

自动目标识别效果 评估技术

Performance Evaluation Technology for
Automatic Target Recognition

庄钊文 黎湘 李彦鹏 王宏强 著



國防工業出版社
National Defense Industry Press

图书在版编目(CIP)数据

自动目标识别效果评估技术 / 庄钊文等著. —北京:
国防工业出版社, 2006. 10

ISBN 7-118-04603-5

I. 自... II. 庄... III. 自动识别—效果—评价
IV. TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 097968 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)

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 8 $\frac{7}{8}$ 字数 227 千字

2006 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 32.00 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



庄钊文

1958年6月出生，福建南安人。博士，教授，博士生导师。“973”国家安全重大基础研究项目“*****新机理新方法研究”技术首席。1994年入选国家教委“跨世纪优秀人才培养计划”，1996年入选国家“百千万人才工程”第一、二层次培养对象。自1982年以来，主要从事雷达、精确制导等电子系统中的实时信号(信息)处理与自动目标识别的教学和科研工作，在实时信号处理、雷达目标自动识别等方面提出了多个新概念、新理论和新方法，并应用于工程实用化研究中。已完成20余项武器装备和国防科技预研重大科研项目，取得了一系列成果，获国家科技进步二等奖4项，全军及部委级科技进步一等奖8项、二等奖5项，多项成果直接应用于武器装备系统中，为我军武器装备建设和国防科技发展做出了重要贡献。发表论文120余篇，出版专著、教材9部(含合著)，其中《模糊模式识别》获第七届中国图书奖，《电磁特征抽取与目标识别》获1995-1996年度中南地区大学出版社优秀专著一等奖。已培养博士21人、硕士40余人，其中1人获2001年度全国百篇优秀博士论文奖，2次获湖南省优秀博士论文奖。



黎湘

1967年9月出生，湖南长沙人。博士，教授，博士生导师。“973”国家安全重大基础研究项目“*****机理研究”技术首席。组织和承担了多项“973”国家安全重大基础研究项目、国防预研项目、国家自然科学基金项目、武器装备演示验证项目、“863”国家高技术研究项目等的研究工作，在自动目标识别、精确制导等国防高技术研究领域取得了一批重要的研究与应用成果。获国家科技进步二等奖2项；获全军及部委级科技进步一等奖3项，二、三等奖各1项；发表学术论文60余篇，20余篇进入SCI、EI等国际检索。



李彦鹏

1972年11月出生，河北饶阳人。博士，讲师。参与多项“973”国家安全重大基础研究项目、国防预研项目、国家自然科学基金项目、武器装备演示验证项目等的研究工作，获军队科技进步二等奖1项。发表论文30篇。



王宏强

1970年6月出生，陕西凤翔人。博士，副教授，硕士生导师。承担和参与了多项“973”国家安全重大基础研究项目、国防预研项目、国家自然科学基金项目、武器装备演示验证项目、“863”国家高技术研究项目等的研究工作，取得了一批研究与应用成果，获国家科技进步奖二等奖1项，获军队科技进步奖一等奖、军队科技进步奖二等奖、军队科技进步奖三等奖各2项。参与编写学术专著2本，发表学术论文20余篇。

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 第五届评审委员会组成人员

主 任 委 员	刘成海			
副 主 任 委 员	王 峰	张涵信	程洪彬	
秘 书 长	程洪彬			
副 秘 书 长	彭华良	蔡 锺		
委 员	于景元	王小谟	甘茂治	刘世参
(按姓名笔画排序)	杨星豪	李德毅	吴有生	何新贵
	佟玉民	宋家树	张立同	张鸿元
	陈冀胜	周一宇	赵凤起	侯正明
	常显奇	崔尔杰	韩祖南	傅惠民
	舒长胜			

前 言

近年来,随着以目标识别系统为核心技术的高技术武器的出现,战场范围已扩大到陆、海、空、天、电磁五维空间。目标识别及其相关领域在现代战争中占据了举足轻重的地位。许多发达国家竞相在目标识别研究中投入大量的人力、物力,以提高己方进攻武器适应复杂的作战背景,迅速判断、识别、跟踪被打击目标的能力,增强己方防御武器在复杂情况下的识别能力。

为了提高在这一领域中的优势,对目标识别系统的效果评估至关重要,它可以找出系统的优点与不足,合理配置现有装备,为进一步的研究和完善指明方向,从而节约武器系统研发费用,少走弯路。

然而,目标识别系统所处外界条件的时变性、系统本身的复杂性、待识别目标种类的开放性使得目标识别系统效果评估的研究非常困难,进展程度远远落后于客观需求,效果评估成为目标识别领域最迫切需要解决的关键问题。

针对所研究的问题,书中通过缜密推导建立了适当的数学模型,力求以数学方式和数学语言描述事物,其核心目的在于对目标识别系统识别效果各种特性尽可能客观地反映和刻画。

全书主体内容由三个模块构成:对识别效果评估问题的提出、分析;构建理论体系、寻找识别效果评估实用化技术;仿真实验和评估工作指导。它们之间是递进关系。构建理论体系、寻找实用化技术又包括了选择刻画识别条件的参照信息、建立效果评估指标体系、构筑评估模型几个内容,它们之间也是串行关系。几种不同类型评估模型之间是并列关系,读者可以选择感兴趣的模型阅读。

本书第1章~第3章由庄钊文、黎湘撰写;第4章~第6章、第8章、第9章由李彦鹏撰写;第7章、第10章由王宏强撰写;全书由庄钊文统稿。

本书主要面向国防科技和武器装备研究人员、项目管理人员,亦可作为相关专业研究生教材,以及作为使用和维护目标识别系统技术人员的参考书。全书行文力求深入浅出,既照顾有深厚基础和丰富经验的专家学者,又兼顾全面,使更多的研究者能够掌握书中内容。

在作者从事本书内容研究的过程中,一直得到中国工程院院士郭桂蓉教授的关心和指导,中国工程院院士毛二可教授、航天科工集团袁起研究员审阅了书稿,谨此致谢。作者感谢国防科技图书出版基金的资助,感谢周一宇教授、郑廷编审、唐应恒编审在本书编辑出版过程中提供的热情帮助。感谢国家杰出青年基金、国家安全重大基础研究项目对本书研究工作的支持。作者曾就本书某些问题与华中理工大学于寅教授和国防科技大学李永乐副教授进行了交流,在此表示感谢。

由于水平所限,加之当前国内外对目标识别系统识别效果评估研究正在不断发展之中,虽经多次推敲与修改,书中仍会有错误和不妥之处,衷心希望读者批评指正。同时,鉴于所研究的问题正在引起广泛的重视和研究兴趣,热诚欢迎读者就这一研究方向进行深入交流。

庄钊文

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 自动目标识别技术	1
1.2 自动目标识别的效果评估	13
1.3 自动目标识别效果评估的发展及现状	16
第 2 章 自动目标识别效果评估的体系结构	22
2.1 自动目标识别效果评估的核心任务	22
2.2 自动目标识别效果评估的理性要求	28
2.3 自动目标识别效果评估的体系结构	39
第 3 章 参照信息	44
3.1 参照信息的含义及其选取原则	44
3.2 基于信号分析的参照信息	45
3.3 基于目标类别可分性的参照信息	53
3.4 参照信息的定标	58
第 4 章 识别效果评估指标	60
4.1 识别率测试结果	60
4.2 识别效果评估指标的选取	70
4.3 评估指标的计算方法	74
4.4 样本容量	83
第 5 章 基于模糊综合评判的自动目标识别效果评估模型	90
5.1 引言	90
5.2 基于经典模糊综合评判的自动目标识别效果评估模型	99
5.3 基于多级模糊综合评判的自动目标识别效果评估模型	109

5.4	基于变权模糊综合评判的自动目标识别效果评估模型.....	114
5.5	目标重要程度不同时的自动目标识别效果评估模型.....	120
5.6	综合评判因素权重的自学习	123
第6章	基于 Sugeno 模糊积分的自动目标识别效果评估模型	132
6.1	引言.....	132
6.2	Sugeno 模糊积分法用于自动目标识别效果评估的细化模型	136
6.3	多重模糊积分用于自动目标识别效果评估的模型.....	138
6.4	修正的多重模糊积分及其用于自动目标识别效果评估的模型	143
6.5	目标重要程度不同时的自动目标识别效果评估模型.....	151
6.6	Sugeno 模糊积分因素权重的自学习	152
第7章	基于模糊聚类的自动目标识别效果评估模型	155
7.1	引言.....	155
7.2	模糊聚类分析用于自动目标识别效果评估的细化模型.....	158
7.3	基于摄动的模糊聚类方法在自动目标识别效果评估中的应用	165
7.4	灰色模糊聚类分析方法在自动目标识别效果评估中的应用	168
7.5	动态聚类分析方法在自动目标识别效果评估中的应用.....	171
7.6	聚类分析方法用于自动目标识别效果评估的自学习问题	176
第8章	基于测度论的自动目标识别效果评估模型.....	179

8.1	引言	179
8.2	识别结果衍生出的一些变量	182
8.3	基于测度论的自动目标识别效果评估的约束 条件	186
8.4	基于测度论的自动目标识别效果评估模型	189
第9章	基于李雅普诺夫稳定性理论的自动目标识别效果 评估模型	194
9.1	引言	194
9.2	自动目标识别系统识别效果的动态模型	197
9.3	自动目标识别系统识别效果动态平衡的约束 条件	200
9.4	基于李雅普诺夫稳定性理论的自动目标识别效果 评估模型	201
第10章	自动目标识别效果评估实例	216
10.1	自动目标识别效果评估模型的选取原则	216
10.2	自动目标识别效果评估的工作流程	217
10.3	效果评估实例中的基本设置	222
10.4	目标姿态变化情况下的识别效果评估	223
10.5	目标运动情况下的识别效果评估	240
参考文献		259

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Automatic Target Recognition Technology	1
1.2 Performance Evaluation for Automatic Target Recognition	13
1.3 The History and Status of Automatic Target Recognition Performance Evaluation	16
Chapter 2 The Architecture of Automatic Target Recognition Performance Evaluation	22
2.1 The Key Task of Automatic Target Recognition Performance Evaluation	22
2.2 The Rational Demand of Automatic Target Recognition Performance Evaluation	28
2.3 The Architecture of Automatic Target Recognition Performance Evaluation	39
Chapter 3 Reference Information	44
3.1 The Meanings of Reference Information and Selection Principle	44
3.2 Reference Information Based on Signal Analyzing	45
3.3 Reference Information Based on Targets' Divisibility	53
3.4 Calibration of the Reference Information	58
Chapter 4 Performance Evaluation Index	60
4.1 Measurement of Recognition Rate	60
4.2 Selection of Performance Evaluation Index	70
4.3 Calculation Method of Performance Evaluation Index	74

4.4	Sample Size	83
Chapter 5	Performance Evaluation Model Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation	90
5.1	Introduction	90
5.2	Performance Evaluation Model Based on Classic Fuzzy Comprehensive Evaluation	99
5.3	Performance Evaluation Model Based on Multi-Layer Fuzzy Comprehensive Evaluation	109
5.4	Performance Evaluation Model Based on Weight-Variation Fuzzy Comprehensive Evaluation	114
5.5	Performance Evaluation Model for Targets with Different Importance	120
5.6	Weight Self-learning in Performance Evaluation Model	123
Chapter 6	Performance Evaluation Model Based on Fuzzy Integration	132
6.1	Introduction	132
6.2	Refined Performance Evaluation Model Based on Sugeno Integration	136
6.3	Multi-Layer Performance Evaluation Model Based on Sugeno Integration	138
6.4	Modified Multi-Layer Fuzzy Integration and Its Application in Performance Evaluation Model	143
6.5	Performance Evaluation Model for Targets with Different Importance	151
6.6	Weight Self-learning in Sugeno Performance Evaluation Model	152
Chapter 7	Performance Evaluation Model Based on Fuzzy Cluster Analysis	155
7.1	Introduction	155

7.2	Refined Performance Evaluation Model Based on Fuzzy Cluster Analysis	158
7.3	The Application of Perturbation Fuzzy Cluster Analysis in Performance Evaluation Model	165
7.4	The Application of Grey Fuzzy Cluster Analysis in Performance Evaluation Model	168
7.5	The Application of Dynamic Fuzzy Cluster Analysis in Performance Evaluation Model	171
7.6	Weight Self-learning in Performance Evaluation Model Based on Fuzzy Cluster Analysis	176
Chapter 8	Performance Evaluation Model Based on Measure Theory	179
8.1	Introduction	179
8.2	Derivate Variable From Recognition Result	182
8.3	Bound Condition for Performance Evaluation Model Based on Measure Theory	186
8.4	Performance Evaluation Model Based on Measure Theory	189
Chapter 9	Performance Evaluation Model Based on Liapunov Stability Theory	194
9.1	Introduction	194
9.2	Dynamical Model for Recognition Result of ATR System	197
9.3	Bound Condition of Recognition Result Dynamic Balance of ATR System	200
9.4	Performance Evaluation Model Based on Liapunov Stability Theory	201
Chapter10	Example of ATR Performance Evaluation	216
10.1	Selection Principle of ATR Performance Evaluation Model	216

10. 2	Workflow of ATR Performance Evaluation	217
10. 3	Fundamental Set of Performance Evaluation	
	Example	222
10. 4	ATR Performance Evaluation While Target 's Pose	
	Changing	223
10. 5	ATR Performance Evaluation While Target Moving	240
References		259

第1章 绪论

自从 20 世纪中叶雷达首次用于自动目标识别(Automatic Target Recognition, ATR)以来,经过数十年的发展,自动目标识别已经成为朝气蓬勃的研究领域,从利用的信息看,包括雷达目标识别、红外目标识别、可见光领域的自动目标识别等;从采用的技术途径来看,有最优化理论、非线性理论、模糊理论、神经网络和人工智能、数据融合理论等。直到今天,自动目标识别横跨了多个学科,吸收了最先进的技术和最新的理论成果。

以自动目标识别为核心技术的现代化武器系统在高科技战争中的地位和作用越来越重要。尽管如此,自动目标识别系统也面临着日益严峻的考验,这包括自然条件的变化和人为的电子对抗措施。因此,在日益复杂的作战环境下,提高自动目标识别系统的工作效能成为一个很突出的问题,这将有赖于客观、准确的识别效果评估技术。随着越来越多的自动目标识别算法的提出和自动目标识别系统的研制,对自动目标识别系统效果评估的需求日益迫切,有效的效果评估有助于节约研发费用、缩短开发周期、提升产品性能、合理配置现有装备。

本书阐述的核心内容是对自动目标识别系统的识别效果评估,讲述过程主要结合雷达自动目标识别展开,并且,识别系统的雷达均是单站工作情况,后面不再特地指明。

1.1 自动目标识别技术

纵观自动目标识别发展的历史,可以看出,人们所关心的重