

智能机内测试理论与应用

Theory and Application of Intelligent Built-in Test

温熙森 徐永成 易晓山 陈循 著

国防工业出版社

National Defence Industry Press

<http://www.ndip.com.cn>



E92
v59

智能机内测试理论 与 应 用

Theory and Application of Intelligent
Built-in Test

温熙森 徐永成 易晓山 陈 循 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

智能机内测试理论与应用/温熙森等著. —北京:国防工业出版社, 2002.1

ISBN 7-118-02651-4

I. 智... II. 温... III. 自动检测 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 065009 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 100044)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 7 $\frac{3}{4}$ 182 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

IV

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第四届评审委员会组成人员

名 誉 主 任 委 员	陈达植			
顾 问	黄 宁			
主 任 委 员	殷鹤龄			
副 主 任 委 员	王 峰	张涵信	张又栋	
秘 书 长	张又栋			
副 秘 书 长	崔士义	蔡 镭		
委 员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成
(按姓名笔画排序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇
	崔尔杰	彭华良	韩祖南	舒长胜

前 言

机内测试(Built-in Test,简称 BIT)是一种能显著改善系统或设备测试性和诊断能力的重要手段。BIT 技术自 20 世纪 80 年代初从美国航空电子业界开始发展以来,应用范围迅速扩展。针对常规 BIT 技术存在的诊断能力差、虚警率高等缺陷,近年来国外开始重点研究 BIT 中的智能理论与技术以提高 BIT 的综合效能。智能 BIT 理论和技术以人工智能、信息论、系统论、控制论等为理论基础,以传感器技术、电子电路技术和计算机技术为支撑手段,以大幅度提高 BIT 的设计、检测、诊断和维修能力为目标。智能 BIT 理论和技术是一个很有发展潜力的研究方向,已经开始在航空航天等领域得到成功应用,并得到了军方的大力支持,将逐步在武器装备及相关复杂机电系统中得到广泛应用,从而大幅度地提高产品的综合性能。

我军武器装备的维修现状急需得到包括 BIT 技术在内的先进理论技术的支持,BIT 的设计研究工作对军用武器装备的维修性、可靠性的提高具有重要的意义。目前,国内在研的很多新型装备都采用 BIT 技术来提高装备的测试性、维修性和可靠性,但是 BIT 应用中虚警率高等问题却一直在困扰着装备的研制和维修人员,因此迫切需要在 BIT 技术中引入智能理论和方法来解决目前 BIT 中存在的问题。但是,国内目前缺乏基于智能理论的 BIT 设计与应用方面的学术专著。以上便是作者撰写本书的基本动因。

本书在全面总结国内外智能 BIT 最新研究成果的基础上,融合本单位数年来的研究成果,建立了智能 BIT 的理论框架,不仅全面、系统地论述了智能 BIT 中的理论与技术问题,而且对相关的应用实例进行了深入的分析。全书各章的内容安排如下:

第一章机内测试技术:概要介绍 BIT 的由来、历史和国内外发展现状;

第二章常规 BIT 技术基础:讲述各种模拟、数字电路中的常用 BIT 技术,本章所述内容是智能 BIT 技术发展的基础;

第三章智能 BIT 的几个基本问题:从常规 BIT 存在的问题引出智能 BIT,分析了智能 BIT 的基本概念和主要内涵,并阐述了智能 BIT 的巨大应用价值和基本实现方式;

第四章 BIT 的智能设计技术:重点论述了 BIT 的系统级智能设计的研究内容、BIT 系统级测试性优化设计理论与技术;

第五章智能 BIT 中的新型检测技术——边界扫描技术:重点论述基于边界扫描的电路板测试性优化设计技术、基于边界扫描的智能板级 BIT 结构与实现问题;

第六章基于神经网络的 BIT 智能故障诊断:分析了国内外 BIT 智能故障诊断的理论和应用实例,重点论述了 BIT 智能故障诊断中的神经网络理论与应用,并给出了某大型船舶动力装置 BIT 系统中基于 ART 网络的无监督故障诊断应用实例;

第七章 BIT 决策专家系统:主要分析 BIT 综合决策与维修专家系统的结构特点和国外应用实例,并展望了 BIT 决策专家系统的发展;

第八章智能 BIT 理论与技术的发展:对智能 BIT 理论、技术的总体发展趋势进行了分析展望。

上述各章中,第三章至第七章是本书的重点。

智能 BIT 的理论及其应用技术涉及广泛的学科领域,其研究在国内才刚刚起步,许多问题尚有待进一步的研究和探索。作者希望本书的出版能起到抛砖引玉的作用,引来更多的科技工作者,特别是国防工业部门的研制人员关注并参加 BIT 的研究和开发,以推动其进一步发展。

本书是在“九五”国防预研项目“智能 BIT 及故障诊断技术(含神经网络)的应用研究”、原国防科工委重点项目“×型舰船动力装置运行状态监测与故障诊断系统”、“×型舰船动力装置巡回

检测系统二期工程”等课题研究的基础上,融合了本单位数年来在BIT领域的研究成果,以多篇博士学位论文为蓝本,经过进一步完善充实后完成的。本书各章执笔者为:第一章温熙森、陈循、徐永成,第二章徐永成、王刚,第三章徐永成、刘冠军,第四章钱彦岭、黎琼炜、易晓山,第五章刘冠军,第六章徐永成,第七章徐永成、李俭川,第八章徐永成。全书由温熙森教授、陈循教授统稿。另外,本书还得益于邱静教授、胡政博士、胡茑庆副教授、硕士生李剑和游方等人的大量工作。陶利民副研究员、杨拥民副教授、李岳副教授为本书的写作提供了多方面的帮助。

中国科学院院士杨叔子教授、科学院院士熊有伦教授、工程院院士钟掘教授对本书的出版给予了大力支持并提供了很好的建议,在此表示感谢。

本书的出版得到了国防科技图书出版基金的资助和国防工业出版社大力支持,在此表示感谢。

本书参考和引用了许多国内外有关学者的论文和著作(参见各章参考文献附录),作者在此向各位学者,特别是中国航空信息中心的曾天翔研究员,表示衷心的感谢。

智能BIT是一个新兴的交叉学科领域,由于时间和水平的限制,书中一定存在着不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

作 者

2001年5月

于湖南长沙,国防科技大学

目 录

第一章 机内测试技术	1
§ 1.1 BIT 的由来	1
1.1.1 测试性技术的发展	1
1.1.2 BIT 技术的提出	2
§ 1.2 BIT 的历史	3
1.2.1 BIT 的定义	3
1.2.2 BIT 技术的作用	4
1.2.3 BIT 技术国外发展简史	5
1.2.4 BIT 技术国内发展简史	6
参考文献	8
第二章 常规 BIT 技术基础	10
§ 2.1 通用的 BIT 技术	10
2.1.1 BIT 通用测试性设计准则	10
2.1.2 电子产品的模块划分	11
2.1.3 BIT 测试点的选择与设置	12
2.1.4 余度 BIT 技术	16
2.1.5 环绕 BIT 技术	17
2.1.6 并行测试技术	19
§ 2.2 数字 BIT 技术	19
2.2.1 VLSI 芯片 BIT 的单板综合	19
2.2.2 特征分析	20
2.2.3 机内逻辑块观察	23
2.2.4 编码图	24
2.2.5 扫描技术	24
§ 2.3 模拟 BIT 技术	25
2.3.1 模拟电路 BIT 技术	25

2.3.2 电压求和 BIT	26
2.3.3 比较器	26
参考文献	28
第三章 智能 BIT 几个基本问题	29
§ 3.1 智能 BIT 的发展动因	29
3.1.1 常规 BIT 存在的问题	29
3.1.2 常规 BIT 虚警原因分析及其解决方案	31
3.1.3 智能 BIT 的提出	35
§ 3.2 智能 BIT 的概念	36
§ 3.3 智能 BIT 主要内涵和作用	38
§ 3.4 智能 BIT 的基本实现方式	44
3.4.1 复杂电子设备中智能 BIT 实现方式	45
3.4.2 复杂机电设备中的智能 BIT 实现方式	47
参考文献	49
第四章 BIT 的智能设计技术	51
§ 4.1 概述	51
4.1.1 BIT 智能设计技术的含义	51
4.1.2 BIT 智能设计研究的基本问题	53
§ 4.2 BIT 智能设计的知识表示	54
4.2.1 设计对象的知识表示	55
4.2.2 测试性知识描述模型	59
§ 4.3 测试性知识的获取	66
4.3.1 测试性知识的前向推理获取	67
4.3.2 测试性知识的后向推理获取	69
§ 4.4 测试方案求解及最优诊断树的生成	73
4.4.1 测试方案求解	73
4.4.2 测试序列生成	74
§ 4.5 BIT 计算机辅助设计技术	78
4.5.1 CAD-BIT 系统框架与功能	79
4.5.2 CAD-BIT 系统数据库	81
4.5.3 智能 BIT 与 CAD-BIT 的结合	82
§ 4.6 本章小结	84

参考文献	85
第五章 智能 BIT 中的新型检测技术——边界扫描技术	87
§ 5.1 智能 BIT 中的各种检测技术基础	87
5.1.1 智能传感器技术	87
5.1.2 自适应滤波技术	89
5.1.3 信息融合技术	89
§ 5.2 边界扫描技术基础	90
5.2.1 边界扫描技术的产生与发展	90
5.2.2 边界扫描技术基础	92
§ 5.3 基于边界扫描的电路板测试性设计技术	98
5.3.1 基于边界扫描的电路板测试性设计优化技术	98
5.3.2 基于边界扫描的测试性设计实现技术	115
5.3.3 实例验证	118
§ 5.4 基于边界扫描的智能板级 BIT 结构与实现	122
5.4.1 引言	122
5.4.2 基于边界扫描的智能板级 BIT 结构设计	123
5.4.3 实例验证	127
§ 5.5 本章小结	132
参考文献	132
第六章 基于神经网络的 BIT 智能故障诊断	135
§ 6.1 BIT 智能故障诊断理论与技术	136
6.1.1 BIT 故障诊断专家系统	137
6.1.2 基于信息融合的 BIT 故障诊断	138
6.1.3 BIT 模糊故障诊断	139
6.1.4 基于神经网络的 BIT 故障诊断	140
§ 6.2 神经网络理论与技术的发展	141
§ 6.3 神经网络在 BIT 故障诊断中的应用实例分析	143
6.3.1 基于神经网络模式识别的 BIT 故障诊断应用分析及实例	143
6.3.2 基于神经网络动态预测的 BIT 故障预测	150
6.3.3 基于神经网络知识处理的 BIT 诊断专家系统	153
§ 6.4 基于 ART2 的 BIT 系统无监督故障诊断理论与应用	154

6.4.1 一种新型 ART 2 聚类算法	155
6.4.2 基于 ART 2 算法的 BIT 系统无监督聚类实验研究	177
参考文献	184
第七章 BIT 决策专家系统	188
§ 7.1 BIT 智能决策的理论与技术	188
7.1.1 BIT 决策层的信息融合技术	189
7.1.2 BIT 模糊决策	190
7.1.3 BIT 决策专家系统	191
§ 7.2 专家系统概述	192
7.2.1 专家系统简介	192
7.2.2 专家系统的优点	192
7.2.3 专家系统的组成	193
7.2.4 专家系统的主要研究内容	195
§ 7.3 BIT 综合决策与维修专家系统	196
§ 7.4 BIT 决策专家系统的发展展望	200
7.4.1 基于数据仓库的 BIT 决策支持专家系统	200
7.4.2 基于 Internet/Intranet 技术的 BIT 群体决策支持系统	203
参考文献	205
第八章 智能 BIT 理论、技术的发展	206
参考文献	210
缩略语索引	212

Contents

Chapter 1 The Built-in Test Technology	1
§ 1.1 The Origin of BIT	1
1.1.1 The progress of testability technology	1
1.1.2 Presentation of the BIT technology	2
§ 1.2 History of BIT	3
1.2.1 Definition of BIT	3
1.2.2 Function of BIT technology	4
1.2.3 Develop history of BIT technology aboard	5
1.2.4 Domestic develop history of BIT technology	6
References	8
Chapter 2 The technology basis of general BIT	10
§ 2.1 Universal BIT technology	10
2.1.1 Universal BIT design rule	10
2.1.2 Module plot of electron product	11
2.1.3 Choose and set of BIT test point	12
2.1.4 Residual BIT technology	16
2.1.5 Surround BIT technology	17
2.1.6 Collateral test technology	19
§ 2.2 Digital BIT technology	19
2.2.1 Single-board BIT integration of VLSI chip	19
2.2.2 Character analysis	20
2.2.3 Built-in Logic Block Observation	23
2.2.4 Coding plot	24
2.2.5 Scan technology	24
§ 2.3 Analog BIT technology	25
2.3.1 Analog circuit BIT technology	25

2.3.2	Voltage-sum BIT	26
2.3.3	Comparator	26
	References	28
Chapter 3	Several basic problem of intelligent BIT	29
§ 3.1	Developing cause of intelligent BIT	29
3.1.1	Existing problem of general BIT	29
3.1.2	Causes analysis and solve scheme of general BIT	31
3.1.3	Present of intelligent BIT	35
§ 3.2	Concept of intelligent BIT	36
§ 3.3	Main connotation and function of intelligent BIT	38
§ 3.4	Basic implement manner of intelligent BIT	44
3.4.1	Implement manner of intelligent BIT in complex electronic device	45
3.4.2	Implement manner of intelligent BIT in complex mechatronical device	47
	References	49
Chapter 4	Intelligent design technology of BIT	51
§ 4.1	Summarize	51
4.1.1	Signification of intelligent design of BIT	51
4.1.2	Basic problem of intelligent design of BIT	53
§ 4.2	Knowledge representation of intelligent design of BIT	54
4.2.1	Knowledge representation of design object	55
4.2.2	Description model of testability knowledge	59
§ 4.3	Acquisition of testability knowledge	66
4.3.1	Forward reasoning acquisition of testability knowledge	67
4.3.2	Backward reasoning acquisition of testability knowledge	69
§ 4.4	Derivation of test scheme and generation of optimal diagnosis tree	73
4.4.1	Derivation of test scheme	73
4.4.2	Generation of test sequence	74
§ 4.5	Computer aided design technology of BIT	78

4.5.1	CAD-BIT system frame and function	79
4.5.2	CAD-BIT system database	81
4.5.3	Association of intelligent BIT and CAD-BIT	82
§ 4.6	Brief summary of the chapter	84
	References	85
Chapter 5 Boundary scan technology——new test technology		
	of intelligent BIT	87
§ 5.1	Test technology basis of intelligent BIT	87
5.1.1	Intelligent sensor technology	87
5.1.2	Adaptive filter technology	89
5.1.3	Information fusion technology	89
§ 5.2	Technical basis of boundary scan	90
5.2.1	Begin of development of boundary scan technology	90
5.2.2	Technical basis of boundary scan	92
§ 5.3	Circuit card testability design technology based on boundary scan	98
5.3.1	Circuit testability optimize design technology based on BS	98
5.3.2	Testability implement technology based on boundary scan ...	115
5.3.3	Validated examples	118
§ 5.4	Structure and implement of intelligent board-level BIT based on BS	122
5.4.1	Introduction	122
5.4.2	Structure design of intelligent board-level BIT based on BS	123
5.4.3	Validated examples	127
§ 5.5	Brief summary of the chapter	132
	References	132
Chapter 6 Intelligent fault diagnosis of BIT based on		
	neural network	135
§ 6.1	Theory and technology of intelligent fault diagnosis of BIT	136