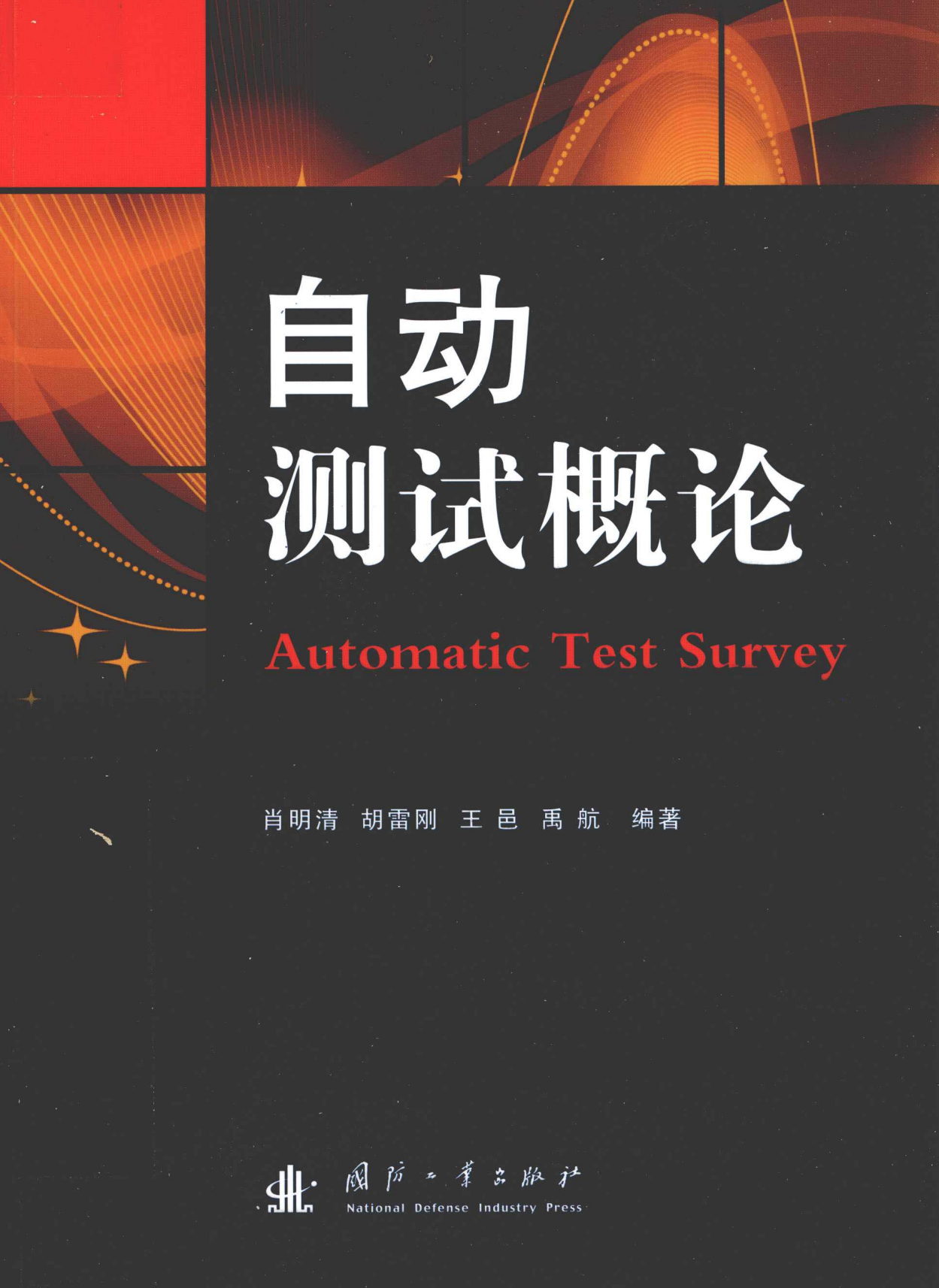




自动 测试概论

Automatic Test Survey

肖明清 胡雷刚 王 邑 禹 航 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

自动测试概论

Automatic Test Survey

肖明清 胡雷刚 王邑 禹航 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书内容既包括自动测试的基本概念、发展历程、自动测试系统的组成、自动测试系统的评价指标及基于单片机的自动测试系统等自动测试领域的基本知识,也包括测试性设计技术、合成仪器技术、并行测试技术、LXI 总线技术、全寿命测试信息框架、预测与健康管理和便携式维修辅助技术及下一代自动测试系统等自动测试领域的前沿热点问题。

本书可供自动测试领域研究人员使用,也可作为高等院校相关专业的教师和研究生进行有关课题研究或课程学习的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

自动测试概论/肖明清等编著. —北京:国防工业出版社,2012.8

ISBN 978-7-118-08296-8

I. ①自... II. ①肖... III. ①自动检测—概论
IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 165075 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 19½ 字数 316 千字

2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

自动测试在科研、生产和军事上得到了越来越广泛的应用。自动测试借助于自动测试系统在计算机的控制下完成,在启动后按照一定的顺序,自动构成测试条件,对被测对象的多个不同参数进行测试,可迅速判断被测对象的状态,为科研、生产和军事行动提供依据。实现自动测试的关键是自动测试系统,如何描述自动测试和自动测试系统?实现自动测试的前提和条件是什么?自动测试领域的热点问题是什么?最先进的自动测试系统是什么?这些都是本书试图回答的问题。

本书首先介绍了自动测试的基本概念,紧接着以单片机自动测试系统为例,详细介绍了自动测试系统的各组成单元及实现自动测试的原理;再用一章内容介绍了测试性设计技术,这是实现自动测试的基础;对于合成仪器技术、并行测试技术、LXI 总线技术、全寿命测试信息框架、预测与健康管理和便携式维修辅助技术等自动测试的前沿热点问题各用一章进行了简单介绍,最后介绍了最先进的自动测试系统——下一代自动测试系统。

全书由 10 章组成。第 1 章绪论,介绍了自动测试的基本概念、自动测试的发展历程、自动测试系统的组成、自动测试系统的评价指标;第 2 章基于单片机的自动测试系统,介绍了单片机自动测试系统基本硬件组成,信号调理、数据采集与输入显示,基于单片机的自动测试的实现;第 3 章测试性设计技术,介绍了测试性的定义,测试性的研究及发展,测试性主要技术,测试性研究的发展趋势;第 4 章合成仪器技术,介绍了合成仪器基本概念,合成仪器体系结构,合成仪器关键技术,合成仪器典型产品与应用;第 5 章并行测试技术,介绍了并行测试基本概念,并行测试任务调度,并行测试资源配置,并行测试系统的开发及发展趋势与前景;第 6 章 LXI 总线技术,介绍了测试总线的发展历程,LXI 总线的关键技术,基于 LXI 的 1553B 通信模块开发,LXI 与其他总线的融合技术;

第7章全寿命测试信息框架,介绍了全寿命测试信息概念,全寿命测试信息框架分析与建模,全寿命测试信息框架的应用;第8章预测与健康管理技术,介绍了PHM技术的应用背景与基本概念,PHM关键技术与技术体系,故障预测的途径与方法,PHM技术的应用与评估;第9章便携式维修辅助技术,介绍了便携式维修辅助技术的基本概念和意义,国内外发展及应用现状,便携式维修辅助技术的关键技术,典型应用系统,便携式维修辅助技术的优势及面临的挑战;第10章下一代自动测试系统,介绍了下一代自动测试系统计划,下一代自动测试系统的体系结构,下一代自动测试系统的关键技术,下一代自动测试系统的演示验证。

本书第1、2、10章,由肖明清编写;第3、9章,由禹航编写;第4、5、6章,由胡雷刚编写;第7、8章,由王邑编写。赵亮亮为第2章的编写提供了帮助,在编写过程中参考的有关资料已在参考文献中列出,在此一并表示感谢!

由于本书内容较新,有些问题还在进一步研究中,加之作者水平有限和时间仓促,掌握的信息和资料也不全面,书中难免有不少缺点和错误,恳请读者不吝指正和赐教。

作者
2012年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 自动测试的基本概念	1
1.1.1 自动测试的定义	1
1.1.2 自动测试的特点	2
1.1.3 几个有关概念	3
1.2 自动测试的发展历程	5
1.2.1 专用自动测试系统	6
1.2.2 基于 GPIB 总线的积木式自动测试系统	7
1.2.3 基于 VXI 总线的模块化自动测试系统	8
1.2.4 基于 LXI 总线的网络化自动测试系统	9
1.3 自动测试系统的组成	10
1.3.1 结构组成	11
1.3.2 元素组成	12
1.4 自动测试系统的评价指标	13
1.4.1 测试对象	14
1.4.2 主要功能	14
1.4.3 工作方式	14
1.4.4 适应环境	15
1.4.5 故障检测率	15
1.4.6 故障隔离率	15
1.4.7 虚警率	16
1.4.8 故障检测时间	16
1.4.9 故障隔离时间	16
1.4.10 连续工作时间	16

1.4.11 可靠性	17
1.4.12 维修性	17
1.4.13 测试性	17
1.4.14 安全性	17
1.4.15 保障性	18
1.4.16 电磁兼容性	18
1.4.17 可扩展性	18
参考文献	18
第2章 基于单片机的自动测试系统	19
2.1 基本硬件组成	19
2.1.1 单片机及单片机最小系统	19
2.1.2 多路开关	23
2.1.3 A/D 转换器	25
2.1.4 D/A 转换器	28
2.1.5 键盘	32
2.1.6 传感器	34
2.1.7 加载电源	34
2.2 信号调理、数据采集与输入显示	35
2.2.1 信号调理	35
2.2.2 数据采集	38
2.2.3 输入与显示	40
2.3 基于单片机的自动测试的实现	45
2.3.1 基于单片机的自动测试系统的需求分析	46
2.3.2 基于单片机的自动测试系统的硬件实现	47
2.3.3 基于单片机的自动测试系统的软件实现	50
参考文献	55
第3章 测试性设计技术	56
3.1 测试性的定义	56
3.1.1 测试性要素	56
3.1.2 测试性指标	59
3.2 测试性的研究及发展	62
3.2.1 国外研究发展情况	62

3.2.2 国内研究发展情况	65
3.3 测试性主要技术	67
3.3.1 测试性技术框架	67
3.3.2 测试性设计的关键技术	70
3.4 测试性研究的发展趋势	75
参考文献	76
第4章 合成仪器技术	78
4.1 合成仪器基本概念	78
4.1.1 合成仪器基本定义	78
4.1.2 合成仪器发展过程	79
4.1.3 合成仪器的特点	81
4.2 合成仪器体系结构	83
4.2.1 通用/松耦合组件合成仪器	83
4.2.2 综合商业货架合成仪器	83
4.2.3 军事专用合成仪器	84
4.3 合成仪器关键技术	84
4.3.1 上/下变频技术	84
4.3.2 ADC/DAC 技术	85
4.3.3 数据处理器及总线技术	87
4.3.4 仪器互换技术	89
4.3.5 可重配置技术	90
4.3.6 系统软件设计技术	91
4.4 合成仪器典型产品	92
4.4.1 安捷伦公司的 SI 仪器系列	93
4.4.2 艾法斯公司的 SMARTE 系列	95
4.4.3 国家仪器公司 PXI 合成仪器系列	97
4.4.4 航天测控公司的频谱分析仪系列	99
4.5 合成仪器的发展前景	100
参考文献	101
第5章 并行测试技术	102
5.1 并行测试基本概念	102
5.1.1 并行测试基本定义	102

5.1.2	并行测试支撑技术	103
5.1.3	并行测试实现方式	105
5.1.4	并行测试特点与优势	107
5.2	并行测试任务调度	109
5.2.1	任务调度的概念	109
5.2.2	并行测试过程管理软件 TestStand™	110
5.2.3	基于优先级表的并行测试任务调度	111
5.2.4	基于智能算法的并行测试任务调度	114
5.2.5	基于 Petri 网的并行测试任务调度	118
5.3	并行测试资源配置	123
5.3.1	并行测试效率定义	123
5.3.2	并行测试资源效用模型	123
5.3.3	基于效用模型的资源优化配置	124
5.4	并行测试系统的开发	126
5.4.1	并行测试系统开发流程	126
5.4.2	某型导弹并行测试需求分析	128
5.4.3	某型导弹并行测试任务调度	129
5.4.4	并行测试系统硬件平台与资源配置	135
5.4.5	并行测试系统软件设计与实现	137
5.5	发展趋势与前景	141
	参考文献	142
第 6 章	LXI 总线技术	143
6.1	测试总线的发展历程	143
6.1.1	GPIB 测试总线	143
6.1.2	VXI 测试总线	146
6.1.3	LXI 测试总线	148
6.2	LXI 总线的关键技术	150
6.2.1	同步与触发	150
6.2.2	LAN 规范	154
6.2.3	LXI 编程接口	154
6.2.4	Web 接口	154
6.3	基于 LXI 的 1553B 通信模块开发	155

6.3.1	总体结构设计	155
6.3.2	模块具体硬件开发	157
6.3.3	模块软件设计与开发	160
6.4	LXI 与其他总线的融合技术	163
6.4.1	LXI 多总线融合模块	164
6.4.2	基于 LXI 多总线融合的测试系统	168
	参考文献	170
第 7 章	全寿命测试信息框架	172
7.1	全寿命测试信息概述	173
7.1.1	全寿命信息的概念模型	173
7.1.2	全寿命测试信息技术的发展简史	175
7.1.3	全寿命自动测试的功能模型	179
7.1.4	现有测试信息集成框架体系结构	183
7.2	全寿命测试信息框架分析与建模	188
7.2.1	信息框架的开发技术	188
7.2.2	自动测试信息活动的特征建模	190
7.2.3	全寿命测试信息框架的设计实现	193
7.3	全寿命测试信息框架的应用	198
7.3.1	全寿命测试信息框架应用的概念	198
7.3.2	基于全寿命测试信息框架的测试软件开发	202
7.3.3	测试结果流的存储和信息获取	205
7.3.4	全寿命测试信息框架的扩展	210
	参考文献	216
第 8 章	预测与健康管理技术	220
8.1	PHM 技术的应用背景与基本概念	220
8.1.1	PHM 的定义	221
8.1.2	PHM 系统的工作方式	222
8.1.3	PHM 系统的技术概念	223
8.1.4	PHM 系统的典型配置	225
8.1.5	PHM 国外发展现状	226
8.1.6	PHM 国内发展现状	227
8.1.7	PHM 系统产生的效益	228

8.2 PHM 关键技术与技术体系	228
8.2.1 传感技术	228
8.2.2 检测技术	229
8.2.3 诊断技术	229
8.2.4 故障预测技术	230
8.2.5 PHM 技术的层次体系	230
8.2.6 PHM 与其他体系的结合	231
8.2.7 PHM 试验验证技术	233
8.2.8 PHM 技术的相关标准	235
8.3 故障预测的途径与方法	237
8.3.1 故障预测相关概念	237
8.3.2 故障预测重要事件的描述	237
8.4 故障预测的分类方法	239
8.4.1 按照信息源分类	239
8.4.2 按照知识结构分类	239
8.4.3 按照模型方法分类	239
8.4.4 按照算法假设分类	240
8.5 PHM 技术的应用与评估	245
8.5.1 PHM 系统开发方法	245
8.5.2 故障预测方法设计	246
8.5.3 系统工作建模	246
8.5.4 异常行为分析	247
8.5.5 退化与故障模式选取	248
8.5.6 代表性指标选择	248
8.5.7 故障预测模型与算法选择	248
8.5.8 需求验证	249
8.5.9 离线效能评估	249
参考文献	255
第9章 便携式维修辅助技术	258
9.1 基本概念和意义	258
9.1.1 便携式维修辅助技术的产生背景	258
9.1.2 便携式维修辅助技术的概念	259

9.2	国内外发展及应用现状	260
9.2.1	国外发展及应用现状	260
9.2.2	国内发展及应用现状	262
9.3	便携式维修辅助技术关键技术	263
9.4	典型应用系统	266
9.4.1	美国空军的应用	266
9.4.2	美国陆军的应用	268
9.4.3	美国海军和海军陆战队的应用	270
9.4.4	联合攻击机的应用	270
9.5	便携式维修辅助技术的优势及面临的挑战	271
9.5.1	便携式维修辅助技术的优势	271
9.5.2	影响便携式维修辅助技术军事应用的因素	271
9.5.3	便携式维修辅助技术应用推广面临的挑战	273
	参考文献	274
第 10 章	下一代自动测试系统	275
10.1	“下一代自动测试系统”计划	275
10.2	下一代自动测试系统的体系结构	278
10.2.1	NxTest 体系结构	278
10.2.2	NxTest 关键元素	278
10.2.3	NxTest 相关技术标准	283
10.3	下一代自动测试系统的关键技术	285
10.3.1	合成仪器技术	285
10.3.2	并行测试技术	285
10.3.3	LXI 总线技术	286
10.3.4	ABBET 标准(广域测试环境)	286
10.3.5	可互换虚拟仪器技术	286
10.3.6	AI-ESTATE 标准与 ATML	287
10.4	下一代自动测试系统的演示验证	287
10.4.1	全球战场快捷支持系统(ARGCS)	288
10.4.2	洛马之星(LM-STAR)	290
	参考文献	292

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Automatic Test; Basic Concepts	1
1.1.1 Automatic Test Definition	1
1.1.2 Automatic Test Characteristics	2
1.1.3 Relevant Concepts	3
1.2 Automatic Test Development	5
1.2.1 Special Automatic Test System	6
1.2.2 Modular Automatic Test System based on GPIB Bus	7
1.2.3 Modular Automatic Test System Based on VXI Bus	8
1.2.4 Networked Automatic System Based on LXI Bus	9
1.3 Automatic Test System Structure	10
1.3.1 Architecture	11
1.3.2 Component	12
1.4 Automatic Test System Performance Metrics	13
1.4.1 Unit under Test	14
1.4.2 Main Function	14
1.4.3 Working Mode	14
1.4.4 Working Environment	15
1.4.5 Fault Detection Rate	15
1.4.6 Fault Isolation Rate	15
1.4.7 False Alarm Rate	16
1.4.8 Fault Detection Time	16
1.4.9 Fault Isolation Time	16

1.4.10	Continual Working Duration	16
1.4.11	Reliability	17
1.4.12	Maintainability	17
1.4.13	Testability	17
1.4.14	Security	17
1.4.15	Supportability	18
1.4.16	Electromagnetism Compatibility	18
1.4.17	Expansibility	18
	References	18
Chapter 2	ATS Based on Single – Chip Microcomputer	19
2.1	Basic Hardware Architecture	19
2.1.1	Single – Chip Microcomputer and Minimum System	19
2.1.2	Multiplex Switch	23
2.1.3	Analog to Digital Converter	25
2.1.4	Digital to Analog Converter	28
2.1.5	Keyboard	32
2.1.6	Sensor	34
2.1.7	Loading Power Supply	34
2.2	Signal Conditioning, Data Acquisition, Input and Display	35
2.2.1	Signal Conditioning	35
2.2.2	Data Acquisition	38
2.2.3	Input & Display	40
2.3	Realization of ATS Based on Single – Chip Microcomputer	45
2.3.1	Test Requirement Analysis	46
2.3.2	Hardware Realization	47
2.3.3	Software Realization	50
	References	55

Chapter 3 Design for Testability	56
3.1 Definition of Testability	56
3.1.1 Testability Factors	56
3.1.2 Testability Metrics	59
3.2 Research and Development of Testability	62
3.2.1 International Research Situation	62
3.2.2 Domestic Research Situation	65
3.3 Main Technology of Testability	67
3.3.1 Testability Technology Framework	67
3.3.2 Key Technology of DFT	70
3.4 Trend of Testability Research	75
References	76
Chapter 4 Synthetic Instrument Technology	78
4.1 Synthetic Instrument Conception	78
4.1.1 Synthetic Instrument Definition	78
4.1.2 Synthetic Instrument Development	79
4.1.3 Synthetic Instrument Characteristics	81
4.2 Synthetic Instrument Architecture	83
4.2.1 General/Loosely Coupled Component Synthetic Instrument	83
4.2.2 Commercial Off – the – Shelf Synthetic Instrument	83
4.2.3 Special Military Synthetic Instrument	84
4.3 Synthetic Instrument Key Technology	84
4.3.1 Up/Down Conversion Technology	84
4.3.2 ADC/DAC Technology	85
4.3.3 Data Processor and Bus Technology	87
4.3.4 Instrument Interchange Technology	89
4.3.5 Reconfiguration Technology	90
4.3.6 System Software Design Technology	91

4.4 Typical Synthetic Instrument Products	92
4.4.1 Agilent's SI Series	93
4.4.2 Aeroflex's SMARTE Series	95
4.4.3 NI's PXI SI Series	97
4.4.4 CASICAMC's Spectrum Analyzers	99
4.5 Futuve of Synthetic Instrument	100
References	101
Chapter 5 Parallel Test Technology	102
5.1 Parallel Test Concepts	102
5.1.1 Parallel Test Definition	102
5.1.2 Parallel Test Supporting Technology	103
5.1.3 Parallel Test Technology Realization	105
5.1.4 Parallel Test Technology Characteristics	107
5.2 Parallel Test Task Scheduling	109
5.2.1 Task Scheduling Concepts	109
5.2.2 Parallel Test Task Management Software TestStand™	110
5.2.3 Parallel Test Task Scheduling Based on Priority Table	111
5.2.4 Parallel Test Task Scheduling Based on Intelligent Algorithm	114
5.2.5 Parallel Test Task Scheduling Based on Petri Net	118
5.3 Parallel Test Resource Allocation	123
5.3.1 Parallel Test Efficiency Definition	123
5.3.2 Parallel Test Resource Utility Model	123
5.3.3 Optimal Resource Allocation Based on Utility Model	124
5.4 Parallel Test System Development	126
5.4.1 Parallel Test System Development Process	126
5.4.2 Missile Parallel Test System Requirement Analysis	128
5.4.3 Missile Parallel Test System Task Scheduling	129
5.4.4 Hardware Platform and Resource Allocation	135

5.4.5	System Software Design and Realization	137
5.5	Development Trend and Prospects	141
	References	142
Chapter 6	LXI Bus Technology	143
6.1	Test Bus Development Process	143
6.1.1	GPIB Test Bus	143
6.1.2	VXI Test Bus	146
6.1.3	LXI Test Bus	148
6.2	Key Technology of LXI Bus	150
6.2.1	Synchronization and Trigger	150
6.2.2	LAN Criterion	154
6.2.3	LXI Programming Interface	154
6.2.4	Web Interface	154
6.3	1553B Communication Module Development Based on LXI	155
6.3.1	General Structure Design	155
6.3.2	Hardware Development	157
6.3.3	Software Design and Development	160
6.4	Fusion Technology for LXI with Other Buses	163
6.4.1	LXI Multi Buses Fusion Module	164
6.4.2	Test System Based on Multi – Buses Fusion	168
	References	170
Chapter 7	Total Life Cycle Test Information Framework	172
7.1	A Summary of Total Life Cycle Test Information	173
7.1.1	Conceptual Model of Total Life Cycle Test Information	173
7.1.2	Development of Total Life Cycle Test Information	175
7.1.3	Function Model of Total Life Cycle Automatic Test	179
7.1.4	Architecture of Existing Test Information Integration	183