



国防科技图书出版基金

电子装备试验不确定性 信息处理技术

Processing Technology of Uncertainty
Information for Electronic Equipment Test

柯宏发 陈永光 胡利民 张守玉 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

电子装备试验 不确定性信息处理技术

Processing Technology of Uncertainty Information
for Electronic Equipment Test

柯宏发 陈永光 胡利民 张守玉 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

电子装备试验不确定性信息处理技术 / 柯宏发等著.
—北京:国防工业出版社,2013.1

ISBN 978-7-118-08156-5

I. ①电... II. ①柯... III. ①电子装备—实验—信息
处理 IV. ①E933—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 215487 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 11¼ 字数 275 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 68.00 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

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。

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

第六届评审委员会组成人员

主 任 委 员	王 峰			
副 主 任 委 员	宋家树	蔡 镭	杨崇新	
秘 书 长	杨崇新			
副 秘 书 长	邢海鹰	贺 明		
委 员	于景元	才鸿年	马伟明	王小谟
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	邬江兴
	刘世参	芮筱亭	李言荣	李德仁
	李德毅	杨 伟	肖志力	吴有生
	吴宏鑫	何新贵	张信威	陈良惠
	陈冀胜	周一宇	赵万生	赵凤起
	崔尔杰	韩祖南	傅惠民	魏炳波

前 言

“先决胜于试验场,再决胜于战场”,电子装备的试验必须为其在战争进程中作战效能的预测与评估提供可靠的依据。而电子装备试验不确定性信息处理技术是电子装备试验理论与技术的重要组成部分,其研究对象是电子装备试验中的不确定性信息数学建模问题。因此,深入研究电子装备试验中不确定性信息处理技术与方法,具有重大的理论价值和军事意义。

本专著总结了电子信息装备试验与训练中不确定性信息的描述与处理方法,对电子信息装备试验与训练中不确定性信息理论进行了理论上的升华和概括,首次构建了电子信息装备试验中的不确定性信息处理的理论体系框架,为电子信息装备试验理论与技术奠定了基础,富有开拓性和创新性。

全书共 11 章:

第 1 章分析了电子装备试验系统的不确定性特征,研究了不确定性信息的来源和不确定性类型,分析了电子装备试验中不确定性信息处理技术国内外研究现状,提出了电子装备试验不确定性信息处理技术研究的体系框架;

第 2 章介绍了电子装备试验数据不确定性信息处理技术的数学基础知识,包括不确定性信息的模糊数学、灰色数学等数学方法,不确定性数据的规范化处理模型,不确定性度量模型等;

第 3 章研究了基于不确定性信息的电子装备试验表达方法,包括基于灰数、模糊集、未确知有理数和联系数的试验数据表达模型;

第 4 章针对电子装备试验中不确定性信息识别问题,分析了电子装备试验数据的不确定性内涵与外延,研究了不确定性识别

方法与传播模型,并提出一种面向试验数据的不确定性分析新方法;

第5章研究了电子装备试验中不确定性信息的建模技术,提出了新的基于双层规划的GM(1,1)优化模型、基于未确知有理数的试验数据处理模型和基于联系度的不确定性表达模型,并就天线增益测试数据处理、电子系统的可靠度表示等问题进行了应用研究;

第6章研究了电子装备试验中的不确定性决策技术,提出了电子信息装备试验中的灰色关联决策、基于逼近于理想灰色关联投影的决策模型以及基于集对分析的综合决策模型等,并就电子信息装备试验方案的优化选择、试验点位的选择等实际问题进行了应用研究;

第7章研究了电子装备试验中的不确定性评估技术,基于电子信息装备的作战效能评估等实际问题,提出了模糊综合评判模型、基于粗糙集和未确知有理数的评估模型、基于未确知测度的评估模型和基于联系数的评估新技术;

第8章研究了电子装备试验中基于不确定性理论的信息融合技术,包括电子装备试验中基于D-S推理、灰色关联、灰色聚类、灰色统计的信息融合模型等;

第9章研究了电子装备试验中基于不确定性理论的模式识别模型,包括基于模糊数学的模式识别模型、基于粗糙集理论和灰色关联理论的辐射源识别模型等;

第10章研究了电子装备试验中单式不确定性规划模型与算法,包括灰色规划模型及其应用、模糊规划模型及其应用,并提出了一种基于灰关联度的多目标规划新求解算法;

第11章研究了电子装备试验中混合不确定性规划模型与算法,包括随机模糊规划模型、模糊灰色规划模型、不确定性动态规划等。

这些内容包括了电子信息装备试验与训练中常用的不确定信息处理技术与方法,内容丰富,层次分明,论据充分,知识量、信息

量大,集前瞻性、探索性、学术性、应用性于一体,具有重要的理论价值和实践价值。

感谢总装备部“1153”人才工程的资助;感谢国防科技图书出版基金的资助和评审委员会的辛勤劳动;感谢装备学院的各位领导和同仁在本书出版过程中给予的支持和帮助;特别感谢南京航空航天大学特聘教授、国家有突出贡献的中青年专家、Emerald 期刊“Grey Systems: Theory and Application”主编、《系统与控制国际杂志》客座主编刘思峰教授的无私帮助。赵燕同志进行了书中所有插图的绘制与编排以及文字校对工作;张政超同志撰写了 9.3、9.4 和 9.5 节;书中有一些材料参考了有关单位或个人发表的论文和书籍,在此一并深表谢意。

电子装备试验不确定性信息处理技术作为一门新型的研究方向,专著中内容尚处于研究和探索中,还有许多问题有待于进一步探索。加之作者水平有限,虽多方讨论和几经改稿,书中错误、缺点和短见之处在所难免,恳请读者和各方面专家不吝赐教。

著 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子装备试验不确定性信息处理研究需求	1
1.2 电子装备试验不确定性信息的国内外研究现状	4
1.2.1 国外研究现状	4
1.2.2 国内研究现状	5
1.3 关于不确定性信息理论	7
1.3.1 不确定性信息的概念	7
1.3.2 不确定性信息的研究进展	8
1.3.3 各种不确定性信息的定义	9
1.4 电子装备试验不确定性来源与类型	10
1.4.1 电子装备试验不确定性信息的来源	10
1.4.2 电子装备试验不确定性信息的特点	14
1.4.3 电子战系统试验与训练不确定性类型	15
1.5 电子装备试验不确定性信息处理技术体系	18
1.5.1 不确定性信息处理的数学基础知识	18
1.5.2 不确定性信息的识别问题	19
1.5.3 不确定性信息的建模问题	20
1.5.4 不确定性决策与评估建模问题	20
1.5.5 基于不确定性理论的信息融合问题	20
1.5.6 基于不确定性理论的模式识别问题	21

1.5.7 不确定性规划建模问题	21
第2章 不确定性信息处理的数学基础	22
2.1 数据不确定性的数学研究方法	22
2.1.1 概率论	22
2.1.2 模糊理论	22
2.1.3 灰色系统理论	25
2.1.4 未确知数学	26
2.1.5 盲数	26
2.1.6 其他分析方法	27
2.1.7 不同数学处理方法之间的比较	27
2.2 不确定性数据的规范化处理模型	28
2.2.1 无量纲化处理	29
2.2.2 归一化处理	29
2.2.3 等极性化处理	30
2.3 试验数据的不确定性测度度量	31
2.3.1 随机性不确定性测度	31
2.3.2 模糊性不确定性测度	31
2.3.3 灰色性不确定性测度	32
2.3.4 未确知性不确定性测度	33
2.3.5 联系度不确定性测度	33
第3章 基于不确定性信息的试验数据表达模型	35
3.1 电子装备试验数据的灰数表达	35
3.1.1 灰数、灰元与灰关系	36
3.1.2 灰数的白化函数	37
3.2 基于模糊集的试验数据表达	40

3.2.1	模糊集合的概念	40
3.2.2	基于模糊的试验数据表达模型	42
3.3	试验数据的未确知有理数表达	44
3.3.1	未确知有理数的定义与运算	44
3.3.2	基于未确知有理数的试验数据表达	46
3.3.3	未确知有理数的大小关系	48
3.4	基于联系数的试验数据表达模型	49
3.4.1	联系数表达与分析模型	49
3.4.2	电子装备试验中不确定性的联系数模型	51
第4章	电子装备试验不确定性信息识别与分析技术	56
4.1	电子装备试验数据的不确定性特征机理	56
4.1.1	电子装备试验数据的不确定性内涵	56
4.1.2	电子装备试验系统中不确定性信息 的外延	57
4.2	电子装备试验的不确定性识别与传播	58
4.2.1	电子装备试验的不确定性识别	58
4.2.2	电子装备试验的不确定性传播模型	60
4.3	面向试验数据的不确定性分析新方法	61
4.3.1	电子装备试验过程的抽象	61
4.3.2	不确定性测度合成算法	62
4.3.3	电子装备作战效能评估的不确定性分析	63
第5章	电子装备试验数据的不确定性建模	66
5.1	基于不确定性的试验数据建模问题	66
5.2	基于GM(1,1)的试验数据建模	67
5.2.1	GM(1,1)建模原理	67

5.2.2	模型精度	69
5.2.3	残差 GM(1,1) 模型	71
5.2.4	灰色 Verhulst 模型	74
5.2.5	基于灰色模型的电子装备故障预测 精度分析	76
5.3	基于双层规划的 GM(1,1) 模型优化	82
5.3.1	GM(1,1) 参数优化的双层规划模型	83
5.3.2	模型的拟合精度比较	85
5.3.3	基于灰色关联度的有效性分析	88
5.4	灰色 Verhulst 模型优化新方法及应用	89
5.4.1	基于目标规划的灰色 Verhulst 模型优化	90
5.4.2	优化模型的模拟退火算法	91
5.4.3	数据模拟算例	92
5.5	基于未确知有理数的数据建模及应用	94
5.5.1	基于未确知有理数的试验数据野值判别	94
5.5.2	基于未确知有理数的天线增益测试	96
5.5.3	基于未确知有理数的对抗可靠度模型	102
5.6	基于联系数的不确定性模型及应用	106
5.6.1	基于联系数的电子系统可靠度模型	106
5.6.2	基于联系数的电子装备的系统作战 效能分析	107
第 6 章	电子装备试验中的不确定性决策技术	110
6.1	试验中的不确定性决策问题	110
6.2	灰色关联决策模型	112
6.2.1	灰色关联决策模型	112
6.2.2	加权灰色关联决策模型	113

6.2.3	基于信息熵的指标权重算法	114
6.3	基于逼近理想灰色关联投影的决策模型	115
6.3.1	灰色关联投影决策模型	116
6.3.2	决策灵敏度分析	122
6.3.3	逼近理想灰色关联投影决策的基本步骤	123
6.3.4	决策举例与分析	124
6.4	基于集对分析的综合决策模型	127
6.4.1	基本思路和问题描述	127
6.4.2	综合决策模型	128
6.4.3	以试验阵地选择为例的决策	130
6.5	基于灰色效果测度的决策模型	133
6.5.1	灰色效果测度模型	133
6.5.2	灰色效果测度算法	135
6.5.3	电子装备试验方案优选的决策算例	137
6.6	基于模糊聚类的不确定性决策模型	138
6.6.1	基于模糊聚类的不确定决策思路	138
6.6.2	电子装备试验配试设备的模糊分类	140
6.6.3	电子装备训练中训练效果的模糊归类	145
第7章	电子装备试验中的不确定性评估技术	151
7.1	试验中的不确定性评估问题	151
7.2	模糊综合评判模型及其应用	153
7.2.1	综合评判模型	153
7.2.2	模糊综合评判模型	154
7.2.3	以某电子装备侦察效能为例的一级评判	158
7.2.4	以某电子装备系统效能为例的二级评判	161
7.3	基于灰色聚类的综合评估模型及其应用	163

7.3.1	基于灰色聚类的综合评估模型	163
7.3.2	基于灰色聚类的综合评估流程	165
7.3.3	通信系统性能的灰色聚类评估示例	165
7.4	基于粗糙集和未确知有理数的灰色关联 评估新技术	170
7.4.1	基于粗糙集的权值算法	171
7.4.2	基于未确知有理数的数据描述	172
7.4.3	电子装备作战效能的评估算例与分析	173
7.4.4	效能评估结果比较与分析	183
7.5	基于未确知测度的评估模型及其应用	185
7.5.1	几个重要概念	185
7.5.2	基于未确知测度的识别与排序模型	188
7.5.3	电子干扰系统干扰效能评估事例	188
7.6	基于联系数的评估新技术及其应用	191
7.6.1	基于联系数的评估模型	192
7.6.2	空袭目标的威胁度评估示例	193
7.7	基于灰色关联的电子装备维修水平评估与 影响因素建模	198
7.7.1	电子装备维修性水平的灰色评估模型	198
7.7.2	基于 $GM(1, N)$ 的维修水平与影响因素 建模	201

第8章 电子装备试验中基于不确定性理论的信息融合 模型..... 204

8.1	电子装备试验中的信息推理融合问题	204
8.2	D-S 推理模型及其应用	205
8.2.1	D-S 证据推理模型	205

8.2.2	基于 D-S 推理的空袭目标属性信息融合	209
8.3	基于灰色关联的信息融合模型	211
8.3.1	灰色关联融合模型	212
8.3.2	C ³ I 系统中基于灰色关联的目标属性融合模型	213
8.4	基于灰色聚类信息融合模型	215
8.4.1	灰色统计与灰色统计聚类融合模型	215
8.4.2	灰色聚类与灰色定权聚类融合模型	217
8.4.3	基于灰色聚类信息融合可靠性	222
第 9 章 电子装备试验中基于不确定理论的模式识别模型		
	模型	224
9.1	基于灰色关联的模式识别	224
9.1.1	基于灰色关联分析的装备故障识别	224
9.1.2	基于灰色关联分析的雷达信号识别模型	224
9.2	模糊模式识别模型及其应用	226
9.2.1	模糊模式识别的基本步骤	226
9.2.2	基于最大隶属度原则的识别模型	227
9.2.3	基于择近原则的识别模型	228
9.2.4	基于最大隶属度的干扰效果识别	229
9.2.5	基于择近原则的侦察效果分类	231
9.3	基于粗糙集和灰色关联的单雷达辐射源信号识别	234
9.3.1	基于粗糙集的雷达辐射源信号识别	234
9.3.2	基于粗糙集和灰色关联的单雷达辐射源识别模型	241
9.4	基于粗糙集和 D-S 证据理论的多雷达辐射源信号识别	242

9.4.1	多雷达辐射源识别模型	242
9.4.2	5 种不同型号雷达识别实例	244
9.5	基于粗糙集与灰色关联的多雷达辐射源 信号识别	245
9.5.1	基于粗糙集的多雷达辐射源信号 信息模型	245
9.5.2	传感器描述目标的悲观解和乐观解	246
9.5.3	基于灰色关联的多传感器融合方法	247
9.5.4	实例及分析	248
第 10 章	电子装备试验中单式不确定性规划模型	251
10.1	随机期望值分配模型及其应用	251
10.1.1	电子侦察装备分配问题	251
10.1.2	随机期望值规划模型	252
10.1.3	电子侦察装备的随机期望值分配模型	253
10.1.4	电子侦察装备的随机机会分配模型	262
10.2	模糊线性规划模型及其应用	264
10.2.1	模糊线性规划模型与算法	264
10.2.2	油料运输的模糊线性规划实例	267
10.3	灰色线性规划模型及其应用	270
10.3.1	灰参数与灰预测线性规划	271
10.3.2	干扰机平台的灰参数分配模型	272
10.3.3	通信电子装备分配的灰预测规划问题	273
10.4	多目标不确定性规划模型及其应用	276
10.4.1	模糊多目标规划模型与算法	276
10.4.2	干扰机平台分配的模糊多目标 规划问题	280