

电子装备试验与训练 最优化技术和方法

Optimization Technology and Method
for Electronic Equipment Test and Training



陈永光 柯宏发 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

电子装备试验与训练 最优化技术和方法

Optimization Technology and Method for
Electronic Equipment Test and Training

陈永光 柯宏发 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

电子装备试验与训练最优化技术和方法 / 陈永光,
柯宏发著. —北京:国防工业出版社, 2010. 9

ISBN 978-7-118-06951-8

I. ①电... II. ①陈...②柯... III. ①军用器材 - 电子设备 - 实验 - 最佳化②军用器材 - 电子设备 - 军事训练 - 最佳化 IV. ①TJ06②E919

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 146360 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 11% 字数 291 千字

2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 45.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

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 刘成海

副主任委员 宋家树 蔡 镭 程洪彬

秘 书 长 程洪彬

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

电子装备是信息化战争的最基本要素,信息化战争重视和强调电子装备体系之间的对抗及系统整体作战效能的发挥。“先决胜于试验场,再决胜于战场”,电子装备的试验与训练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。因此,深入研究电子装备试验与训练中各种问题的决策优化技术与方法,具有重大的军事意义。

电子装备试验与训练最优化技术是电子装备试验与训练理论和技术的的重要组成部分,其研究对象是电子装备试验与训练活动中的决策优化问题。即从决策优化角度研究电子装备试验与训练活动,不仅要有定性分析,更要有定量研究,并着重从定量方面提供可操作的决策优化理论与方法。

电子装备试验与训练最优化技术研究主要包括 3 个方面的内容:一是研究电子装备试验与训练活动中的决策优化理论与方法;二是研究电子装备试验与训练领域具体问题的数学模型及其 MATLAB、LINGO 等算法;三是对电子装备试验与训练领域具体问题给出应用研究结果或提出决策优化建议。

本书论述了电子装备试验与训练活动中常用的决策优化模型与算法,共 7 章,从结构上可以分为以下 4 个部分:

第 1 部分即第 1 章,从电子装备试验与训练的定义与概念入手,提出了电子装备试验与训练过程中最优化技术和方法的需求背景和研究内容的体系框架。

第 2 部分包括第 2 章至第 4 章,系统地研究了电子装备试验与训练中线性规划、整数规划及动态规划问题及其模型的 MATLAB、LINGO 等算法实现,是电子装备试验与训练最优化技术的重要

要组成部分。第2章以电子装备训练中的应用事例为基础,着重介绍了线性规划问题的基本理论及灵敏度分析方法,重点阐述了线性规划问题的 LPSolver、LINDO、LINGO 和 MATLAB 等计算机软件的求解实现,并列举了电子装备试验与训练中的大量应用实例。第3章介绍了整数线性规划、整数非线性规划模型及其求解算法,并对电子装备一对一、一对多、多对一作战目标分配,电子装备的地域配置,电子侦察装备时间分配等实际整数(非)线性规划问题进行了研究。第4章简要介绍了动态规划的求解方法,利用动态规划方法对电子装备的资源分配、基于备件电子装备可靠性、基于分系统的电子装备可靠性等实际问题进行了分析求解。

第3部分包括第5章和第6章,系统地研究了电子装备试验与训练中电子装备作战效能评估等多目标决策技术和对策论、排队论等决策扩展技术。第5章首先针对电子装备试验与训练中的多属性决策问题,简要介绍了决策的基本概念;然后介绍了层次分析法,并提出了一种基于逼近于理想灰关联投影的决策模型;最后重点对电子装备作战效能评估决策、试验与训练方案优选、训练模式的优选等实际问题进行了研究。第6章介绍了对策论、排队论等的数学模型与求解方法,研究了电子战战术方法的选择、雷达对抗中的对策、雷达对抗系统的作战效能分析、训练中机动路线的选择等实际问题。

第4部分即第7章,简要介绍了蚁群算法、神经网络、遗传算法等新型启发式优化算法的实现步骤和特点,对其在电子装备试验与训练中的应用方法进行了探讨。

感谢中国电子科技集团公司14所张光义院士、中国人民解放军电子工程学院凌永顺院士、国防大学胡晓峰将军在本书出版中提供的热情帮助;感谢总装备部“1153”人才工程的资助;感谢中国人民解放军63880部队干部处的大力支持和帮助;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;感谢南京航空航天大

学方志耕教授的大力支持和鼓励。赵燕撰写了6.3节和6.4节,并进行了书中所有插图的绘制与编排工作;张德欣撰写了7.4节和7.5节;刘军、李萧等提供了许多素材;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。

电子装备试验与训练的理论和方法的研究历史并不长,本书研究了其中的最优化技术和方法,针对性强,强调实际应用,但是还有许多问题有待于深入探索,加之作者水平有限,虽多方讨论、推敲和几易其稿,书中错误和短见之处在所难免,恳请读者和各方面专家不吝赐教。

作者

2010年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子装备试验与训练概述	1
1.1.1 电子装备试验	1
1.1.2 电子装备训练	4
1.2 电子装备试验与训练中的最优化技术	7
1.2.1 系统最优化技术概述	7
1.2.2 最优化技术在电子装备试验与训练中的 适应性分析	9
1.2.3 新军事变革中电子装备试验与训练最优 化技术应用	11
1.2.4 电子装备试验与训练最优化技术国内外 现状	13
1.3 电子装备试验与训练最优化技术体系	16
1.3.1 电子装备试验与训练中的数学规划	18
1.3.2 电子装备试验与训练中的决策模型与 方法	19
1.3.3 电子装备试验与训练中的现代优化算法	20
第 2 章 电子装备试验与训练中的线性规划	22
2.1 电子装备试验与训练中的线性规划问题	22

2.2	电子装备配置的线性规划模型	23
2.2.1	电子装备配置模型的建立	23
2.2.2	电子装备配置线性规划模型的特征	25
2.2.3	线性规划模型的标准型	26
2.3	电子装备配置线性规划模型的解法	29
2.3.1	图解法	29
2.3.2	枚举法	29
2.3.3	单纯形法	29
2.3.4	软件求解	29
2.4	电子装备配置模型的灵敏度分析	39
2.4.1	目标函数系数变化	40
2.4.2	右边系数变化	45
2.4.3	多系数同步变化	48
2.5	电子装备试验与训练中的线性规划应用	51
2.5.1	武器平台的武器分配问题	51
2.5.2	电子装备至武器平台的灰参数分配	53
2.5.3	干扰机分配的灰预测规划	54
2.5.4	油料运输问题	58
2.5.5	油料运输的模糊线性规划	61
2.5.6	资源规划问题	62
2.5.7	资源分配问题	65
2.6	多目标规划及其应用	67
2.6.1	多目标规划模型	67
2.6.2	多目标规划模型的求解与实现	68
2.6.3	电子装备分配的多目标规划问题	72
2.6.4	电子装备分配的模糊多目标规划	75
2.6.5	无人干扰机的灰色多目标规划问题	80

第3章 电子装备试验与训练中的整数(非)线性规划	83
3.1 电子装备试验与训练中的整数规划问题	83
3.2 整数线性规划	84
3.2.1 整数线性规划模型	84
3.2.2 整数线性规划的分枝定界法	85
3.2.3 整数线性规划的割平面法	86
3.2.4 整数线性规划的 LINGO 求解	86
3.3 0-1 规划	87
3.3.1 0-1 规划模型	87
3.3.2 0-1 规划的 LINGO 求解程序	88
3.3.3 指派(分配)问题模型	89
3.3.4 指派问题的 LINGO 求解程序	90
3.4 试验与训练中整数线性规划应用实例	91
3.4.1 电子装备一对一作战目标分配的 0-1 规划模型	91
3.4.2 电子装备一对多作战目标分配模型	100
3.4.3 电子装备多对一作战目标分配模型	101
3.4.4 电子装备地域配置的整数规划	103
3.4.5 机载电子装备合理配置的整数规划	105
3.4.6 装备资源规划问题	106
3.4.7 训练计划规划问题	107
3.4.8 兵力展开问题	108
3.5 整数非线性规划	109
3.5.1 整数非线性规划的一般模型	109
3.5.2 非线性规划的 LINDO 求解程序	110
3.6 试验与训练中整数非线性规划应用实例	111

3.6.1	电子装备可靠性的非线性规划	111
3.6.2	电子侦察装备地域分配的非线性规划	113
3.6.3	电子侦察装备时间分配的非线性规划	116
3.6.4	电子干扰系统目标分配的非线性规划	118
3.6.5	电子装备选择的非线性规划	123
第4章	电子装备试验与训练中的动态规划	125
4.1	电子装备试验与训练中的动态规划问题	125
4.2	动态规划的求解方法	126
4.2.1	动态规划的逆序解法	127
4.2.2	动态规划的顺序解法	128
4.3	电子装备试验与训练中的动态规划应用	129
4.3.1	电子装备的资源分配问题	129
4.3.2	电子装备配置问题	135
4.3.3	电子装备装机问题	138
4.3.4	电子装备工作状态选择问题	144
4.3.5	基于备件的电子装备可靠性问题	147
4.3.6	基于分系统的电子装备可靠性问题	149
第5章	电子装备试验与训练中的决策分析	152
5.1	决策问题研究	152
5.1.1	决策问题的数学描述与分类	152
5.1.2	试验与训练中的决策问题	155
5.1.3	多属性决策	157
5.2	层次分析法	160
5.2.1	层次分析法的思路与步骤	161
5.2.2	层次分析法的计算方法	166

5.2.3	电子干扰系统干扰效能的 AHP 综合排名	168
5.3	基于逼近理想灰关联投影的决策模型	171
5.3.1	逼近理想灰关联投影算法原理	172
5.3.2	决策灵敏度分析	178
5.3.3	逼近理想灰关联投影决策的基本步骤	179
5.3.4	决策评估举例与分析	180
5.4	电子装备作战效能评估决策模型	183
5.4.1	关于作战效能评估	183
5.4.2	电子装备作战效能评估途径	186
5.4.3	电子装备作战效能的灰关联投影评估	187
5.4.4	基于综合评估测度的电子装备效能评估	190
5.5	电子装备试验与训练中其他决策问题	195
5.5.1	电子装备试验与训练方案的优化问题	195
5.5.2	试验阵地的选择问题	201
5.5.3	配试设备的选择问题	204
5.5.4	试验配试目标的威胁水平评估模型	205
5.5.5	电子装备训练模式的优选	214
第 6 章	电子装备试验与训练中的决策分析扩展	217
6.1	电子装备试验与训练中的对策论问题	217
6.1.1	矩阵对策的数学模型	217
6.1.2	矩阵对策模型的求解算法	220
6.1.3	电子战干扰系统类型的选择问题	223
6.1.4	电子战战术方法的选择问题	226
6.1.5	电子战战术的假目标设置问题	227
6.1.6	雷达对抗中的对策问题	229

6.1.7	通信对抗中的对策问题	232
6.1.8	指挥决策中的对策选择	235
6.2	电子装备试验与训练中排队问题	236
6.2.1	基本概念与模型	236
6.2.2	电子装备的目标干扰能力分析	238
6.2.3	电子装备的装备维修问题	240
6.2.4	指控系统的通信保障能力分析	242
6.2.5	电子装备的配置规模分析	245
6.2.6	单部雷达干扰机的作战效能分析	247
6.2.7	雷达对抗系统的作战效能分析	248
6.3	电子装备试验与训练中统筹图的拟制与优化	250
6.3.1	电子装备架设时间试验的统筹法	250
6.3.2	电子装备机动转移的统筹图	257
6.3.3	电子装备的资源均衡	259
6.3.4	电子装备干扰与侦察的次序优化	262
6.4	电子装备试验与训练中的图与网络分析技术	265
6.4.1	指挥控制网络的最小支撑树	266
6.4.2	情报信息传输的最短路网络设计	267
6.4.3	电子装备机动转移路线的选择问题	270
6.4.4	通信网络的连通性能分析	275
第7章	现代优化算法在电子装备试验与训练中的应用	284
7.1	引言	284
7.2	遗传算法在电子装备试验与训练中的应用	285
7.2.1	干扰目标分配的遗传算法	285
7.2.2	基于遗传算法的电子装备二维资源 分配	289

7.2.3 基于遗传算法的电子装备多目标分配 模型求解	292
7.3 模拟退火算法在电子装备试验与训练中的应用 ...	294
7.3.1 电子装备备件数的模拟退火求解算法	294
7.3.2 基于模拟退火算法的电子装备性能聚类 ...	296
7.4 蚁群算法在电子装备试验与训练中的应用	300
7.4.1 基于蚁群算法的干扰目标分配	300
7.4.2 基于蚁群算法的电子装备性能聚类	303
7.4.3 基于蚁群算法的电子装备多目标分配	306
7.5 神经网络方法在电子装备试验与训练中的应用 ...	308
7.5.1 电子装备作战效能的 BP 神经网络评估 ...	308
7.5.2 电子对抗态势评估的神经网络方法	315
7.5.3 干扰目标分配的 Hopfield 神经网络算法 ...	317
7.6 混合智能算法在电子装备试验与训练中的应用 ...	321
7.6.1 基于遗传神经网络算法的干扰目标分配 ...	321
7.6.2 基于遗传模拟退火算法的电子装备性能 聚类	323
图表索引	325
缩略语	331
参考文献	334

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Outline of Electronic Equipment Test and Training	1
1.1.1 Electronic Equipment Test	1
1.1.2 Electronic Equipment Training	4
1.2 Optimization Technology for Electronic Equipment Test and Training	7
1.2.1 Outline of Optimization Technology	7
1.2.2 Adaptability Analysis of Optimization Technology for Electronic Equipment Test and Training	9
1.2.3 Application of Optimization Technology for Electronic Equipment Test and Training in the New Military Transformation	11
1.2.4 History and Status of Optimization Technology for Electronic Equipment Test and Training	13
1.3 Optimization Technology System for Electronic Equipment Test and Training	16
1.3.1 Mathematical Programming for Electronic Equipment Test and Training	18
1.3.2 Decision-making Models and Methods for	