

研究生教学用书

自动测试系统

——硬件及软件技术

Automatic Test System : Hardware and Software Technology

秦红磊 路 辉 郎荣玲 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

ISBN 978-7-04-022257-9



9 787040 222579 >

定价 41.60 元

学科类别：电子信息

研究生教学用书

自动测试系统

——硬件及软件技术

Automatic Test System : Hardware and Software Technology

秦红磊 路 辉 郎荣玲 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

内容简介

本书以自动测试系统涉及的硬件、软件和下一代自动测试系统信息框架技术为主要内容,共分为三篇,分别对自动测试系统的总线技术、软件技术及下一代自动测试系统信息框架技术进行了深入和详细的阐述。总线技术内容包括计算机通用总线技术、GPIB 总线技术、VXI 和 MXI-2 总线技术、PXI 总线技术、LXI 总线技术;软件技术包括计算机通用软件技术、自动测试系统软件开发环境、自动测试系统通用测试语言、自动测试系统仪器控制软件;下一代自动测试系统信息框架技术包括 NxTestATS 技术、ABBET 体系结构、核心测试信息模型、测试基础框架、ABBET 资源管理、AI-ESTATE 规范。该书可以帮助读者快速、深入地了解自动测试系统的软、硬件技术的基础知识和未来发展趋势。

本书既可作为高等学校工科有关专业的本科、研究生教材或专业技术培训教材,也可作为从事自动测试系统的开发、研制、生产的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

自动测试系统:硬件及软件技术/秦红磊,路辉,郎荣玲编著. —北京:高等教育出版社,2007.10

ISBN 978-7-04-022257-9

I. 自… II. ①秦…②路…③郎… III. 自动检测系统
IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 137324 号

策划编辑	刘 英	责任编辑	唐笑慧	封面设计	张志奇	责任绘图	尹文军
版式设计	余 杨	责任校对	姜国萍	责任印制	尤 静		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京市南方印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 27
字 数 650 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 10 月第 1 版
印 次 2007 年 10 月第 1 次印刷
定 价 41.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22257-00

序

随着科学技术的飞速发展,现代电子设备应用规模迅速扩大,复杂程度日益提高,同时,使用部门对这些设备的可靠性和利用率也提出了更高的要求,所有这些对电子设备的维修保障系统构成了巨大的考验。以现代民用飞机为例,机上配有通信电台、导航系统、雷达和自动驾驶仪等电子设备,为了保障飞机安全可靠地飞行,需要对这些机载设备进行定期检验,对有故障的设备进行必要的维修,以保障飞机的出勤率。传统的单台仪器加手工操作的检测维护方式已经无法满足现代化装备的支持保障要求,自动测试系统已逐步成为复杂系统与设备可靠运行的必要保证,并已广泛应用于现代复杂电子设备的研制、生产、存储和维修的各个环节。另一方面,测试技术、计算机技术、传感器技术、总线技术、信息处理技术和仪器仪表技术的高速发展也推动了自动测试系统的快速发展,自动测试系统已成为现代信息技术应用领域的一个重要研究方向。

本书以自动测试系统涉及的硬件和软件技术为主要内容,全面介绍了自动测试系统的总线技术、软件技术及下一代自动测试系统信息框架技术。书中涉及内容广泛,不仅对自动测试系统涉及的各种关键技术进行了详细的介绍,而且还对该领域的最新技术进行了分析。本书的作者多年来从事自动测试系统领域的研究和开发工作,积累了较为丰富的工程实践经验。

本书适合作为高等学校相关专业的高年级本科生和研究生的教材,对从事自动测试技术领域的其他研究人员也具有重要的参考价值。这本涉及自动测试系统软、硬件技术以及测试领域新技术的书的出版将为我国自动测试领域教学及科研的发展作出积极贡献。

沈士国

2007年3月15日于北京航空航天大学

前言

随着通信技术、电子技术和计算机技术的飞速发展,自动测试系统在航空、航天、航海等各个领域得到了飞速发展和广泛的应用,特别是在军事领域,其发展尤为迅速。自动测试系统能在人工最少参与的情况下,由计算机控制测试仪器自动进行电子设备的测试、数据记录、数据处理,并以适当方式输出测试结果。它能够快速、准确地完成复杂、工作量大的测试任务,是缩短维修周期和提高设备可靠性的重要途径。

目前世界各国均投入了大量的人力和资金,研究各军种通用的自动测试系统,并在陆、海、空三军内部得到了推广。随着其应用领域的扩大,自动测试系统技术也在不断发展,美国提出了下一代自动测试系统的概念,同时各个领域技术的发展也对自动测试系统提出了许多新的要求,这些都给自动测试系统的研发、使用、维护带来了极大的挑战。

自动测试系统涉及的技术广泛,研究内容丰富。本书仅对自动测试系统的总线技术、软件技术和下一代自动测试系统信息框架技术的关键内容进行介绍。希望通过本书的介绍为读者了解自动测试系统提供一个基础平台。

绪论对本书的各部分内容进行了简单的综述性介绍,从自动测试系统的总线和软件研制技术、下一代自动测试系统信息框架技术三方面分别给予了阐述。

本书第一篇(第1章~第5章)介绍总线技术。第1章介绍计算机通用总线技术,主要包括RS-232、USB、IEEE 1394、LAN、ISA、PCI和PCI Express等总线的内容;第2章介绍 GPIB 总线技术,对 IEEE 488.1 和 IEEE 488.2 标准的内容进行介绍;第3章介绍 VXI 和 MXI-2 总线技术,对这两种总线的特性、数据传输等规范进行介绍;第4章介绍 PXI 总线技术的规范和关键内容;第5章介绍 LXI 总线技术,对其物理规范、技术特性等内容进行介绍。

第二篇(第6章~第9章)介绍自动测试系统涉及的主要软件技术。第6章介绍计算机通用软件技术,对在自动测试系统中广泛应用的 DLL、COM 和 ActiveX 技术的关键内容进行介绍;第7章介绍当前主要的自动测试系统软件开发环境,对 LabVIEW、HP VEE、Measurement Studio 等应用环境的功能、特点和应用进行阐述;第8章介绍了自动测试系统通用测试语言 ATLAS 的关键内容,详细介绍 ATLAS 语言的基本结构及其在自动测试系统的具体应用;第9章介绍自动测试系统仪器控制软件技术,从该项技术的发展阶段对 SCPI、VISA、VPP 和 IVI 技术四部分内容进行详细介绍。

第三篇(第10章~第15章)主要介绍下一代自动测试系统信息框架技术。第10章介绍下一代自动测试系统 NxTest 的体系结构;第11章介绍 NxTest 中的信息框架 ABBET 体系结构,即 IEEE 1226 系列标准;第12章介绍 ABBET 框架模型中的核心测试信息模型(CTIM);第13章详细讲解 ABBET 的测试基础框架(TFF);第14章详细介绍 ABBET 系列标准中的资源管理 IEEE 1226.3 标准;第15章详细介绍下一代自动测试系统结构中的诊断服务规范——IEEE 1232 标准(AI-ESTATE)。

本书绪论由秦红磊、路辉和郎荣玲共同编写,第1章至第5章由秦红磊编写,第6章至第9

II 前 言

章由路辉编写,第10章至第15章由郎荣玲编写,秦红磊对本书的整体结构进行了规划。

在此向北京航空航天大学电子信息工程学院 ATE 课题组的沈士团教授、李驿华教授、谈展中教授、李晓白副教授、潘涌泽工程师等各位老师的指导和支持表示感谢,对李昕、孙宝江、王伟斌、袁清峰等博士研究生和辛凌飞、郭春琪、曲宾、崔秀玲、郭杰翔、宜万兵、侯安华、田立岩、费鹏等硕士研究生所做的资料收集和整理工作表示感谢,感谢他们为本书的撰写所作出的巨大贡献。

本书不足和疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2007 年 3 月于北京

目 录

绪论	1	0.3.2 自动测试系统软件控制技术	4
0.1 自动测试系统的定义和组成	1	0.3.3 故障诊断技术	4
0.2 自动测试系统的发展历程	2	0.4 自动测试系统的发展趋势	5
0.3 自动测试系统的关键技术	3	参考文献	6
0.3.1 总线技术	3		

第一篇 自动测试系统总线技术

第1章 计算机通用总线技术	9	小结	49
1.1 RS-232 总线	9	第2章 GPIB 总线技术	51
1.1.1 接口标准	9	2.1 IEEE 488.1 标准	51
1.1.2 数据传输	11	2.1.1 GPIB 系统总线介绍	52
1.2 USB 总线	13	2.1.2 GPIB 系统总线器件的工作模式	54
1.2.1 总线结构	13	2.1.3 IEEE 488 接口系统	55
1.2.2 数据传输	16	2.1.4 IEEE 488.1-1987 标准握手协议	58
1.2.3 总线特点	17	2.1.5 IEEE 488.1-2003 标准握手协议	59
1.2.4 程序设计	17	2.1.6 IEEE 488.1-1987 与 IEEE488.1-2003 标准的比较	61
1.2.5 测试领域的应用	18	2.2 IEEE 488.2 标准	63
1.3 IEEE 1394 总线	19	2.2.1 IEEE 488.2 标准概述	63
1.3.1 总线结构	20	2.2.2 IEEE 488.2 公用命令和查询	63
1.3.2 数据传输	22	2.2.3 IEEE 488.2 控制序列及控制协议	66
1.3.3 总线特点	23	2.2.4 IEEE 488.2 状态字节报告	68
1.3.4 测试领域的应用	24	2.2.5 基于 IEEE 488.2 协议的自动测试 系统构造	72
1.4 LAN 总线	24	2.3 GPIB 总线的发展	76
1.4.1 传输介质	26	小结	76
1.4.2 拓扑结构	29	第3章 VXI 总线及 MXI-2 总线 技术	78
1.4.3 传输协议	30	3.1 VME 总线	78
1.4.4 测试领域的应用	30	3.2 VXI 总线	79
1.5 ISA 总线	31	3.2.1 VXI 机械与电气规范	82
1.6 PCI 总线	34	3.2.2 VXI 数据传输	90
1.6.1 总线结构	35	3.2.3 VXI 总线仲裁	96
1.6.2 数据传输	41	3.2.4 VXI 中断机制	98
1.6.3 总线特点	41	3.2.5 VXI 模块识别	101
1.7 PCI Express 总线	43		
1.7.1 总线结构	44		
1.7.2 总线特点	48		

3.2.6 VXI 触发机制	103	5.1 LXI 总线技术概览	153
3.2.7 VXI 设备操作	107	5.1.1 LXI 协议组成	153
3.2.8 VXI 模块上电初始化	109	5.1.2 LXI 仪器分类	154
3.3 MXI-2 总线	112	5.1.3 LXI 总线技术特性	154
3.3.1 MXI-2 总线的信号分类	114	5.1.4 LXI 总线与其他仪器总线的 比较	158
3.3.2 MXI-2 总线控制器和终端设备的 确定	115	5.2 LXI 物理规范	159
3.3.3 MXI-2 总线数据传输	116	5.2.1 机械标准	159
3.3.4 MXI-2 总线的仲裁及中断处理 ..	122	5.2.2 电气标准	161
小结	123	5.2.3 状态指示器	161
第4章 PXI 总线技术	125	5.2.4 环境标准	162
4.1 PXI 体系结构简介	127	5.3 LXI 同步触发机制	162
4.1.1 机械结构简介	127	5.3.1 基于 LAN 消息的触发	163
4.1.2 电气结构简介	130	5.3.2 LXI 模块间的数据通信	164
4.1.3 软件结构	132	5.3.3 基于同步时钟协议(IEEE 1588) 的触发	165
4.2 机械结构	133	5.3.4 硬件触发总线	173
4.2.1 CompactPCI 机械特性	133	5.3.5 仪器厂商定义的触发	178
4.2.2 系统插槽的位置和规则	134	5.3.6 LXI 同步触发接口模型	178
4.2.3 PXI 商标和兼容性标志	134	5.3.7 各种触发方式的使用	182
4.2.4 环境测试	134	5.4 LXI 软件编程规范	182
4.2.5 制冷规范	135	5.4.1 基于 IVI 规范的 LXI 仪器 驱动器	182
4.2.6 6U 机箱支持 3U 模块的特性	135	5.4.2 LXI 同步接口编程规范	184
4.2.7 机箱和模块的接地需求和 EMI 指导方针	136	5.5 LXI 的 LAN 规范	188
4.3 电气规范	136	5.5.1 LAN 的物理规范	188
4.3.1 PXI 信号	136	5.5.2 LAN 的配置	188
4.3.2 PXI 连接器引脚定义(J1/P1 和 J2/P2)	142	5.5.3 Web 人机接口	190
4.3.3 机箱电源规范	149	5.5.4 网络发现机制	192
4.4 软件框架和规范	149	小结	193
4.4.1 系统软件框架标准	149	附录1 LXI 仪器模块举例	193
4.4.2 对已存在仪器标准的支持	150	附录2 应用实例	193
4.4.3 系统初始化和配置文件	150	习题	195
小结	152	参考文献	196
第5章 LXI 总线技术	153		

第二篇 自动测试系统软件技术

第6章 计算机通用软件技术	201	6.1.2 显式链接	203
6.1 动态链接库技术	201	6.2 组件技术	204
6.1.1 DLL 模块的创建以及运行情况	201	6.2.1 组件基础	204

6.2.2 COM 接口与对象	207	7.7 TestBase	252
6.2.3 COM 对象的实现	209	7.7.1 TestBase 的特点	252
6.2.4 COM 特性	211	7.7.2 TestBase 的结构	254
6.2.5 COM 应用实例	213	7.7.3 TestBase 的功能	255
6.2.6 组件技术在测试领域的应用	215	小结	255
6.3 ActiveX 技术	219	第 8 章 自动测试系统通用测试语言	
6.3.1 ActiveX 组件类型	219	ATLAS	257
6.3.2 ActiveX 控件	222	8.1 ATLAS 2000	257
小结	223	8.1.1 早期版本出现的问题	257
第 7 章 自动测试系统软件开发环境	224	8.1.2 ATLAS 2000 的新特点	258
7.1 LabVIEW	224	8.1.3 ATLAS 2000 的结构	262
7.1.1 LabVIEW 的特点	227	8.2 ATLAS 在 ATS 中的应用	274
7.1.2 LabVIEW 的结构	228	8.2.1 面向信号的自动测试系统	274
7.1.3 LabVIEW 的功能	231	8.2.2 ATLAS 测试需求	275
7.1.4 LabVIEW 的应用	231	8.2.3 ATLAS 语言的基本语句结构	276
7.2 HP VEE	232	8.2.4 ATLAS 语言关键词和级别	276
7.2.1 HP VEE 的特点	232	8.2.5 ATLAS 测试程序结构分析	277
7.2.2 HP VEE 与仪器控制	233	8.2.6 ATLAS 2000 在 ATS 中的应用	281
7.2.3 HP VEE 的结构	234	小结	283
7.3 Measurement Studio	235	第 9 章 自动测试系统仪器控制软件	
7.3.1 Measurement Studio 的功能	235	技术	284
7.3.2 Measurement Studio 的特点	236	9.1 SCPI	284
7.3.3 Measurement Studio 的用途	237	9.1.1 命令分类	285
7.4 LabWindows/CVI	238	9.1.2 命令规范	286
7.4.1 LabWindows/CVI 的特点	238	9.1.3 工作流程	288
7.4.2 LabWindows/CVI 的结构	239	9.1.4 应用举例	289
7.4.3 开发过程	240	9.2 VISA	291
7.4.4 LabWindows/CVI 的功能	240	9.2.1 VISA 的特点	292
7.5 TestStand	241	9.2.2 VISA 的结构	293
7.5.1 TestStand 的特点	241	9.2.3 VISA 库规范	294
7.5.2 TestStand 的结构	242	9.2.4 应用	296
7.5.3 开发过程	243	9.2.5 VISA 函数的实现	307
7.5.4 TestStand 的应用	243	9.3 VPP	312
7.6 PAWS	244	9.3.1 仪器驱动程序	313
7.6.1 PAWS 的特点	244	9.3.2 应用	319
7.6.2 PAWS 的系统组成	244	9.4 IVI	322
7.6.3 PAWS 的程序流程	249	9.4.1 IVI 驱动体系结构	324
7.6.4 PAWS 的资源配置	250	9.4.2 配置服务器	333
7.6.5 开发过程	252	9.4.3 IVI 会话工厂	340
7.6.6 PAWS 的应用	252	9.4.4 IVI - MSS	341

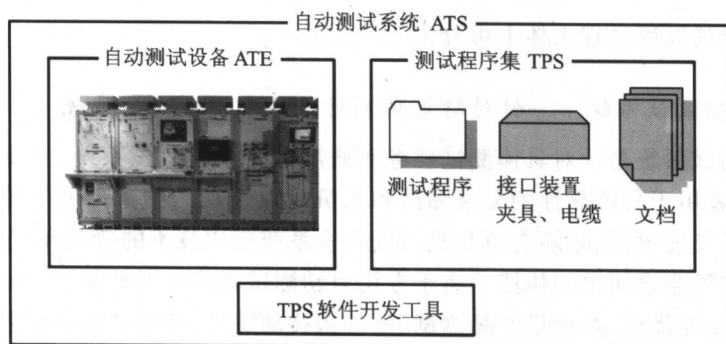
9.4.5 利用 IVI 驱动实现可互换举例	349	习题	352
小结	351	参考文献	353
第三篇 下一代自动测试系统信息框架			
第 10 章 NxTest ATS	359	13.2.2 TestObject 定义	382
10.1 NxTest ATS 提出背景	359	13.2.3 TestObject 接口	382
10.2 NxTest ATS 体系结构框架和 主要技术	360	13.2.4 实体定义	383
10.2.1 NxTest ATS 体系框架	360	13.2.5 TestObject 使用	385
10.2.2 主要技术	361	13.3 TestObject 管理	386
小结	364	小结	387
第 11 章 ABBET 体系结构	365	第 14 章 ABBET 资源管理	388
11.1 ABBET 体系标准	365	14.1 虚拟资源对象	388
11.2 ABBET 执行过程	367	14.2 虚拟资源组对象	391
11.3 ABBET 框架及结构	370	14.3 动态选择真实资源对象	394
11.3.1 ABBET 测试基础框架	370	14.4 手动选择真实资源对象	396
11.3.2 ABBET 结构层次	371	小结	397
小结	373	第 15 章 AI - ESTATE	398
第 12 章 核心测试信息模型	374	15.1 AI - ESTATE 的数据和知识 结构	398
12.1 CTIM 结构	374	15.1.1 模型结构	399
12.2 CTIM 应用	376	15.1.2 公共元素模型	400
小结	378	15.1.3 故障树模型	407
第 13 章 测试基础框架	379	15.2 AI - ESTATE 服务规范	408
13.1 TFF 结构	379	15.2.1 服务规范简介	408
13.1.1 接口	380	15.2.2 动态上下文模型	410
13.1.2 重用性	381	15.2.3 推理机的服务	415
13.1.3 TestObject 集管理	381	15.2.4 推理机的执行过程	417
13.2 TFF 体系结构	381	小结	418
13.2.1 目标	381	习题	418
参考文献	419		

绪 论

0.1 自动测试系统的定义和组成

自动测试系统 (Automatic Test System, ATS) 是指能对被测设备自动进行测量、故障诊断、数据处理、存储、传输,并以适当方式显示或输出测试结果的系统。它把现代微电子技术、计算机技术、虚拟仪器技术、信息技术、人工智能技术和数据库管理技术结合在一起,形成了功能强大的测试平台,为现代复杂电子设备,特别是军用电子设备的测试和维修提供了强有力的工具。

自动测试系统 (ATS) 一般由三大部分组成:自动测试设备 (Automatic Test Equipment, ATE), 测试程序集 (Test Program Set, TPS) 和 TPS 软件开发工具 (又称测试开发环境), 如图 0.1 所示。



自动测试设备 (ATE) 是指用来完成测试任务的全部硬件和相应的操作系统软件。ATE 硬件本身可能是很小的便携设备,也可能是由多个机柜组成、重量超过数千公斤的庞大系统。为适应机载、舰载或前线机动运输需要,ATE 往往选用加固型商用设备。如果是在非恶劣环境下 (如维修站或修理厂内) 使用的 ATE,则可以采用纯粹的商用货架设备 (Commercial Off-The-Shelf Equipment, COTS)。ATE 的核心是计算机,通过计算机实现对各种复杂的测试仪器如数字万用表、波形分析仪、信号发生器及开关组件的控制。在测试软件的控制下,ATE 为被测对象中的电路或部件提供其工作所需的激励信号,然后在相应的引脚、端口或连接点上测量被测对象的响应输出,进而确定该被测对象是否达到规范所要求的功能或性能。ATE 的操作系统软件还可以实现其自身的事务管理 (如自测试、自校准等)、跟踪 ATE 设备的维护要求、规划测试过程,并能够存储和检索数字技术手册,为测试人员使用和维护 ATE 提供在线帮助。

测试程序集 (TPS) 是与被测对象及其测试要求密切相关的。典型的测试程序集由三部分组成,即:①测试程序软件;②测试接口适配器,包括接口装置、测试夹具及测试电缆;③被测对象测试所需的各种文档。ATE 中的计算机执行由各种标准编程语言 (如:ATLAS、C、Ada) 开发的测试

软件,实现对 ATE 中的激励设备、测量仪器、电源及开关组件的控制,产生被测对象(Unit Under Test, UUT)所要求的激励信号,测量 UUT 的响应输出,实现信号通道的配置和切换。测试软件能够自动分析测量结果,确定各种可能的故障原因,向测试技术人员提供维修排查建议。由于不同的 UUT 的连接要求和输入/输出端口定义往往互不相同,为实现 UUT 与 ATE 的连接通常需要特定的接口装置来完成 UUT 到 ATE 的正确、可靠的物理连接,实现 ATE 信号点到 UUT 中的相应 I/O 引脚间信号通道的连接。通用 ATE 系统设计的原则是使 ATE 本身资源配置最大化,能够覆盖各种 UUT 的测试需求;而接口装置的设计应以最简化和无源化为原则,只有当 ATE 无法完全满足 UUT 测试需要时,才考虑在接口装置中加入有源组件实现信号调理、通道切换等功能。

开发测试软件需要一系列的支持工具,这些工具统称为 TPS 软件开发环境,主要包括:① ATE 和 UUT 仿真器;② ATE 和 UUT 建模描述语言;③ 编程工具,如:各种测试软件的集成开发环境。

0.2 自动测试系统的发展历程

自动测试系统的发展过程大体上可分为三个阶段。

1. 第一代自动测试系统——针对特定被测对象的专用型测试系统

第一代自动测试系统是针对具体测试任务而研制的专用型测试系统,主要用于测试工作量大的重复测试,或者用于高可靠性的复杂测试和人员难以进入的恶劣环境下的测试任务。随着计算机技术的迅猛发展,特别是随着单片机与嵌入式系统应用技术的普及和成熟,专用自动测试系统的研发已经变得非常简单和快捷。由于专用自动测试系统针对性强,一般具有结构紧凑、测试效率高、使用方便等优点,在批量产品测试、便携式移动测试、特定产品测试等应用领域发挥着重要的作用。但专用自动测试系统的测试资源配置具有很强的针对性,甚至是客户化的定制产品,测试系统内、外接口往往是非标准设计,当系统比较复杂时,研制工作量大、费用高昂。而且,由于这类系统是针对特定的被测对象而研制的,系统的适应性不强,测试资源无法在多个测试任务间共享,不同的测试系统间很难实现互操作。

2. 第二代自动测试系统——以台式程控仪器为主构建的自动测试系统

第二代自动测试系统是在具有标准接口总线(如:GPIB、CAMAC、RS-232)的台式程控仪器的基础上,以积木堆叠方式组建而成的。组成系统的台式设备(计算机、程控仪器、程控开关等)都具有统一的标准接口,测试系统研制者不需要再专门设计接口电路,只要采用相应的总线电缆连接各台设备就能够方便地组成系统。以程控台式仪器为主构成的自动测试系统的主要不足在于:① 连接台式仪器的串行总线的传输速率不够高(例如:GPIB 总线的最大传输速率为 8 MB/s,而 RS-232 总线就更低),很难组建高速、大数据吞吐量的自动测试系统;② 由于这类系统是由一些独立的台式仪器用总线电缆串接组建而成的,每台仪器还都有独立的机箱、电源、显示面板、控制操作面板等,从系统的角度看,上述资源大部分是重复配置的,增加了测试系统的体积、重量和功耗,难以组建适合移动运输的体系小、重量轻的便携系统。

3. 第三代自动测试系统——以模块化虚拟仪器为主组建的集成型自动测试系统

第三代自动测试系统是基于 VXI(VMEbus eXtensions for Instrumentation)、PXI(PCI eXtensions for Instrumentation)等测试总线,主要由模块化的仪器/设备所组成的自动测试系统。VXI 总线是 VME 计算机总线向仪器/测试领域的扩展,具有高达 40 MB/s 的数据传输速率。PXI 总线是 PCI 总线向仪器/测量领域的扩展,其数据传输速率为 132 ~ 264 MB/s。以这两种总线为基础,可组建高速、大数据吞吐量的自动测试系统。在 VXI(或 PXI)总线系统中,仪器、设备或嵌入计算机均以 VXI(或 PXI)总线插卡的形式出现,系统中所采用的众多模块化仪器/设备均插入带有 VXI(或 PXI)总线插座、插槽、电源的 VXI(或 PXI)总线机箱中,仪器的显示面板及操作,用统一的计算机显示屏以软面板的形式来实现,从而避免了系统中各仪器、设备在机箱、电源、面板、开关等方面的重复配置,大大降低了整个系统的体积、重量,并能在一定程度上节约成本。

可以看出,早期的自动测试系统主要是针对具体的被测对象型号或系列,测试系统间互不兼容,缺乏互操作性,测试资源重复配置,利用率低,支持保障费用高昂。近十几年来,通用自动测试系统的开发已成为主流,通用自动测试系统更侧重于采用公共的测试资源去适应不同的测试需要。目前,通用测试系统研发正向着建立统一的测试系统体系结构、实现 TPS 的可移植和互操作、与人工智能技术结合、提高测试诊断的效率和有效性以及实现分布式集成诊断测试等方向发展。

0.3 自动测试系统的关键技术

0.3.1 总线技术

随着科学技术的迅速发展,特别是由于电子技术及计算机技术的突飞猛进,测试技术领域产生了巨大的变化。传统的独立或局部控制的仪器系统变得越来越不适应,于是出现了以总线技术为基础的测试技术。总线是传输信号或信息的公共路径,是连接各硬件模块的基础。在大规模集成电路内各部分之间、一块插件板的各芯片之间、一个系统的各模块之间以及系统和系统之间,普遍采用总线进行连接。

测试总线是指可以应用在测试、测量和控制系统中的总线,它既包括专用于测试设备中的 GPIB(General Purpose Interface Bus)、VXI(VMEbus eXtensions for Instrumentation)、PXI(PCI eXtensions for Instrumentation)、LXI(LAN eXtensions for Instrumentation)等总线,也包括通用计算机系统内的 PCI(Peripheral Component Interconnection)、USB(Universal Serial Bus)、IEEE 1394、PCI-Express 等总线,因为这些总线技术同样可以应用于数据采集、仪器控制等测试与测量领域。测试系统总线是随着自动测试系统(ATS)的出现而提出的,并且随着 ATS 的发展而发展。ATS 首先要解决的关键问题是如何使得开放式互连设备能在机械、电气、功能上兼容,以保证各种命令和测试数据在互连设备间准确无误地传递,即要解决的是程控设备互连协议问题,也就是接口总线问题。

现代测量及检测系统的发展趋势是标准总线计算机平台、功能强大的软件,以及应用总线技术的模块化仪器设备的有机结合。这种结合极大地增强了自动测试设备的功能与性能。在测试

系统研制中,选择好的测试系统平台总线,不仅有助于系统最终以较低成本满足更高的性能要求,而且可以使系统更加容易扩充、升级和保护用户的投资效益。因此,在现代计算机测试系统中,总线技术越来越受到重视,应用的范围也越来越广。目前,总线技术在工业、军事、航空、航天等测试领域中发挥着极其重要的作用,总线技术的研究与发展也迈上了一个崭新的台阶。

0.3.2 自动测试系统软件控制技术

软件是自动测试系统的核心,也是自动测试系统成败的关键。它描述了千差万别的测试需求,代表了针对各个领域、各个类型的被测对象的测试应用。一套成功的测试软件能够最大限度地降低测试人员的劳动强度,提高工作效率,增强系统运行的可靠性。

测试系统软件技术包括仪器驱动的开发、计算机通用软件开发技术、测试系统软件开发环境的选择和应用、测试系统描述语言、测试程序集的描述与运行等多个环节。在后续的章节中将分别加以详细的介绍。

同 ATS 发展历程相仿,测试系统软件的发展也可以相应分为以下几个阶段:根据各个仪器自己独有的命令集和语言而编写的专用的测试软件;20 世纪 80 年代,采用程控仪器标准命令(Standard Commands for Programmable Instruments, SCPI)语言和和一些简单的开发环境生成半标准化的测试软件;20 世纪 90 年代,进入到采用 VXI 即插即用(VXI Plug&Play, VPP)标准的准通用化软件时代,能够在仪器上实现即插即用,但在系统方面满足不了通用化的要求;21 世纪,则采用通用测试软件框架、测试需求的图形化表示与执行、测试程序的自动生成,以及采用标准化的测试语言(如 ATLAS、C/C++等)等手段,并采用仪器可互换(IVI)技术,生成通用性极强的、可以进行系统重构的测试软件系统。

软件的互操作性、仪器的互换性是测试系统永恒不懈的追求目标。自动测试系统的目的是控制仪器进行测试,测试的过程是给被测设备提供激励然后对其进行测量,因而,测试信号的流程是测试系统最为关注的对象。TPS 调用的基本单元不应是仪器,而应是信号。基于信号的 TPS 才和具体测试系统无关,只要信号满足需求,可不管仪器的种类、厂家,能够实现真正意义上的软件可互操作性和仪器互换性。因此采用基于信号的通用自动测试系统软件开发平台也是未来的自动测试系统的发展方向。

0.3.3 故障诊断技术

故障诊断技术是一门应用型的多学科交叉的边缘学科,它的发展已有 40 多年历史。在现代生产中,及时解决系统发生的故障,保证系统的正常运行,是一个重要的问题,故障诊断技术就是为了解决这个问题而逐渐发展起来的。它有很强的工程背景,并且以深厚的理论为基础,系统论、信息论、控制论、非线性科学等许多最新的技术在其中都有广泛的应用。从本质上讲,故障诊断技术是个模式分类问题,即把机器的运行状态分为正常和异常两类。原始的故障诊断方法是“手摸、耳听、眼看”,在故障诊断技术出现后,这种情况得到了根本性的改善。特别是近年来,随着计算机技术和人工智能(Artificial Intelligence, AI)的发展,诊断自动化、智能化的要求逐渐变为现实,极大提高了系统诊断的效率。

计算机技术和微电子技术的飞速发展给人们在系统的设计方面带来了极大的自由和空间,同时也使得所设计系统日益复杂,这给故障诊断技术带来了新的难题。复杂系统在构造上由多

个子系统作为元素组合而成,这种组合是多层次的。在子系统内,层次之间的联系可能是不确定的;在功能上,系统的输入与输出之间,存在着由构造所决定的一般并非严格的定量的或逻辑的因果关系,因而其故障与征兆之间不存在一一对应的简单关系,使故障诊断问题复杂化。

系统复杂性的提高虽然给故障诊断带来了难题,但同时也为故障诊断的发展提供了良好的机遇。以前的人工诊断或简单的计算机诊断方法已经无法满足现代电子系统的需要,面对挑战,模糊理论、神经网络、专家系统、遗传算法、小波变换等最新的理论都先后被应用到故障诊断领域里来,并且取得了很多有价值的成果,如模糊故障树、模糊神经网络、基于模糊规则的专家系统、基于遗传算法的诊断方法等。针对复杂系统故障诊断的特点,分层诊断方法、诊断决策方法、顺序诊断策略等提高诊断效率的方法及理论也得到了深入研究,决策论、信息论在其中获得了比较广泛的应用,为故障诊断领域开辟了新的研究方向。

0.4 自动测试系统的发展趋势

虽然目前世界各国都在开展通用自动测试系统的研制工作,并已经取得了相应的成果,但是目前自动测试系统还存在以下的不足。

1. 生命周期内使用、维护费用较高

现有通用测试系统广泛采用商业货架产品(COTS),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,随着测试系统硬件的过时,系统的维护费用将不断攀升。

2. 应用范围有限,适应能力不足

现有通用测试系统以各军种为单位,针对不同的武器维护级别(现场、中间、基地),缺乏系统间互操作性,无法适应现代多兵种联合作战对多武器系统、多级维护的需要。

3. 故障诊断效率和准确性有待提高

现有的自动测试程序以预定义的故障字典或故障树为诊断依据,维修人员的经验、维修履历资料、被测对象的设计知识等相关测试诊断知识无法得到充分的利用,测试控制计算机强大的计算、存储能力远未得到发挥,不仅无法适应复杂故障的诊断需要,并且测试诊断的效率低下。

针对目前自动测试系统存在的一些问题,自动测试系统应该向以下几个方面发展:

- ① 改善测试系统仪器的互换性。
- ② 提高测试系统配置的灵活性,满足不同测试用户需要。
- ③ 提高自动测试系统新技术的注入能力。
- ④ 改善测试程序集(TPS)的可移植性和互操作能力。
- ⑤ 实现基于模型的测试软件开发。
- ⑥ 推动测试软件开发环境的发展。
- ⑦ 确定便于验证、核査的 TPS 性能指标。
- ⑧ 进一步扩大商用货架产品在自动测试系统中的应用。

- ⑨ 综合运用被测对象设计和维护信息,提高测试诊断的有效性。
- ⑩ 促进基于知识的测试诊断软件的开发。
- ⑪ 明确定义测试系统与集成诊断框架的接口,便于实现集成测试诊断。

参 考 文 献

- [1] 于寒,周明光.测控总线技术的现状与特点[J].大众科技,2006(1):40-41.
- [2] 秦云川,徐大专,李彤.测量仪器总线技术的发展与现状[J].中国仪器仪表,2005(8):48-52.
- [3] 黄华英,曹玲.测试仪器总线标准应用及发展[J].认证与检测,2005(3):58-61.
- [4] 季晓亮,谭业双.测试总线的发展及性能比较[J].电测与仪表,2006,43(484):55-57.
- [5] 金达,阙沛文.当前计算机技术发展对基于PC机自动测试系统的影响[J].计算机自动测量与控制,1999,7(1):5-7.
- [6] 陈皓,程鹏,熊时泽.电子测试仪器的发展趋势[J].计算机自动测量与控制,1999,7(2):7-9.
- [7] 张月亲.建立自动化测试系统的必要性[J].电子仪器与系统,2000(6):23-25.
- [8] 陈尚松.论三种串行总线在自动测试系统中的应用[J].桂林电子工业学院学报,2000,20(4):33-41.
- [9] 林奎明.三种典型总线标准的产生及其发展[J].计量与测试技术,1999(2):8-9.
- [10] 张婵,丛敏.自动化测试技术的发展趋势[J].飞航导弹,2002(5):30-36.
- [11] 王军伟.VXI总线双通道数据采集模块的研究[D].北京:北京化工大学,2003.
- [12] 奚全生.可编程仪器标准命令(SCPI)介绍[J].计算机自动测量与控制,1994,1(4):22-28.
- [13] 陈贻范.SCPI语法与结构分析[J].仪表技术,1996(3):18-21.
- [14] 肖风云,马廷卫,唐义清.基于VISA标准的仪器驱动器设计[J].机械工程与自动化,2006(2):131-135.
- [15] 王厚军,田书林,陆明.VXI内嵌式控制器的VISA设计与实现[J].测控技术,2001,20(9):19-22.
- [16] 关丽.基于VPP规范的VXI总线模块的软件开发[J].计算机自动测量与控制,1998,3(22):19-23.
- [17] 杨乐平,曾敏.IVI——智能虚拟仪器驱动器[J].计算机自动测量与控制,1997,7(4):6-8.
- [18] 赵申波,李迅波.基于IVI技术构建测试系统的研究[J].传感器与仪器仪表,2006,22(3):167-169.
- [19] 周绍磊,穆阿华.用于虚拟仪器开发的IVI技术[J].计算机技术与应用,2003,23(4):43-45.
- [20] 刘金宁,孟晨,杨锁昌,等.IVI-MSS模型及其在可互换虚拟仪器测试系统中的应用研究[J].计算机测量与控制,2004,12(2):125-128.
- [21] 刘金宁,孟晨,方新,等.基于信号接口的IVI驱动器设计标准——IVI-Signal Interface及其应用[J].测控技术,2004,23(4):68-73.
- [22] 顾玉辉,宋利,朱明武.IVI模型在虚拟仪器驱动程序开发中的应用[J].计算机应用,1999,(12):14-17.
- [23] 王健,李智.虚拟仪器系统中的IVI技术[J].电测与仪表,1999,36(12):33-36.
- [24] 于劲松,李行善.下一代自动测试系统体系结构与关键技术[J].计算机测量与控制,2005(13):1-4.