图 1.2 所示的结构，体现了“软件即仪器”的特点。系统中除信号检出、采集放大环节外，其他如信号波形调理（滤波）、信号分析判断、信号存储与输出等主要环节，均由虚拟仪器系统来完成。基于虚拟仪器技术的测试系统，将传统方法与现代技术完美结合，

代表了现代测试技术发展的主要方向。

(4) 集成型测试系统。

指在系统主控计算机的统一管理和控制下,通过一定的总线和接口,将具有多种测试对象、多路信号通道、多台测试仪器参与测试的复杂系统连接起来,构成的测试功能相对稳定、测试性能相对较高的测试系统。这种系统往往成本较高,其结构形式如图 1.3 所示。

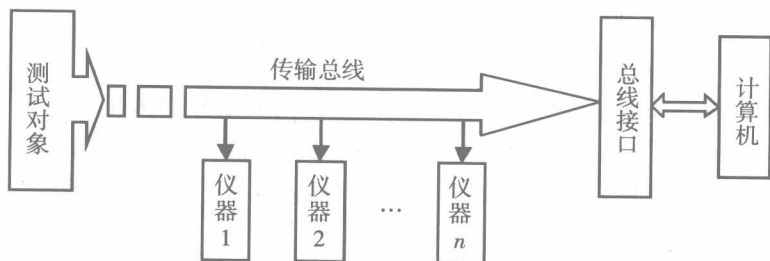


图 1.3 集成型测试系统结构

(5) 网络化测试系统。

基于网络(局域网或互联网)的测试系统,可将分布在不同地域的测试装置或测试子系统连接起来,基于网络通信协议来传输测试数据和各种测试控制指令,从而将分布在不同地域的相关测试系统有机地统一起来,实现集中管理。其结构形式如图 1.4 所示。

上述的测试系统分类并非一成不变,对于一个实际的测试系统,通常需要根据具体的测试要求来综合考虑,复杂的大型测试系统可能需要上述各种类型的有机结合,甚至有的测试系统还需要根据测试数据分析的结果来实时调整、控制各环节的子系统,使系统整体始终工作在最佳的测试状态,以适应测试系统环境条件的变化;而一个简单的测试系统则可能只需用到部分的系统设

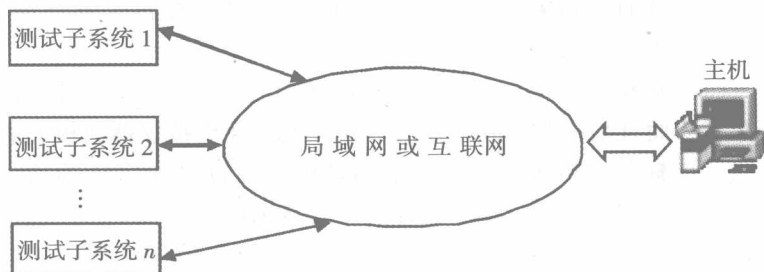


图 1.4 网络化测试系统结构

计，就可以满足实际要求。所以，在构建测试系统时，应该根据实际的测试要求来确定具体的系统构建方法，不同的系统构建思想，在完成同样的测试任务时，测试成本和相应的测试效能可能相差很大。所以应具体问题具体分析。

1.2 虚拟仪器概述

1.2.1 虚拟仪器的概念

有必要说明，虚拟仪器不同于仿真，也不是各种模拟现实或虚拟现实，虽然称之为“虚拟”仪器，但它却是能完成各种实际仪器功能的特殊的“实际”仪器，是一种依赖于计算机技术为基础的、软件化的仪器系统。

所谓虚拟仪器，就是在以计算机为核心的硬件平台上，功能由用户设计和定义，具有虚拟的面板，测试功能由测试软件来实现的一种计算机仪器系统。虚拟仪器是利用计算机显示器的显示功能来模拟传统仪器的控制面板，以多种形式表达、输出各种检测结果；其实质就是利用计算机强大的软件功能，实现信号及数据的处理、运算和分析，并利用接口设备完成信号的采集、输入

和输出,从而实现各种实际仪器功能的一种计算机仪器系统。“虚拟”的含义有二:

(1) 虚拟仪器的面板是虚拟的。传统仪器面板上的器件都是实物,而且是由手动和触摸进行操作的。而虚拟仪器面板上的各种“图标”与传统仪器面板上的各种“器件”所完成的功能虽然是相同的,但它只不过是计算机的显示器而已。

(2) 虚拟仪器的测量功能是通过图形化软件流程图的编程来实现的。虚拟仪器是在以 PC 为核心组成的平台支持下,通过软件编程来更灵活地实现各种实际仪器的功能。这是测试技术与计算机技术深层次融合的结果。

1.2.2 虚拟仪器的特点及优势

虚拟仪器与传统仪器相比,有以下特点:

(1) 具有可变性、多层次、自助性的面板。

因为虚拟仪器的操作面板实质上就是计算机的显示器,如各类指针式的表头、旋钮、开关、滑动器件、各类数码显示器件、波形显示器、指示灯、报警声音等均可以由系统直接提供,并可根据需要进行设置。

(2) 具有强大的信号处理能力。

在接收到由接口提供的数据后,虚拟仪器可以充分利用计算机强大的软件资源,对信号进行灵活地计算、分析、判断、处理、显示或输出等。

(3) 仪器的功能、性能、指标由用户根据需要由软件来定义。

可以建立庞大的 VI 库,而且仪器功能灵活。还可以在一台计算机上实现各种不同的仪器功能,同一功能的虚拟仪器也可随时按需要进行更改、完善或重新设计。而传统仪器一经设计、制造完成后,就很难改变。