



装备科技译著出版基金

← 0.21485
←

← 454134
←

DATA LINK LAYER

... of applications where one of the
... world-wide audio/video conferencing
... sent audio/video data over the Internet is RTP
... (Internet RFC 3550).
... audio/video conferencing tools
... RTP where developed and are available
... on the MBoards Home Page at www.mbone.com
... vendors also support RTP for audio-video conferencing

Statistical Multisource-Multitarget Information Fusion

多源多目标 统计信息融合

【美】Ronald P. S. Mahler 著
范红旗 卢大威 刘本源 蔡飞 译
付强 审

 **ARTECH HOUSE**
BOSTON | LONDON



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

多源多目标统计信息融合

Statistical Multisource – Multitarget Information Fusion

[美] Ronald P. S. Mahler 著
范红旗 卢大威 刘本源 蔡飞 译
付强 审

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字:军—2002—008 号

图书在版编目(CIP)数据

多源多目标统计信息融合/(美)马勒(Mahler, R. P. S.)著;范红旗等译.

—北京:国防工业出版社,2013.8

书名原文:Statistical Multisource - Multitarget Information Fusion

ISBN 978-7-118-08850-2

I. ①多... II. ①马... ②范... III. ①统计数据-信息融合 IV. ①O212

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第155697号

2007 Artech House, Inc.

Translation from the English language edition: Statistical Multisource - Multitarget Information Fusion by Ronald P. S. Mahler

All rights reserved. This translation published under Artech House, Inc.

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

本书简体中文版由 Artech House, 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)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售



*

开本 787 × 1092 1/16 印张 35 3/4 字数 809 千字

2013年8月第1版第1次印刷 印数1—2500册 定价158.00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

Preface for the Chinese Edition

Statistical Multisource-Multitarget Information Fusion was first published five years ago. Since then, the finite-set statistics approach to information fusion has inspired a considerable amount of research, conducted by dozens of researchers in at least a dozen nations, reported in hundreds of research publications. Much of this research is being conducted at several universities in China, with additional original work forthcoming every year. The appearance of this Chinese translation of the book is therefore welcome, timely, and valuable.

I wish to express my gratitude to the book's translator, Fan Hongqi, for his obvious hard work and lengthy effort. I also humbly express my gratitude for the great interest in my work that precipitated the creation of this edition. It is a great honor, of which I hope I am worthy.

Ronald Mahler

August 2013

序

信息时代，传感手段越来越丰富，获取信息越来越便捷，多源信息融合成为信息利用能力的关键所在。经过几十年的发展，其理论方法所关注的对象和适用的条件发生了根本性的变化。从开始时对单源单目标处理方法的拓展，发展到通盘考虑多源异质特点的集合处理思路，从对个体对象的关注扩展到目标与场景全局的考虑。多源异质给信息融合带来的最大问题是所考虑的对象经常不在一个范畴内，难以依靠共同标准来度量，任何试图采用单一对象与测度标准的处理方式均难以奏效。问题思考范围的扩大使得个体明确的经典统计处理方法受到挑战，定义在有限元素集合之上的统计学理论应运而生。

从随机性的角度观察和思考信息融合问题，虽有多种以目标和量测强耦合方式建立起的数学方法，但随着应用领域的拓展，大量低信噪比、密集目标的场景破坏了目标和量测传统意义上的依赖关系，因此，迫切需要发展新的统计数学工具。以贝叶斯框架为基础的有限集统计学理论，从目标集合分布的视角给出了复杂观测场景的全局建模理论，并发展出了简单易用的 PHD 方法，开启了以集合整体信息处理代替单个对象信息处理的新的发展阶段。本书的翻译，正是顺应这一发展趋势，将国外最新的理论成果介绍给国内学者，以期推动信息融合领域的技术进步。

有限集统计学定义在集合之上，其数学描述较之经典概率空间具有了更高的维度和多样性，由此而产生的建立在集合之上的概率分布，其运算不易为工程技术人员所理解。本书对这一新颖的数学工具作了深入浅出地讨论，对广大科技人员掌握这一理论方法大有裨益。随机有限集理论也是一种新颖的认知方式，可以使该领域学者扩展研究对象的关注视野，更易于将潜在的影响因素考虑进来，构建统一的处理和转换框架。

本书原著超过 800 页，望着放在案头沉甸甸的翻译手稿，可以想象从事此项工作之艰辛。范红旗等三位 ATR 重点实验室的年轻人充满了朝气，作为一线科研人员一直从事相关领域的研究工作。但翻译如此艰深而浩繁的专著，必将耗费大量的心血。须知他们不仅要克服专业的局限性，吃透大量艰涩的非传统统计数学的表达，而且要面对当前不良学术风气的冲击，愿意花费大量的时间精力，将国际上最新的研究成果介绍给国内同行分享，这种责任感和无私的奉献精神着实令人钦佩。《多源多目标统计信息融合》中译本经过一年多的精雕细刻，终于将与广大读者见面，希望从事该领域的科技人员能从译著中有所获益，则译者初衷得尝，花费之心血得以回报。

胡卫东

2013 年 6 月 长沙

前 言

“横看成岭侧成峰，远近高低各不同”，苏东坡的这一千古名句揭示了复杂事物的自然规律和认识事物的一种方法。大千世界，形态万千。为了全面准确地认识一个复杂事物，通常需要综合多视角的不同观点，这正是“信息融合”这一学科领域背后蕴含的哲学思想。

信息融合是一门基于多种认知手段理解认识外部事物及其变化规律的交叉学科，涉及认识论和方法论两个范畴。从认识论的角度来看，信息融合的认识对象可以是单目标、多目标、战场态势、威胁状态，也可以是人的行为、意图、情绪等；从方法论的角度来看，其认知手段可以是时一空一频域内的单 / 多个同 / 异构传感器，也可以是人和机器组成的混合观测系统。信息融合就是根据对事物先验知识，从不同传感器获取的信息中推断事物的当前状态(位置、速度、身份标记等)及其发展规律(运动模式、行为预测等)。这一过程通常包括信息表示(状态、观测、状态模型及观测模型的建模)、信息获取(包括传感器设计及其在线控制等)、信息综合(像卡尔曼滤波、DS 理论、模糊理论、贝叶斯理论等)、信息利用(如系统内部反馈、传感器管理等)。

目前，信息融合理论与技术已被广泛应用于导航、遥感、目标检测、跟踪与识别、医学诊断、工业过程监控、故障诊断、网络状态监控、生物认证、环境监测等众多军用和民用领域。在军用领域，特别是在进入 21 世纪以后，随着隐身、电子对抗等一批新技术的日益成熟，复杂战场环境下的预警侦察、态势感知、威胁判定、精确打击等需求日益迫切，进一步促进了信息融合理论及技术的发展，促使信息融合的研究正逐步从简单背景下的检测、跟踪、识别应用转向低信噪比、复杂干扰、目标数随机变化、存在未知因素等复杂情形下的联合处理，从低层的目标检测、识别和跟踪逐步转向高层的态势评估和威胁估计。但不同传感器、不同应用层面的信息形式千差万别，不精确、模糊、不确定、随机等几种不确定性的内在原因各异，如何有效表示这些信息及其蕴含的不确定性，一直以来缺乏一种统一的理论。此外，对于多目标问题，一直缺乏一种与单目标单源问题类似的贝叶斯理论体系，问题的解决往往借助于启发式设计，结果便形成了算法优先于建模的局面。再者，在多源多目标问题中，问题的复杂性随量测数目和目标数呈组合式增长，比如低信噪比下的检测跟踪问题。如何在计算能力允许的范围内设计可实时处理的近似技术，一直以来缺少一种系统性的设计策略及相应的运算法则。

有限集统计学(FISST)的出现，有效填补了这些理论空白。该理论一经问世就吸引了国际学术界和国防科技工作者的广泛关注。目前，至少有十几个国家都在开展与 FISST 有关的研究工作，进入 SCI 检索的论文也呈逐年上升趋势。特别是美国，像 ARO、AFOSR、MDA、AMRDEC、DARPA、AFRL 等机构都对 FISST 理论及其应用研究给予了广泛的资助。本书是一部关于 FISST 的教科书式的著作，系统阐述了 FISST 在多源多目标融合(1 级融合)中的应用。作者 Ronald P. S. Mahler 生于美国 Great Falls，

1974年获 Brandeis 大学数学博士学位。自 1980 年进入洛克希德·马丁公司后,他长期从事信息融合、专家系统与多目标跟踪方面的研究,目前为该领域的著名专家学者,是 FISST 理论的提出者和倡导者。他的这部著作是近年来信息融合领域研究成果的集大成之作,是一本值得推荐的优秀教材与研究参考。

参加本书翻译工作的有范红旗(原著序言、原著致谢;第 1 章;第 I 篇:第 2~4 章、第 8~9 章;第 II 篇:第 12 章)、卢大威(第 I 篇:第 5~7 章;第 III 篇:第 17 章;附录)、蔡飞(第 II 篇:第 10~11 章、第 13~14 章)、刘本源(第 III 篇:第 15~16 章)。范红旗、卢大威、刘本源负责本书校对和文字整理工作,博士生夏阳参与了本书插图的修改和整理,本书的 \LaTeX 模板由刘本源负责制作。最后,由付强负责全书译文的审定。

感谢总装备部科技译著出版基金对本书翻译出版的支持,同时感谢责任编辑陈洁在本书版权购买以及整个译著出版过程中所付出的辛勤劳动。

受译者水平和知识面所限,书中难免有疏漏、不当和错误之处,恳请读者批评指正。

范红旗

2013 年 6 月 长沙

原著序言

关于标准的信息融合技术，目前已有许多优秀著作出版，其中最为著名的作品有：

- Antony R., *Principles of Data Fusion Automation*^[7];
- Bar-Shalom Y., *Estimation and Tracking: Principles, Techniques, and Software*^[11];
- Blackman S. and Popoli S., *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*^[18];
- Hall D., *Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion*^[82];
- Hall D. and Llinas J. (eds.), *Handbook of Multisensor Data Fusion*^[83];
- Waltz E. and Llinas J., *Multisensor Data Fusion*^[245].

编写本书的目的不是去重复那些已有理论。相反，本书是一部教科书风格的导论性著作，以全新的视角、无缝统一地采用全统计方法重新审视信息融合。

随着非传统防务及安全挑战的不断涌现，对那些形式迥异的非常规信息进行融合与挖掘的技术需求日益迫切。常规数据通常可采用统计方法建模与处理，而非传统信息往往涉及目标身份，经常需要人工判读。这方面的例子有：操作员提取的图像属性信息；数字信号处理器提取的信号特征信息；文本或口头的自然语言陈述；从知识库中抽取的推理规则等。为解决此类问题，已有许多专家系统方法问世。然而，这些方法中的绝大多数都与当前信息融合领域最为成熟的分支（单 / 多目标检测与跟踪理论）缺乏明显的联系，导致人们在面对具体问题时，往往不太清楚应如何设计系统性的解决方案。

本书是作者针对这些问题长达十余载潜心研究的部分成果。书中基本方法的概念简单而明了，以形式化贝叶斯建模和递归贝叶斯滤波器为核心，形成了一套系统而新颖的理论体系。相关技术可供读者解决由随机性或知识局限性引入的不确定性建模、这些不确定性随时间的传递、以及从中提取可反映系统固有不确定性影响的最优估计（也包括相应估计的可靠性测度）等问题。

上述处理大家耳熟能详，而本书的独特之处就在于它将这种处理过程系统地应用于多目标信息融合以及单目标和多目标问题中那些非常规信息的处理中，由此产生了一种无缝统一的多源多目标统计信息融合方法。这种无缝统一可概括为以下几点：

- 一种适用于单目标和多目标的统一化观测理论；
- 不确定性的统一化表示，包括随机性、不精确性、模糊性、偶然性；
- 一种基于广义似然函数的统一化单 / 多目标建模方法；
- 专家系统理论的统一化：模糊理论、贝叶斯理论、DS 理论及基于规则的技术等；
- 单 / 多目标的统一化最优检测与估计理论；
- 异质信息的统一化最优融合理论；
- 一种用以设计新型近似技术的多目标微积分体系。

希望此书能够增进读者的知识，为大家提供一些有价值的信息和启发，偶尔也能给人带来一点刺激，甚至是一点兴奋。

原著致谢

本书报道的主要研究是我于 1993—1994 年在洛克希德·马丁公司研发项目的资助下完成的。之后，该项研究又陆续得到美国陆军研究局 (ARO，合同编号为 DAAH04-94-C-0011 和 DAAG55-98-C-0039) 以及美国空军科研局 (AFOSR，合同编号为 F49620-01-C-0031) 的资助。书中内容不涉及美国政府和洛克希德·马丁公司的立场或政策，不应从中推断任何官方意图。

感谢以下人员在过去十多年中对我的帮助、鼓励与支持：陆军研究局的 Willam Sander 博士 (已退休)；空军实验室—SNAT 的 Stanton Musick (已退休)；空军实验室—IFEA 的 Mark Alford 博士；洛克希德·马丁的 Craig Poling 和 Charles Mills；科学系统公司的 Adel El-Fallah 博士、Alex Zatezalo 博士以及 Raman Mehra 博士；BAE 的 Ravi Ravichandran 博士；Interlink Systems Sciences 的 Ivan Kadar 博士；宾夕法尼亚州立大学的 David Hall 教授；位于布法罗的纽约州立大学的 James Llinas 教授。

感谢澳大利亚墨尔本大学 Ba-Ngu Vo 教授开创性的工作及其启发性的来信。Vo 教授及其学生们的研究开创了一个全新的理论与计算技术，与他的交流帮我澄清了很多问题。

感谢科学系统公司的 Adel El-Fallah 博士为本书手稿影印所做的工作。

最后，感谢美国海军 SPAWAR 系统中心 Goodman I.R. 博士。他奠基性的研究工作，对我影响颇深。自 1993 年开始，正是在 Goodman 博士的引导下，我才走向信息融合中的随机集技术这一潜在的、革命性的技术领域。

本书手稿采用 MacKichan 软件公司的 Scientific WorkPlace 4.0 版编辑。如果没有它，本书的写作将面临更大的困难。图片是采用 Scientific WorkPlace 和 Microsoft Powerpoint 制作而成。图 1.1、图 3.3 以及图 12.2 中的剪切画下载自 Microsoft PowerPoint 剪切画在线库。

章节概览

《多源多目标统计信息融合》一书以崭新的视角和无缝统一的框架，有机结合目标检测、跟踪与识别等军事应用实例，阐释了 FISST 的基础理论与工程近似技术。全书共 17 章(包括绪论)，分为 3 篇，由浅入深地介绍了多源单目标信息融合、多源多目标信息融合、多源多目标近似滤波技术等内容。

第 1 章绪论。首先对本书主题、信息融合面临的问题、引入 FISST(随机集)的原因以及信息融合中随机集的研究情况进行了必要的介绍，随后描述了全书主要内容及章节关系，有利于读者抓住全书的要点和脉络，以便根据需要安排学习顺序。

第 I 篇：统一化的单目标多源融合

第 2 章单目标滤波。在单目标跟踪框架下介绍了形式化统计建模和递归贝叶斯非线性滤波器这两个基本概念，对于后续章节的理解非常重要。

第 3 章通用的数据建模。主要讨论了不确定性建模，特别是数据中的不确定性建模问题。它是综合数据建模的一个相对非正式的、直观的讨论，通过 5 个简单实例生动地阐述了本书数据建模的基本概念和方法，以及 UGU、UGA、AGA、AGU 观测的概念。

第 4 章基于随机集的不确定性表示。这一章是随机集数据建模方法的核心，主要介绍了模糊逻辑、广义模糊逻辑、DS 理论、模糊 DS 理论、一阶和二阶模糊规则等不确定性建模体系的随机集表示。

第 5~7 章分别为 UGA 观测、AGA 观测、AGU 观测。这 3 章描述了三种不同类型观测的建模问题。在每章里，主要针对每种类型观测，介绍其定义、随机集模型、广义似然函数等，并针对不同情形和假定推导了似然函数的具体表达式；贝叶斯统一化和贝叶斯不变的观测转换也是各章重点讲述的内容。为了加深对有关概念和公式的理解，书中还提供了基于人在回路数据链属性信息的稳健目标识别、存在未建模目标类型下的稳健目标识别、基于合成孔径雷达(SAR)强度像的地面静止目标的稳健自动目标识别(ATR)等具体实例。

第 8 章广义状态估计。主要讨论另一种数据类型(目标状态估计)的建模问题。包括广义状态估计的基本概念、随机集模型、似然函数、广义状态估计下后验分布、贝叶斯统一化状态融合以及贝叶斯不变转换等。

第 9 章有限集观测。作为第 I 篇的结尾，这一章简要介绍了常规观测的有限集，可为第 II 篇多目标系统统计学的介绍提供必要的预备知识。

第 II 篇：统一化的多目标多源融合

第 10 章传统多目标滤波。首先回顾了传统多目标跟踪中的一些重要概念：观测航迹关联、单/多假设跟踪、联合概率数据关联(JPDA)；之后以问题的形式指出了传统滤波理论的局限性，为后续介绍埋下伏笔。

第 11 章多目标微积分。这一章是 FISST 方法的数学核心，系统介绍了多目标密度函数、信任质量函数、概率生成泛函 (p.g.fl.) 这三种非常重要的基本统计描述符，同时还介绍了泛函导数和集导数的概念及其运算法则，为第 12、13 章似然函数和马尔可夫密度的推导以及第 III 篇近似技术的设计提供了必要的数学基础。

第 12 章多目标似然函数。首先定义了多目标状态空间、多传感器状态空间、多目标多传感器观测空间等基本概念；然后针对“标准”多目标观测模型推导了似然函数的具体表达式，并在传输涨落、状态相关虚警、扩展目标、未分辨目标等条件下对标准模型作了适当的扩展，得到了相应情形下的似然函数；最后以纯角度传感器和“软”数据聚类为例，介绍了“非标准”模型的建模问题。

第 13 章多目标马尔可夫密度。与第 12 章类似，重点介绍形式化多目标运动模型及“真实”多目标马尔可夫转移密度函数的构造问题。提出了一种“标准”多目标运动模型，可有效描述目标运动、目标出现、目标衍生及目标消亡等情形，并将该模型扩展应用于扩展目标和未分辨目标。最后以引导—随从 (Leader-Follower) 协同群目标运动模型为例结束该章。该章与第 12 章一起构成了所有多源多目标检测、跟踪与分类问题的理论基础。

第 14 章多目标贝叶斯滤波器。这一章是本书理论的集大成，详细介绍了滤波过程的初始化、预测器、校正器、状态估计及误差估计等步骤，提出了边缘多目标 (MaM) 和联合多目标 (JoM) 两个具体的多目标状态估计器；并针对一种特殊情形得到了一种名为 JoTT 的滤波器，在低信噪比下凝视跟踪系统的目标检测和跟踪中具有重要应用价值。此外，该章还介绍了 p.g.fl. 多目标贝叶斯滤波器和目标优先级估计等问题。

第 III 篇：多目标滤波器的近似方法

第 15 章多目标粒子近似。从这一章开始进入多目标滤波器实现技术的讨论。首先描述了与多目标贝叶斯滤波器有关的计算问题，随后详细介绍了多目标序贯蒙特卡罗 (也称“粒子”) 近似。

第 16 章多目标矩近似。介绍了多目标一阶矩近似的概念及它的两个直接结果：概率假设密度 (PHD) 滤波器和集势概率假设密度 (CPHD) 滤波器，同时对其应用情况也作了必要的介绍。

第 17 章多伯努利近似。主要介绍多目标多伯努利近似这一更为理论化的实现技术。采用该近似后，多目标贝叶斯滤波器中的两个集积分能够以解析形式求解。多伯努利近似与高斯混合技术结合后将会产生一种极具潜力、易于计算的多目标滤波器。

付浩

2013 年 6 月 长沙

内 容 简 介

本书全面介绍了 FISST 的基本概念、理论及实现技术，内容新颖，系统性强，理论联系实际，文字深入浅出，反映了近年来信息融合领域的新理论和新方法。

目前，国内尚未发现系统介绍 FISST 理论及应用的书籍。该书可为从事雷达 / 光电等系统及其信息综合的技术人员解决复杂环境下的目标检测、跟踪与识别等问题提供理论上的指导，也可作为高等院校通信与信息工程、电子技术、计算机应用等相关专业教师和研究生开展研究和教学时的参考教材。计算机科学家、物理学家、数学家以及从事信息融合理论研究的人员也可从本书中获益。

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	本书的目的	1
1.2	信息融合的主要挑战	5
1.3	为什么需要随机集或 FISST	5
1.3.1	多目标滤波的复杂性	6
1.3.2	超越启发式	7
1.3.3	单目标与多目标统计学的区别	7
1.3.4	常规数据与模糊数据的区别	7
1.3.5	形式化贝叶斯建模	8
1.3.6	模糊信息建模	8
1.3.7	多源多目标形式化建模	9
1.4	信息融合中的随机集	9
1.4.1	多目标系统统计学	10
1.4.2	专家系统统计学	10
1.4.3	有限集统计学	11
1.5	本书的结构	11
1.5.1	第 I 篇: 统一化的单目标多源融合	11
1.5.2	第 II 篇: 统一化的多目标多源融合	13
1.5.3	第 III 篇: 多目标滤波的近似方法	13
1.5.4	附录	14

第 I 篇 统一化的单目标多源融合

第 2 章	单目标滤波	16
2.1	本章简介	16
2.1.1	要点概述	16
2.1.2	本章结构	17
2.2	卡尔曼滤波器	17
2.2.1	初始化	18
2.2.2	预测器	18
2.2.3	校正器	18
2.2.4	卡尔曼滤波器的推导	19
2.2.5	基于卡尔曼滤波器的观测融合	20
2.2.6	固定增益卡尔曼滤波器	21

2.3	卡尔曼滤波器的贝叶斯表示	21
2.3.1	数学预备知识	22
2.3.2	KF 的贝叶斯表示: 预测器	23
2.3.3	KF 的贝叶斯表示: 校正器	25
2.3.4	KF 的贝叶斯表示: 估计	26
2.4	单目标贝叶斯滤波器	27
2.4.1	简单实例	27
2.4.2	与卡尔曼滤波器的关系	30
2.4.3	建模	33
2.4.4	形式化贝叶斯建模	35
2.4.5	初始化	39
2.4.6	预测器	39
2.4.7	校正器	39
2.4.8	状态估计	40
2.4.9	误差估计	41
2.4.10	数据融合	43
2.4.11	计算方法	43
2.5	实现技术	45
2.5.1	泰勒级数近似: EKF	46
2.5.2	混合高斯近似	47
2.5.3	序贯蒙特卡罗近似	51
2.6	本章习题	56
第 3 章	通用的数据建模	57
3.1	本章简介	57
3.1.1	要点概述	58
3.1.2	本章结构	58
3.2	不确定性建模中的问题	59
3.3	数据不确定性建模中的问题	60
3.4	例子	63
3.4.1	含有少量不精确性的随机观测	63
3.4.2	含有少量随机性的不精确观测	64
3.4.3	非随机的模糊观测	65
3.4.4	非随机的不确定性观测	67
3.4.5	模糊与随机	68

3.5	贝叶斯方法的核心	70
3.5.1	通用的形式化贝叶斯建模	70
3.5.2	通用贝叶斯滤波器	71
3.5.3	贝叶斯组合算子	72
3.5.4	贝叶斯不变的观测转换	73
3.6	广义数据的形式化建模	74
3.7	本章习题	75
第 4 章	基于随机集的不确定性表示	76
4.1	本章简介	76
4.1.1	要点概述	76
4.1.2	本章结构	76
4.2	论域、事件与事件逻辑	76
4.3	模糊集理论	77
4.3.1	模糊逻辑	78
4.3.2	模糊事件的随机集表示	79
4.3.3	有限水平模糊集	81
4.3.4	联项模糊逻辑	82
4.3.5	模糊集合的通用随机集表示	84
4.4	广义模糊集理论	86
4.4.1	广义模糊事件的随机集表示	86
4.5	Dempster-Shafer 理论	87
4.5.1	Dempster 组合	88
4.5.2	“扎德悖论”及其曲解	90
4.5.3	b.m.a. 到概率分布的转换	92
4.5.4	不确定事件的随机集表示	93
4.6	模糊 Dempster-Shafer 理论	94
4.6.1	模糊 DS 证据的随机集表示	95
4.7	推理规则	96
4.7.1	规则的概念	96
4.7.2	使用条件事件代数的规则合并	96
4.7.3	一阶规则的随机集表示	98
4.7.4	复合规则的随机集表示	99
4.7.5	二阶规则的随机集表示	99
4.8	与其他理论的包含关系	100
4.9	本章习题	101

第 5 章	UGA 观测	102
5.1	本章简介	102
5.1.1	符号表示	102
5.1.2	要点概述	103
5.1.3	本章结构	104
5.2	UGA 观测的概念	105
5.2.1	UGA 观测建模	105
5.2.2	观测生成过程的建模	106
5.3	UGA 观测的似然函数	106
5.3.1	情形一: 随机型	107
5.3.2	情形二: 模糊型	108
5.3.3	情形三: 广义模糊型	110
5.3.4	情形四: 离散 DS 型	111
5.3.5	情形五: 模糊 DS 型	113
5.3.6	情形六: 一阶模糊规则型	113
5.3.7	情形七: 复合模糊规则型	116
5.3.8	情形八: 二阶模糊规则型	117
5.4	UGA 融合的贝叶斯统一化	118
5.4.1	归一化 / 未归一化 Dempster 组合情形	120
5.4.2	归一化和未归一化模糊 Dempster 组合情形	121
5.4.3	联项型模糊合取情形	121
5.4.4	规则触发情形	122
5.4.5	有限观测空间情形	123
5.4.6	UGA 观测间的贝叶斯不变转换	123
5.5	其他不确定性的建模	127
5.5.1	未知的统计相关性建模	127
5.5.2	未知目标类型的建模	128
5.6	卡尔曼证据滤波器: KEF	131
5.6.1	有关定义	133
5.6.2	KEF 预测器	134
5.6.3	KEF 校正器: 模糊 DS 观测情形	135
5.6.4	KEF 校正器: 常规观测情形	136
5.6.5	KEF 状态估计	137
5.6.6	与 GMF 和 KF 的对比	137
5.7	本章习题	138

第 6 章	AGA 观测	139
6.1	本章简介	139
6.1.1	要点概述	139
6.1.2	本章结构	140
6.2	AGA 观测的定义	140
6.3	AGA 观测的似然函数	141
6.3.1	情形一： Θ 和 Σ_x 均为模糊型	142
6.3.2	情形二： Θ 和 Σ_x 均为广义模糊型	143
6.3.3	特例三： Θ 和 Σ_x 均为 DS 型	144
6.3.4	特例四： Θ 和 Σ_x 均为模糊 DS 型	144
6.4	模糊 AGA 观测下的滤波	145
6.5	实例：劣质数据的滤波	145
6.5.1	一种稳健的贝叶斯分类器	146
6.5.2	仿真一：低精度与大随机性情形	147
6.5.3	仿真二：高精度与小随机性情形	149
6.5.4	仿真结果分析	150
6.6	未建模的目标类型	150
6.7	实例：基于报文数据的目标识别	155
6.7.1	稳健的贝叶斯分类器	155
6.7.2	“伪数据”的仿真结果	157
6.7.3	“独狼-98”的仿真结果	157
6.8	实例：未建模的目标类型	158
6.9	本章习题	160
第 7 章	AGU 观测	161
7.1	本章简介	161
7.1.1	要点概述	161
7.1.2	为什么不用稳健统计学	162
7.1.3	本章结构	162
7.2	AGU 观测的随机集模型	162
7.2.1	随机误差区间	163
7.2.2	随机误差区间：联合似然	164
7.3	AGU 观测的似然函数	164
7.4	AGU 观测的模糊模型	165
7.5	基于 SAR 数据的稳健 ATR	169
7.5.1	算法概述	170
7.5.2	实验描述	171
7.5.3	实验结果	172