

信号与信息处理丛书

Multi-source
Information Fusion
(Second Edition)

多源信息融合
(第二版)

韩崇昭 朱洪艳 段战胜 等著

清华大学出版社

Multi-source
Information Fusion
(Second Edition)

多源信息融合
(第二版)

清华大学出版社
北京

内 容 提 要

本专著包括多源信息融合的基本概念以及多源信息融合理论赖以发展的基础理论,如统计推断与估计理论基础、智能计算与识别理论基础等;还包括目标跟踪理论、检测融合、估计融合、数据关联、异步信息融合和异类信息融合;也包括图像融合特别是遥感图像融合,智能交通中的信息融合,以及态势评估与威胁估计等内容。

本专著的特点是理论体系完整,材料取舍适当,适合从事多源信息融合理论研究和工程应用的专业技术人员参考,也可作为大学本科高年级学生、研究生特别是博士研究生的参考读物。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

多源信息融合/韩崇昭等著.—2版.—北京:清华大学出版社,2010.9
(信号与信息处理丛书)

ISBN 978-7-302-22499-0

I. ①多… II. ①韩… III. ①信息处理—研究 IV. ①G202

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第067626号

责任编辑:王一玲 刘佩伟

责任校对:白 蕾

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:36 字 数:863千字

版 次:2010年9月第2版 印 次:2010年9月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:59.50元

产品编号:031848-01

谨以此书献给为祖国富强而努力奋斗的同胞们!

本专著(第二版)出版受国家重点基础研究发展规划(973)项目《基于视觉认知的非结构化信息处理理论与关键技术》(2007CB311000)资助

《信号与信息处理丛书》编委会

主 编 李衍达

编 委(排名不分先后)

王宏禹 张贤达 李衍达 何振亚

迟惠生 保 铮 侯朝焕 袁保宗

阎平凡 谭铁牛

责任编辑 陈国新

丛书出版说明

信号与信息处理可以说是信息技术中的核心部分。随着信息科学与技术的飞速发展,随着信息技术深入到各个领域而得到广泛的应用,信号与信息处理也作为前沿技术而发生着重大的变化。编辑出版“信号与信息处理丛书”正是为了反映这种变化,为了加速培养这方面的人才,也为了进一步推动这一领域的发展。本丛书的内容力求能反映信号与信息处理技术的前沿内容,具有高的学术意义与应用价值。入选的书稿可以是创作的专著,也可以是高水平的译作。

这套丛书不仅适合于研究生教学,也可作为高校教师与有关领域研究人员学习与工作的参考书。

从历史来看,真正影响着生活的是不断增长的知识与技术的积累和经反复探索所形成的观念。相信这套丛书的出版,会增加正在成长中的信号与信息处理技术的积累,而它对生活的作用则是显而易见的。

李衍达

2004年8月24日



第一版序

PREFACE

在经历了农业时代和工业时代之后,人类目前已经全面进入了信息时代。信息时代的显著特征之一是信息爆炸。为了应付这种局面,信息融合技术应运而生。简单地说,信息融合是指对多个载体内的信息进行综合、处理以达到某一目的。信息融合涉及面极为广泛。举例来说,归纳可以看作一个信息融合过程,其中一般性结论即由多个特殊事例经过综合、抽象后得到。因此,归纳推理与信息融合有本质联系,而归纳推理又是所有科学技术的源泉。近年来信息融合在众多领域内受到了极大的关注,信息融合技术发展神速。

本书由西安交通大学韩崇昭教授等人编撰,韩教授所领导的教研组的工作在国内颇负盛名。我与他相识多年,近年来曾多次互访并合作发表文章。

据我所知,在信息融合领域所有中文书籍中,本书可能最为系统、全面,而且内容较为新颖。作者在如此短的时间内能写成本书给我留下了深刻的印象。这与祖国近二十年来经济的飞速增长是步调一致的。

本书还有几个非常重要和吸引人的特点。令我印象最为深刻的是它涵括了一大批数学工具的基础知识,其中包括随机集理论、粗糙集理论、粒子滤波、统计学习理论等。这些数学工具近年来开始广为流行,它们在信息融合领域大有前途。另一个特点是它对信息融合领域近年来的一些新进展做了介绍,这包括由我本人与合作者在过去几年中所建立的最优线性估计融合理论的部分结果。本书涵括了信息融合领域中许多重要而有代表性的内容,几乎所有这些内容都属于现今信息融合研究领域的主流。仅此即足以表明本书优于我所知道的大多数关于信息融合的中文书籍。总的来说,本书的内容安排合理,结构组织良好,选题平衡。尽管本书的深度不尽如意,但它仍比该领域大多中文书籍明显要好。

作为一个信息融合领域的研究人员,多年来我一直致力于推动祖国在该领域的科研工作。我很高兴地看到在过去几年中国内信息融合的研究和开发工作大有进展。当然,不足之处也很明显。总的来说,科研工作仍然缺乏广度和深度,尤其是在基础研究方面。据我所知,原创性和高质量的研究成果不多。我相信本书的出版将为有志于从事信息融合的国内读者提供入门基础,同时它也将有助于国内的研究开发人员了解信息融合领域的新进展。鉴于此,本书的出版定将大受欢迎。

李晓榕(X. Rong Li)

2005年6月于美国新奥尔良



第二版前言

FOREWORD

《多源信息融合》第一版于2006年由清华大学出版社出版,恰好新闻出版总署从2006年起开始组织实施“三个一百”原创出版工程,即人文社科类、自然科学类和文艺与少儿类各选100种出版物作为原创性的精品力作图书推向社会公众,本书荣幸地于2007年入选首届“三个一百”自然科学类原创出版工程。出版社对本书的介绍为:《多源信息融合》是我国第一本全面系统地介绍信息融合理论与应用的原创著作。它的出版不仅对我国在信息融合领域的科研创新及人才培养起到一定的推动作用,而且对促进我国国民经济和国防现代化建设具有重要的现实意义。

出乎作者们的预料,本书第一版出版发行能受到社会各界的如此关注,我们常常应邀到有关单位去讲课,而且书中许多方法已经在工程实践中得到应用。鉴于信息融合领域的知识更新太快,国家需求又是如此紧迫,我们认为本书有必要立即进行修订再版。我们的修订原则是:基本保持原版的体系结构和知识框架,补充近两年最新发展且颇受关注的新内容。于是,由韩崇昭主笔与韩德强博士一起在第3章补充了有关证据理论和随机集理论的新内容,刘伟峰博士补充了“随机有限集概略”部分。刘伟峰博士还在第4章增加了“基于随机有限集的多目标跟踪概述”一节。段战胜博士对第6章有关估计融合的发展补充了新的内容。特别需要指出的是,韩崇昭教授与韩德强博士一起,对第10章异类信息融合的最新进展增加了“共同杂波环境中基于异类信息的多传感误差传递与校正”和“多源异类信息融合的一般方法论探讨”两节,使得这一方向的内容得到充实。于昕博士也在第12章增加了新的内容。与此同时,对各章节的错别字和不正确的表达式也进行了勘误。

尽管如此,由于受作者们水平所限,书中疏漏之处在所难免,而且对该领域的最新进展也可能补一漏十,甚至出现错误表达。请读者不吝赐教,我们将深表谢意。

作者

2009年11月于西安交通大学

本书符号约定

k : 时间指标, k 时刻

x_k : k 时刻系统真实一维状态

\mathbf{x}_k : k 时刻系统真实多维状态

z_k : k 时刻对状态的一维量测

\mathbf{z}_k : k 时刻对状态的多维量测

u_k : k 时刻系统的控制输入

F_k : k 时刻线性系统状态转移矩阵

G_k : k 时刻线性系统过程噪声矩阵

Γ_k : k 时刻线性系统控制输入权矩阵

w_k : k 时刻线性系统过程噪声

Q_k : k 时刻线性系统过程噪声协方差矩阵

H_k : k 时刻线性系统量测矩阵

v_k : k 时刻线性系统量测噪声

R_k : k 时刻线性系统量测噪声协方差矩阵

Z^k : 直到 k 时刻的所有量测

$\hat{x}_{k|k}$: k 时刻系统状态估计值

$\tilde{x}_{k|k}$: k 时刻系统状态的估计误差

$P_{k|k}$: k 时刻系统状态估计误差的协方差阵

$\hat{x}_{k+1|k}$: k 时刻系统状态的提前一步预测

$P_{k+1|k}$: k 时刻系统状态提前一步预测误差的协方差阵

$\hat{z}_{k+1|k}$: k 时刻系统量测的提前一步预测

$\tilde{z}_{k+1|k} = z_{k+1} - \hat{z}_{k+1|k}$: k 时刻系统的量测信息

S_k : k 时刻系统新息的协方差阵

K_k : k 时刻系统的滤波增益

$P(x)$: 随机向量 x 的分布函数

$P(x|y)$: 给定 y 的条件下随机向量 x 的条件分布函数

$p(x)$: 随机向量 x 的概率函数

$p(x|y)$: 给定 y 的条件下随机向量 x 的条件概率函数

$p(x, y)$: 随机向量 x, y 的联合概率

$E(\mathbf{x})$: 随机向量 \mathbf{x} 的期望

$E(\mathbf{x}|\mathbf{y})$: 给定 \mathbf{y} 的条件下随机向量 \mathbf{x} 的条件期望

$\text{cov}(\mathbf{x})$: 随机向量 \mathbf{x} 的协方差阵

$\text{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$: 随机向量 \mathbf{x} 与 \mathbf{y} 的协方差阵

$\mathcal{N}(\mathbf{x}; \mathbf{m}, \mathbf{P})$: Gauss 随机向量 \mathbf{x} 密度函数, 具有均值 \mathbf{m} 和协方差阵 \mathbf{P}

H_0, H_1 : 概率假设

T : 采样间隔

\emptyset : 空集

\triangleq : 定义为

\approx : 近似等于

χ_n^2 : 自由度为 n 的 chi-square 分布

$\delta(\cdot)$: Dirac delta 函数

Δ : 似然函数

P_D : 检测概率

P_{FA} : 虚警概率

\Leftrightarrow : 当且仅当

\vee : 逻辑“或”

\wedge : 逻辑“与”

\propto : 正比于

\mathbf{A}^T : 矩阵转置

\mathbf{A}^{-1} : 矩阵的逆

\mathbf{A}^+ : 矩阵的伪逆

$\mathbf{A} > 0$: 正定矩阵

$\mathbf{A} \geq 0$: 半正定矩阵

$\text{tr}(\mathbf{A})$: 矩阵的迹

$|\mathbf{A}|$: 矩阵的行列式

$\mathbf{x}^* = \arg \max_{\mathbf{x}} f(\mathbf{x})$: 使函数 $f(\mathbf{x})$ 极大化的宗量 \mathbf{x}

$\mathbf{x}^* = \arg \min_{\mathbf{x}} f(\mathbf{x})$: 使函数 $f(\mathbf{x})$ 极小化的宗量 \mathbf{x}

\exp : 指数函数

pdf: 概率密度函数

SMTT: 单机目标跟踪

MMTT: 多机动目标跟踪

CV: 常速

CA: 常加速

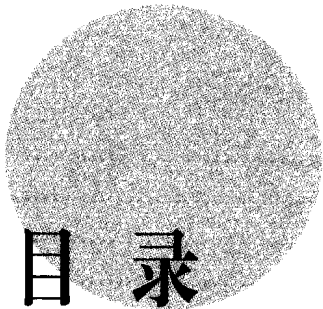
TWS: 边扫描边跟踪

KF: Kalman 滤波

EKF: 扩展 Kalman 滤波

IMM: 交互式多模型

PDA: 概率数据关联
JPDA: 联合概率数据关联
MHT: 多假设跟踪
EM: 期望极大化
MCMC: Markov 链 Monte-Carlo
i. i. d: 独立同分布
RMS: 均方根误差
MMSE: 最小均方误差
MAP: 最大后验概率
LS: 最小二乘
ML: 极大似然
MC: Monte-Carlo
FIM: Fisher 信息矩阵
GPB: 广义伪 Bayes
KLS: 递推最小二乘
WLS: 加权最小二乘
LMS: 最小均方



目录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 多源信息融合的一般概念与定义	1
1.1.1 定义	1
1.1.2 多源信息融合的优势	2
1.1.3 应用领域	3
1.2 信息融合系统的模型和结构	4
1.2.1 功能模型	4
1.2.2 信息融合的级别	6
1.2.3 通用处理结构	8
1.3 多源信息融合主要技术和方法	10
1.4 信息融合要解决的几个关键问题	11
1.5 发展起源、现状与未来	12
参考文献	14
第 2 章 统计推断与估计理论基础	16
2.1 点估计理论基础	16
2.1.1 一般概念	16
2.1.2 Bayes 点估计理论	17
2.1.3 BLUE 估计	19
2.1.4 WLS 估计	19
2.1.5 ML 估计	20
2.1.6 PC 估计	20
2.1.7 RLS 估计与 LMS 估计	23
2.2 期望极大化(EM)方法	25
2.2.1 概述	25
2.2.2 EM 算法描述	25
2.2.3 混合 Gauss 参数估计的 EM 算法实例	28
2.3 线性动态系统的滤波理论与算法	29
2.3.1 离散时间线性系统状态估计问题的一般描述	29
2.3.2 基本 Kalman 滤波器	31

2.3.3	信息滤波器	32
2.3.4	噪声相关的 Kalman 滤波器	33
2.4	非线性动态系统的滤波理论与算法	35
2.4.1	扩展 Kalman 滤波器(EKF)	35
2.4.2	UKF 滤波	37
2.4.3	Bayes 滤波	40
2.5	基于随机抽样的过程估计理论与算法	41
2.5.1	传统 Bayes 估计面临的挑战与解决的新思路	41
2.5.2	Monte Carlo 仿真的随机抽样	42
2.5.3	Markov Chain Monte Carlo 抽样	44
2.5.4	粒子滤波的一般方法	48
2.6	混合系统状态估计理论	55
2.6.1	一般描述	55
2.6.2	多模型方法简述	56
2.6.3	定结构多模型估计	57
2.6.4	交互式多模型算法	60
2.6.5	变结构多模型(VSMM)算法概述	62
2.7	小结	66
	参考文献	66
第3章	智能计算与识别理论基础	69
3.1	概述	69
3.1.1	模式识别的一般概念	69
3.1.2	智能学习与统计模式识别	70
3.2	粗糙集理论基础	71
3.2.1	信息系统的一般概念	71
3.2.2	决策系统的不可分辨性	72
3.2.3	集合近似	73
3.2.4	属性约简	75
3.2.5	粗糙隶属度	79
3.2.6	广义粗集	82
3.3	证据理论基础	82
3.3.1	概述	82
3.3.2	mass 函数、信度函数与似真度函数	83
3.3.3	Dempster-Shafer 合成公式	87
3.3.4	证据推理	89
3.3.5	证据理论中的不确定度指标	91
3.3.6	证据理论存在的主要问题与发展	92
3.4	随机集理论基础	94

3.4.1	一般概念	94
3.4.2	概率模型	97
3.4.3	随机集的 mass 函数模型	100
3.4.4	随机集与模糊集转换	101
3.5	随机有限集概略	105
3.5.1	概述	105
3.5.2	随机有限集的概念	105
3.5.3	随机有限集统计	106
3.5.4	随机有限集的 Bayes 滤波	108
3.6	统计学习理论与支持向量机基础	110
3.6.1	统计学习理论的一般概念	110
3.6.2	学习机的 VC 维与风险界	112
3.6.3	线性支持向量机	116
3.6.4	非线性支持向量机	119
3.6.5	用于孤立点发现的 One-class SVM 算法	121
3.6.6	最小二乘支持向量机	122
3.6.7	模糊支持向量机	123
3.6.8	小波支持向量机	124
3.6.9	核主成分分析	125
3.7	Bayes 网络基础	126
3.7.1	Bayes 网络的一般概念	127
3.7.2	独立性假设	128
3.7.3	一致性概率	129
3.7.4	Bayes 网络推断	131
3.8	小结	135
	参考文献	135
第 4 章	目标跟踪	139
4.1	基本概念与原理	139
4.2	跟踪门	141
4.2.1	滤波残差	141
4.2.2	矩形跟踪门	141
4.2.3	椭球跟踪门	142
4.2.4	其他跟踪门	142
4.3	目标运动模型	142
4.3.1	机动目标跟踪的数学模型	142
4.3.2	非机动目标动态模型	143
4.3.3	坐标不耦合的目标机动模型	144
4.3.4	二维水平运动模型	150

4.3.5	三维模型	152
4.4	量测模型	154
4.4.1	传感器坐标模型	154
4.4.2	在各种坐标系中的跟踪	155
4.4.3	混合坐标系的线性化模型	157
4.4.4	笛卡儿坐标系下的模型	159
4.5	雷达量测转换	160
4.5.1	二维去偏量测转换	160
4.5.2	三维去偏量测转换	162
4.5.3	无偏量测转换	164
4.5.4	修正的无偏量测转换	168
4.6	基于雷达量测和 BLUE 准则的目标跟踪	170
4.6.1	基于 BLUE 准则的二维量测转换	170
4.6.2	基于 BLUE 准则的三维量测转换	173
4.7	带 Doppler 量测的雷达目标跟踪	177
4.7.1	极坐标系中带 Doppler 量测的雷达目标跟踪	177
4.7.2	球坐标系中带 Doppler 量测的雷达目标跟踪	182
4.8	时间与空间配准	185
4.8.1	问题描述	185
4.8.2	时间配准算法	187
4.8.3	常用坐标系	188
4.8.4	坐标转换	188
4.8.5	空间配准算法概述	190
4.8.6	二维空间配准算法	191
4.8.7	精确极大似然空间配准算法	195
4.8.8	基于地心坐标系的空间配准算法	198
4.9	基于随机有限集的多目标跟踪概述	202
4.9.1	RFS 目标运动和量测模型	203
4.9.2	概率假设密度(PHD)滤波器	203
4.9.3	基数概率假设密度(CPHD)滤波器	204
4.9.4	Gaussian-Mixture PHD(GM-PHD)滤波器	205
4.10	小结	206
	参考文献	207
第 5 章	检测融合	212
5.1	概论	212
5.2	并行结构融合系统的最优分布式检测融合算法	214
5.2.1	系统描述	214
5.2.2	最优分布式检测的必要条件	215

5.2.3	传感器观测独立条件下的最优分布式检测	217
5.2.4	实例计算	219
5.3	串行结构融合系统的最优分布式检测融合算法	220
5.3.1	系统描述	220
5.3.2	传感器观测独立条件下最优分布式检测的必要条件	221
5.3.3	传感器观测独立条件下的最优分布式检测	223
5.3.4	实例计算	226
5.4	树形结构融合系统的最优分布式检测融合算法	226
5.4.1	系统描述	227
5.4.2	结点观测独立条件下最优分布式检测的必要条件	228
5.4.3	结点观测独立条件下的最优分布式检测	229
5.4.4	实例计算	232
5.5	分布式量化检测系统	232
5.5.1	系统描述	233
5.5.2	最优分布式量化检测的必要条件	234
5.5.3	传感器观测独立条件下的最优分布式量化检测	235
5.5.4	实例计算	238
5.6	分布式 N-P 检测融合系统	240
5.6.1	最优分布式量化检测的必要条件	240
5.6.2	传感器观测独立条件下的最优分布式检测	242
5.6.3	传感器观测相关条件下的次优分布式检测	243
5.6.4	分布式硬决策 N-P 检测融合系统	245
5.6.5	实例计算	246
5.7	小结	247
	参考文献	248
第 6 章	估计融合	250
6.1	估计融合系统结构	250
6.2	集中式融合系统	252
6.2.1	并行滤波	253
6.2.2	序贯滤波	254
6.2.3	数据压缩滤波	254
6.3	分布式融合系统	257
6.3.1	分布式融合结构	257
6.3.2	航迹融合中各传感器局部估计误差相关的原因	258
6.3.3	简单凸组合融合算法	259
6.3.4	Bar-Shalom-Campo 融合算法	261
6.3.5	不带反馈的最优分布式估计融合	264
6.3.6	带反馈的最优分布式估计融合	266

6.3.7	最大后验概率状态估计融合	270
6.3.8	最优的集中式估计的重构	278
6.4	协方差交叉法	281
6.4.1	问题描述	281
6.4.2	相关程度已知的相关估计量最优融合	282
6.4.3	相关程度未知的相关估计量最优融合	284
6.5	联邦滤波器	286
6.5.1	问题描述	287
6.5.2	方差上界技术	287
6.5.3	联邦滤波器的一般结构	290
6.5.4	联邦滤波器的工作流程	291
6.5.5	联邦滤波器的最优性证明	292
6.5.6	联邦滤波器的四种结构	294
6.5.7	联邦滤波器四种结构的比较	297
6.5.8	联邦滤波器的特点	297
6.5.9	联邦滤波器的两种简化形式	298
6.6	最优线性估计融合与统一融合规则	298
6.6.1	问题描述	298
6.6.2	统一线性数据模型	299
6.6.3	对于线性数据模型的统一最优融合规则	301
6.6.4	一般的最优的线性融合规则	308
6.7	非线性分层融合算法	310
6.8	为什么需要估计融合	311
6.8.1	中心式融合	311
6.8.2	分布式融合	313
6.9	小结	315
	参考文献	316
第7章	数据关联	320
7.1	引言	320
7.2	量测-航迹关联算法:经典方法	320
7.2.1	最近邻方法	321
7.2.2	概率数据关联	321
7.2.3	交互式多模型概率数据关联	324
7.2.4	联合概率数据关联	327
7.2.5	多传感联合概率数据关联	332
7.3	量测-航迹关联的其他方法	335
7.3.1	基于粒子滤波的联合概率数据关联	335
7.3.2	多假设方法	337