



装备科技译著出版基金



高新科技译丛

雷达技术系列



科工精译

目标跟踪、分类与 传感器管理理论及应用

Integrated Tracking, Classification and Sensor
Management: Theory and Applications

【美】Mahendra Mallick

【加】Vikram Krishnamurthy

【澳】Ba-Ngu Vo

编著

乔向东 梁彦 杨峰 徐林峰

译

张群 吴耀光

审校

译著特色

一部将C4ISR系统中目标跟踪、分类及传感器管理三个不同问题作为整体予以专门论述的著作，汇集了三十三位国际知名专家的最新研究成果，从滤波、多传感器多目标跟踪、传感器管理、估计和分类、决策融合和决策支持五个方面对新方法、新技术和新应用予以系统阐述。



国防工业出版社
National Defense Industry Press

WILEY



装备科技译著出版基金

目标跟踪、分类与传感器管理理论及应用

**Integrated Tracking, Classification and Sensor
Management: Theory and Applications**

[美] 马亨德拉·马利克 (Mahendra Mallick)

[加] 维克拉姆·克里希纳穆尔蒂 (Vikram Krishnamurthy) 编著

[澳] 武伯御 (Ba-Ngu Vo)

乔向东 梁彦 杨峰 徐林峰

张群 吴耀光

译

审校



国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字：军-2013-201 号

图书在版编目（CIP）数据

目标跟踪、分类与传感器管理理论及应用/（美）马亨德拉·马利克（Mahendra Mallick），（加）维克拉姆·克里希纳穆尔蒂（Vikram Krishnamurthy），（澳）武伯御（Ba-Ngu Vo）编著；乔向东等译.

—北京：国防工业出版社，2017.4

（高新科技译丛）

书名原文 Integrated Tracking, Classification and Sensor Management: Theory and Applications

ISBN 978-7-118-11002-9

I. ①目… II. ①马… ②维… ③武… ④乔… III. ①传感器—目标跟踪 ②传感器—数据融合
IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 053395 号

This translation published under John Wiley & Sons.

No part of this book may be reproduced in any form without written permission of the original copyrights holder.

Integrated Tracking, classification and Sensor Management: Theory and Applications

ISBN: 978-0-410-63905-4

Copyright©2013 by John Wiley & Sons, Inc:copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

All rights reserved.

本书简体中文版由 John Wiley & Sons, Inc.授权国防工业出版社独家出版发行。

版权所有，侵权必究。

※
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）
北京京华虎彩印刷有限公司印刷
新华书店经售

*
开本 710×1000 1/16 印张 35 字数 839 千字
2017 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1200 册 定价 148.00 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

译者序

多目标跟踪、目标分类、传感器管理与资源调度分别是多传感器信息融合的重要研究方向。

多目标跟踪是利用传感器所获得的量测对多个目标进行持续和精确(或优化)的估计和预测,而且是信息融合研究中历史最为悠久、研究最为活跃、发展最为迅速的领域。各类线性、非线性滤波方法是多目标跟踪的理论基础,近年来有关粒子滤波和基于随机有限集的滤波方法的研究成果为多目标跟踪技术的持续发展提供了理论支撑,也进一步拓展了其应用领域。

为了保持或改善系统的目标探测、跟踪性能,通过对传感器进行在线管理、科学调度传感器资源,例如对用于机动目标监视的无人侦察机的飞行路线进行实时规划和用于水下目标跟踪中的声纳浮标拖曳进行实时配置等,以实现融合系统的适时优化,是一种可取的做法。利用性能预测测度作为传感器管理的基础依据已经成为普遍认知。特别地,近年来针对分层式和分散式融合跟踪中的传感器网络资源管理、调度已经成为新的研究热点。

目标类别辨识是目标身份识别的主要构成和依据,其结果直接影响有关环境态势的判断。在关于多传感器目标类别辨识融合的理论研究中,各种不确定性推理方法和基于贝叶斯网络的推理方法始终是研究的热点,尽管研究人员在过往几十年中提出了数种贝叶斯网络的推理算法,但也还存在一些问题有待解决,例如基于贝叶斯网络的目标辨识性能评估以及混杂型贝叶斯网络的精确推理。

本书的英文原版书由信息融合领域国际著名专家 Mahendra Mallick、Vikram Krishnamurthy 及 Ba-Ngu Vo 共同编撰,由 IEEE 出版社和 Wiley 出版社于 2013 年出版。全书汇集了 30 余名领域知名学者在目标跟踪、目标类别辨识,以及传感器管理方向(但不限于这 3 个方向)的最新研究成果,力求通过清晰的理论阐述和实际应用示例全面展示近 10 年的相关研究动态,这在以前是不多见的。

本书由五篇共 17 章组成。第一篇滤波技术,涵盖第 1~4 章;第二篇多传感器多目标跟踪,由第 5~10 章组成;第三篇传感器管理与控制,包括第 11、12 章;第四篇估计与分类,由第 13~15 章组成;第 16、17 章构成了第五篇决策融合与决策支持。其中,前言、第 1、7、9、10、14、15、16 章由空军工程大学乔向东副教授翻译,第 2、4、5、8、13 章由西北工业大学梁彦教授翻译,第 3、6、11、15、17 章由西北工业大学杨峰副教授翻译,第 12 章由西北工业大学徐林峰讲师翻译。空军工程大学张群教授、吴耀光教授审校了全书。

本书具有较高的学术水平,对于多传感器信息融合理论研究人员及工程技术人员具有较高

参考价值,也可作为高校相关专业研究生的专业辅导书籍。

译者感谢空军工程大学信息与导航学院、西北工业大学自动化学院对本书翻译、出版工作给予的大力支持。此外,空军工程大学硕士刘通、尚福特,以及西北工业大学的博士杨衍婷、郭振、焦连猛、王晓华及硕士张伟芳、陈昊、刘柯利、张婉莹、苏亚哲、詹文超参与了本书的部分文字录入工作,译者在此一并向他们表示感谢。

衷心感谢装备科技译著出版基金对本书的翻译、出版工作的资助。

尽管译者做出了最大努力,但由于该书内容繁多,加之译者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正

译者

2017年2月于西安

西北工业大学 空军工程大学

前言

出版这样一本书的想法最早始于 2007 年在中国西安召开的信息融合研讨会中所进行的一系列学术交流,此后各类会议研讨以及与全球各地研究人员的电话交流让这一想法更加强烈。这些交流聚焦于对跟踪及传感器管理日渐增长的关注,也聚焦于研究生、科研和工程技术人员对了解和掌握新技术的渴望。

20 世纪 60 年代,雷达、声纳、制导、导航、空中交通管制及空间探索的航空、航天应用推动了多目标跟踪和传感器管理技术的研究。此后,有关研究进一步拓展到多个不同学科,在图像处理、海洋学、自动驾驶车辆、机器人、遥感、生物医学研究和空间碎片跟踪等不同领域蓬勃发展。近来,多目标跟踪技术、传感及计算技术的研究进展开启了安全驾驶、交通监控、国土安全,以及公共设施监控等前景广阔的应用领域。

一方面,10 年来学科关注度随着一批重要进展而快速增长;另一方面,有关标志性进展的全面而易于获取的记述凤毛麟角。本书侧重于通过说明式的写作手法、清晰的理论阐述,以及实际应用来全面展示近 10 年该领域的技术发展动态。本书内容按标题被划分为五篇,即滤波技术、多传感器多目标跟踪、传感器管理与控制、估计与分类、决策融合与决策支持。书中各章均由相应研究方向的国际知名专家撰写。通过简洁详实的描述,如算法伪代码,让读者方便实现各类最新算法,从而使更多领域读者理解丰富的算法和技术。

第 1 章针对纯角三维滤波问题,提出了基于方位和俯仰量测的 3 类滤波算法。这 3 类算法所采用的目标动态模型分别是相对笛卡儿坐标系下的近匀速模型、修正球坐标系下的离散时间动态模型和连续时间动态模型,并分别给出了对应的扩展卡尔曼滤波器、无迹卡尔曼滤波器和粒子滤波器,其中修正球坐标系连续时间动态模型的无迹卡尔曼滤波器和粒子滤波器代表了全新的算法。最后,通过蒙特卡罗仿真对各算法的滤波精度及其计算复杂度进行了比对和评估。

第 2 章介绍了由序贯蒙特卡罗方法和区间分析方法相结合得出的新方法:盒粒子滤波,提出了基于具有盒支撑的均匀概率密度函数混合模型,给出了算法理论推导。基于仿真和真实数据的实验表明,针对某些问题,盒粒子滤波优于传统粒子滤波。

第 3 章给出了面向多目标跟踪的随机有限集滤波技术。本章归为滤波篇是由于随机有限集方法从根本上将多目标跟踪问题视为有限子集或简单有限点过程模式下的贝叶斯滤波问题。本章还讨论了面向多目标跟踪的、满足数学一致性的误差测度,列出了多目标状态随机有限集表征的有关争议,详细给出了基于随机有限集的滤波算法,包括概率假设滤波 (PHD)、势化概率假设滤波 (CPHD),以及多目标多伯努利 (Multi-Bernoulli) 滤波。

交互多模型滤波器有良好的理论基础,目前广泛应用于机动目标跟踪。现在几乎所有的交互多模型滤波器均是离散时间滤波算法,但是很少有人知道原始交互多模型滤波器本是为连续时间滤波而设计的,其后才有了离散时间交互多模型滤波器。第 4 章给出了马尔可夫跳变系统连续时间非线性滤波算法的详细数学推导,包括连续时间交互多模型滤波器、离散时间交互多模型滤波器及其粒子滤波实现方法。

相较其他跟踪算法,面向航迹的多假设跟踪(MHT)算法被认为是迄今最先进的多传感器多目标跟踪算法之一。本书第5章给出了面向航迹的MHT方程的混合状态推导,该推导与Kurien^[1]的原始处理密切相关,但做了一些小的修改。对于PHD滤波中所固有的目标消亡问题,研究表明在面向航迹的MHT算法中不存在该问题。多个示例展示了MHT算法的优点。为了确保内容自成体系,本章起始部分引用大量参考文献对滤波和跟踪算法进行全面系统的综述。

第6章论述了通过提升跟踪性能来改善机载对地监视的各种策略和方法,包括特殊的传感器建模、利用信号强度量测的增强型数据关联、数字道路地图开发、群目标的检测和跟踪技术等。较之于传统方法,所提算法表现出更好的跟踪精度和航迹连续性。

第7章回顾了均方误差跟踪器性能界计算方法研究的新进展,并以实例演示了如何将该性能界作为传感器在线管理的基础依据。重点回顾了后验Cramér-Rao(PCRLB)下限,给出了现实复杂环境下计算上更加有效的PCRLB计算方法。有关被动声纳浮标布设和无人机路径规划的实例研究表明,PCRLB提供了传感器管理的一种有效机制,有助实现对逃逸目标的精确跟踪。

第8章回顾了检测前跟踪(TBD)问题,即当量测是一个强度图时的跟踪。本章给出了解决该问题的不同方法,并在一个简单场景下对这些方法的性能进行对比研究。最后,通过红外成像和微波雷达的数据融合示例说明,相对检测后跟踪,检测前跟踪算法能够改善灵敏度。

一方面,集中式检测和估计公认优于分布式方法;另一方面,当存在数据源不确定性时,情况并非总是如此。事实上,所有已知的多目标跟踪方法均是次优的。由此,审慎合理的多级处理方式可能优于单级处理。在某种意义上,人们是在次优分布式和次优集中式两者之间进行选择。为此,第9章确认了多级融合架构更优的多个场景。

第10章回顾了旨在推理目标意图的元级别跟踪算法。元级别跟踪算法与现有目标跟踪算法完全兼容,并成为传感器-人接口。采用随机且前后无关的语法捕获目标的复杂空间轨迹,其后借助贝叶斯信号处理算法实现目标轨迹估计。

第11章论述了面向雷达资源管理的随机控制方法。由于需要基于跟踪器的估计结果做出决策,雷达资源管理本质上是一个部分能测的随机控制问题。除非利用底层架构,否则问题通常很棘手。本章展示了如何利用超模态分析和格子规划方法描述雷达资源最优调度策略的框架。

第12章解决了多传感器资源管理及其多目标跟踪应用问题,特别详细讨论了传感器选择、传感器部署和性能评估等问题。本章的特殊贡献在于推导了量化评估多目标跟踪可得估计精度的后验Cramér-Rao下限,该下限通常被作为传感器管理的关键测度。

第13章针对面向目标分类的广义混杂贝叶斯网络有效推理问题,提出了一种贝叶斯网络的概率推理框架,该框架利用了连续和离散两类变量,且两类变量之间的函数关系可以是非线性的。这类模型在目标分类应用中较为普遍,离散变量表征在给定由离散连续混合变量表示的有噪声观测下的待评估实体类别或态势假设。

第14章针对基于贝叶斯网络建模的多传感器分类系统提出了长期性能量化的一种全新解析方法,该方法已被应用于涉及多类传感器的实际目标跟踪与分类系统的融合性能评估。这一研究展示了采用离线评估技术估计边界性能增益和传感器观测模式选择的过程,其中利用了推导所得的度量和测度。

针对点状辐射源和分布放射源的检测、估计和搜索问题,第15章提出了一种基于贝叶斯估计的方法,有关分布的后验密度估计可由回归修正与蒙特卡罗近似或线性化方法的组合近似

获得。

第 16 章讨论了多传感器系统分布式检测与判决融合的若干关键问题。当局部节点的传感器性能指标已知时, 基于贝叶斯或 Neyman-Pearson 标准, 提出了并行和串行网络结构下融合中心的最优判决融合规则以及最优局部判决规则。针对局部节点传感器不一样且性能指标未知的情形, 提出了计数规则以及算法精确和近似的性能分析。对于更具挑战性的、量测误差相关情形下的分布式检测问题, 给出了基于 Copula 理论的判决融合框架, 研究表明这一算法框架非常适用于非高斯分布、非线性相关的传感器量测。

为确保即便存在不确定性时, 决策过程仍能以可靠、及时和一致的方式进行, 第 17 章提出了一种基于知识的自动信息融合处理算法。该算法利用知识表示估值代数框架和不确定性推理, 以及执行估值代数的局部计算方法。这些方法专用于信任函数理论。本章最后讨论了两类实际例子, 即面向目标识别的决策支持系统和面向态势评估的决策支持系统。

参考文献

1. T. Kurien, Issues in the design of practical multitarget tracking algorithms, in: Y. Bar-Shalom (Ed.), *Multitarget-Multisensor Tracking: Advanced Applications*, ArtechHouse, Norwood, MA, USA, 1990, Chapter 3.

目 录

第一篇 滤波技术

第 1 章 三维纯角滤波	1
1.1 引言	1
1.2 问题描述	3
1.3 跟踪器和传感器的坐标系	3
1.4 目标和观测平台状态的坐标系	4
1.4.1 状态向量和相对状态向量的笛卡儿坐标系	4
1.4.2 目标相对状态向量的修正球坐标系	5
1.5 目标动态模型	5
1.5.1 笛卡儿坐标系下目标状态和目标相对状态的动态模型	5
1.5.2 修正球坐标系下目标相对状态的动态模型	7
1.6 量测模型	9
1.6.1 目标相对状态的量测模型	9
1.6.2 修正球坐标系下的量测模型	10
1.7 滤波器初始化	10
1.7.1 相对笛卡儿坐标系下的滤波初始化	10
1.7.2 修正球坐标系下的滤波初始化	11
1.8 扩展卡尔曼滤波器	11
1.9 无迹卡尔曼滤波器	13
1.10 粒子滤波器	16
1.11 数值仿真和结果	20
1.12 结论	23
附录 1A 修正球坐标系的随机微分方程推导	24
附录 1B 相对笛卡儿坐标系和修正球坐标系之间的转换	26
附录 1C 相对笛卡儿坐标系和修正球坐标系下的滤波器初始化	27
致谢	31
参考文献	32
第 2 章 面向目标跟踪、与合区间方法相结合的粒子滤波	35
2.1 引言	35
2.2 相关工作	36
2.3 区间分析	36

2.3.1	基本概念	37
2.3.2	包含函数	38
2.3.3	约束满足问题	38
2.3.4	紧缩方法	40
2.4	贝叶斯滤波	41
2.5	盒式粒子滤波	41
2.5.1	盒式粒子滤波的主要步骤	41
2.6	基于混合均匀 PDF、由贝叶斯推理而得的 BOX-PF	44
2.6.1	时间更新步骤	45
2.6.2	量测更新步骤	49
2.7	BOX-PF 的目标跟踪示例	50
2.7.1	仿真设置	50
2.8	车辆动态定位的应用	53
2.9	结论	55
	致谢	56
	参考文献	57

第 3 章 基于随机有限集的贝叶斯多目标跟踪滤波器 59

3.1	序言	59
3.2	多目标滤波的随机有限集方法概述	59
3.2.1	单目标滤波	59
3.2.2	随机有限集和多目标滤波	60
3.2.3	为什么在多目标滤波中使用随机有限集?	62
3.3	随机有限集	63
3.3.1	概率密度	63
3.3.2	Janossy 密度	64
3.3.3	置信函数和密度	64
3.3.4	概率假设密度	65
3.3.5	随机有限集的分类	65
3.4	多目标滤波和估计	66
3.4.1	多目标动态模型	67
3.4.2	多目标量测模型	67
3.4.3	多目标贝叶斯递推	68
3.4.4	多目标状态估计	68
3.5	多目标误差距离	70
3.5.1	测度	70
3.5.2	豪斯道夫测度	71
3.5.3	最佳传质测度 (OMAT)	72
3.5.4	最优子模式分配 (OSPA) 测度	72
3.6	概率假设密度 (PHD) 滤波器	73

3.6.1	线性高斯模型下的 PHD 递推	74
3.6.2	关于实现	76
3.6.3	非线性高斯模型扩展	77
3.7	CPHD 滤波器	79
3.7.1	线性高斯模型的 CPHD 递推	81
3.7.2	关于实现	82
3.7.3	基于 CPHD 滤波器的固定目标数目跟踪	83
3.8	举例	84
3.9	多目标多伯努利滤波器	88
3.9.1	多目标多伯努利递归	88
3.9.2	多目标状态估计	89
3.9.3	扩展至航迹演化	89
3.9.4	面向图像数据的多目标多伯努利滤波器	90
3.9.5	实现	91
	致谢	93
	参考文献	94

第 4 章 交互式多模型滤波器的连续时间根 97

4.1	引言	97
4.1.1	背景和记号	98
4.2	隐马尔可夫滤波器	98
4.2.1	有限状态马尔可夫过程	98
4.2.2	具有马尔可夫链解的 SDE	98
4.2.3	隐马尔可夫模型 (HMM) 滤波	100
4.2.4	HMM 滤波器的稳健版本	101
4.3	带马尔可夫系数的系统	103
4.3.1	所考虑的滤波问题	103
4.3.2	联合条件密度的演化	103
4.3.3	给定 θ_i 条件下 x_i 条件密度的演化	105
4.3.4	特例	106
4.4	马尔可夫线性跳变系统	106
4.4.1	所考虑的滤波问题	107
4.4.2	Pre-IMM 滤波器方程	107
4.4.3	连续时间 IMM 滤波器	108
4.4.4	Pre-IMM 方程的线性形式	109
4.4.5	比约克滤波器和连续时间 IMM 滤波器之间的关系	111
4.5	连续—离散滤波	111
4.5.1	所考虑的连续离散滤波问题	111
4.5.2	联合条件密度的演化	112
4.5.3	连续—离散 SIR 粒子滤波	112

4.5.4 线性马尔可夫跳变情况	113
4.5.5 连续-离散时间的 IMM 滤波器	114
4.6 结论	115
附录 4A 不连续半鞅的微分规则	117
附录 4B $\hat{R}_T(\theta)$ 微分的推导	118
参考文献	120

第二篇 多传感器多目标跟踪

第 5 章 基于多假设跟踪的多目标跟踪	123
5.1 引言	123
5.2 跟踪算法	123
5.2.1 带有目标身份的跟踪	125
5.2.2 无目标身份(无航迹标签)的跟踪	125
5.3 跟踪滤波	126
5.3.1 动态模型	127
5.3.2 量测模型	127
5.3.3 非机动目标的单模型滤波器	128
5.3.4 滤波算法	130
5.3.5 机动目标的多模型切换滤波	132
5.4 多假设跟踪算法	133
5.5 多假设跟踪方程的混合状态推导	134
5.6 目标消亡问题	136
5.7 MHT 示例	137
5.7.1 示例 1: 面向航迹 MHT 中的 N 步扫描删减	138
5.7.2 示例 2: 强杂波环境下的机动目标跟踪	138
5.8 总结	140
致谢	141
参考文献	142
第 6 章 地面监视跟踪和数据融合	152
6.1 地面监视简介	152
6.2 GMTI 传感器模型	152
6.2.1 GMTI 杂波凹口模型	153
6.2.2 信号强度量测	154
6.3 跟踪地面运动目标的贝叶斯方法	156
6.3.1 贝叶斯跟踪滤波器	156
6.3.2 GMTI 跟踪概要	157
6.3.3 杂波凹口下的滤波器更新	159
6.3.4 目标强度估计	161

6.4	道路网数据的利用	165
6.4.1	道路网络建模	166
6.4.2	道路密度	167
6.4.3	应用:精确定位	169
6.4.4	基于航迹的道路地图提取	171
6.5	应用随机矩阵的护航队航迹维持	173
6.5.1	贝叶斯框架下的目标范围确定	174
6.5.2	道路地图辅助下的护航队航迹维持	176
6.5.3	实例	179
6.6	基于势概率假设密度滤波器的护航队跟踪	180
6.6.1	高斯混合 CPHD 算法	181
6.6.2	综合电子道路地图	183
6.6.3	目标状态相关的探测概率	184
6.6.4	基于小护航队跟踪的范例	185
	参考文献	186
第 7 章	目标跟踪的性能界限: 高效计算方法及其相关应用	189
7.1	引言	189
7.2	贝叶斯估计的性能界限	191
7.2.1	估计问题	191
7.2.2	一类通用的性能下限	191
7.2.3	高效定维递归	193
7.3	杂波环境下的 PCRLB 计算	194
7.3.1	量测模型	194
7.3.2	信息缩减因子方法	194
7.3.3	量测序列条件方法 (MSC)	195
7.3.4	量测存在序列条件方法 (MESC)	196
7.3.5	信息缩减因子的计算	196
7.3.6	各种性能界限之间的关系	198
7.4	一种机动目标跟踪的近似 PCRLB	199
7.4.1	运动模型	199
7.4.2	最佳高斯拟合 (Best-Fitting Gaussian, BFG) 方法	199
7.4.3	最佳高斯拟合近似的递归计算	199
7.5	固定传感器部署的一般框架	201
7.5.1	引言	201
7.5.2	传感器部署间隔	202
7.5.3	已部署传感器的使用	205
7.5.4	新部署传感器的数目与位置	205
7.5.5	性能测度	207
7.5.6	高效搜索技术	208

7.5.7 示例——潜艇跟踪中的声纳浮标部署	211
7.6 无人飞行器的轨迹规划	219
7.6.1 背景概述	219
7.6.2 性能度量	219
7.6.3 一步领先规划	219
7.6.4 两步领先规划	220
7.6.5 基于自适应周期的规划	221
7.6.6 仿真	223
7.7 结论	228
致谢	230
参考文献	231
第8章 检测前跟踪技术	234
8.1 介绍	234
8.1.1 TBD 方法的历史回顾	234
8.1.2 传统检测后跟踪的局限	236
8.2 模型	239
8.2.1 目标模型	239
8.2.2 传感器模型	240
8.3 Baum Welch 算法	244
8.3.1 检测	245
8.3.2 参数选择	246
8.3.3 复杂度分析	246
8.3.4 总结	247
8.4 动态规划: Viterbi 算法	248
8.4.1 参数选择	249
8.4.2 复杂度分析	249
8.4.3 总结	249
8.5 粒子滤波	250
8.5.1 参数选择	251
8.5.2 复杂度分析	251
8.5.3 总结	251
8.6 ML-PDA	252
8.6.1 优化方法	253
8.6.2 验证	254
8.6.3 总结	254
8.7 H-PMHT 算法	254
8.7.1 有效的两维实现	256
8.7.2 非线性高斯量测函数	257
8.7.3 航迹管理	257

8.7.4 总结	258
8.8 性能分析	258
8.8.1 仿真环境	259
8.8.2 性能度量	260
8.8.3 总体 ROC	260
8.8.4 单帧 ROC	261
8.8.5 估计精度	262
8.8.6 计算需求	262
8.9 应用: 雷达和红外搜索跟踪的融合	263
8.10 未来方向	266
参考文献	267
第 9 章 数据融合架构的研究进展	270
9.1 引言	270
9.2 密集目标场景	271
9.3 多尺度传感器场景	273
9.4 基于大规模传感器网络的目标跟踪	275
9.5 多尺度目标	277
9.6 量测聚合	283
9.7 结论	286
参考文献	288
第 10 章 异常轨迹的意图推理和检测: 元级跟踪方法	290
10.1 引言	290
10.1.1 元级跟踪示例	290
10.1.2 SCFG 和反向马尔可夫链	292
10.1.3 文献综述	293
10.1.4 主要成果	293
10.2 异常轨迹的分类框架	294
10.2.1 雷达跟踪中的轨迹分类	294
10.2.2 雷达跟踪系统介绍	295
10.3 基于 SCFG 的轨迹建模和推理	296
10.3.1 SCFG 回顾	296
10.3.2 异常轨迹的 SCFG 模型	297
10.3.3 SCFG 模型的贝叶斯信号处理	300
10.4 基于反向过程的轨迹建模和推理	302
10.4.1 如何对数字地图或者元级跟踪建模?	302
10.4.2 反向马尔可夫模型	303
10.5 示例 1: 针对地面移动目标指示雷达的元级跟踪	304
10.6 示例 2: 摄像机(头)网络的数据融合	306

10.7 结论	308
致谢	310
参考文献	311

第三篇 传感器管理与控制

第 11 章 目标跟踪中的雷达资源管理——随机控制方法	313
11.1 引言	313
11.1.1 雷达资源管理的方法	314
11.1.2 雷达资源管理器的结构	315
11.1.3 章节结构	316
11.2 问题描述	316
11.2.1 宏观和微观管理器结构	316
11.2.2 目标和量测模型	317
11.2.3 最大化目标之间互信息的微观管理	318
11.2.4 将微观管理器构造为多变量 POMDP	319
11.3 微观管理的结构化解和网格规划	322
11.3.1 互信息停止代价微观管理中的单调策略	323
11.3.2 微观管理的单调 POMDP 策略	324
11.3.3 雷达宏观管理	326
11.4 用于跳变马尔可夫线性系统的机动目标雷达调度	326
11.4.1 跳变马尔可夫线性系统的建模	327
11.4.2 次优雷达调度算法	329
11.5 总结	331
参考文献	333
第 12 章 大规模多传感器多目标跟踪的传感器管理	335
12.1 引言	335
12.1.1 传感器管理	335
12.1.2 集中式跟踪	335
12.1.3 分布式跟踪	336
12.1.4 分散式跟踪	337
12.1.5 本章的组织结构	337
12.2 目标跟踪的架构	338
12.2.1 集中式跟踪	338
12.2.2 分布式跟踪	338
12.2.3 分散式跟踪	338
12.3 后验 Cramér-Rao 下界	338
12.3.1 集中式跟踪中的多目标 PCRLB	339
12.4 面向集中式跟踪中的传感器阵列管理	343

12.4.1	问题描述	343
12.4.2	数学表示	343
12.4.3	求解技术	347
12.4.4	仿真	348
12.4.5	仿真结果	349
12.5	分布式跟踪下的传感器阵列管理	354
12.5.1	航迹融合	354
12.5.2	带有完全反馈的分布式跟踪的性能	355
12.5.3	分布式跟踪的 PCRLB	356
12.5.4	问题描述	356
12.5.5	数学描述	356
12.5.6	求解技巧	359
12.5.7	仿真结果	363
12.6	分散式跟踪的传感器阵列管理	366
12.6.1	分散式跟踪的 PCRLB	366
12.6.2	问题描述	367
12.6.3	数学描述	367
12.6.4	求解技术	374
12.6.5	仿真结果	374
12.7	结论	380
附录 12A	局部搜索	382
附录 12B	遗传算法	384
附录 12C	蚁群算法	386
	参考文献	388

第四篇 估计与分类

第 13 章	面向分类的广义混杂贝叶斯网络有效推理	392
13.1	引言	392
13.2	消息传递：表示和传递	394
13.2.1	无迹变换	395
13.2.2	无迹消息传递	397
13.3	混杂模型的网络划分和消息整合	399
13.3.1	混杂模型的消息整合	399
13.4	面向分类的混杂消息传递算法	401
13.5	数值实验	402
13.5.1	实验方法	402
13.5.2	实验结果	404
13.5.3	HMP-BN 的复杂性	406
13.6	结束语	407