

信息、控制与系统技术丛书

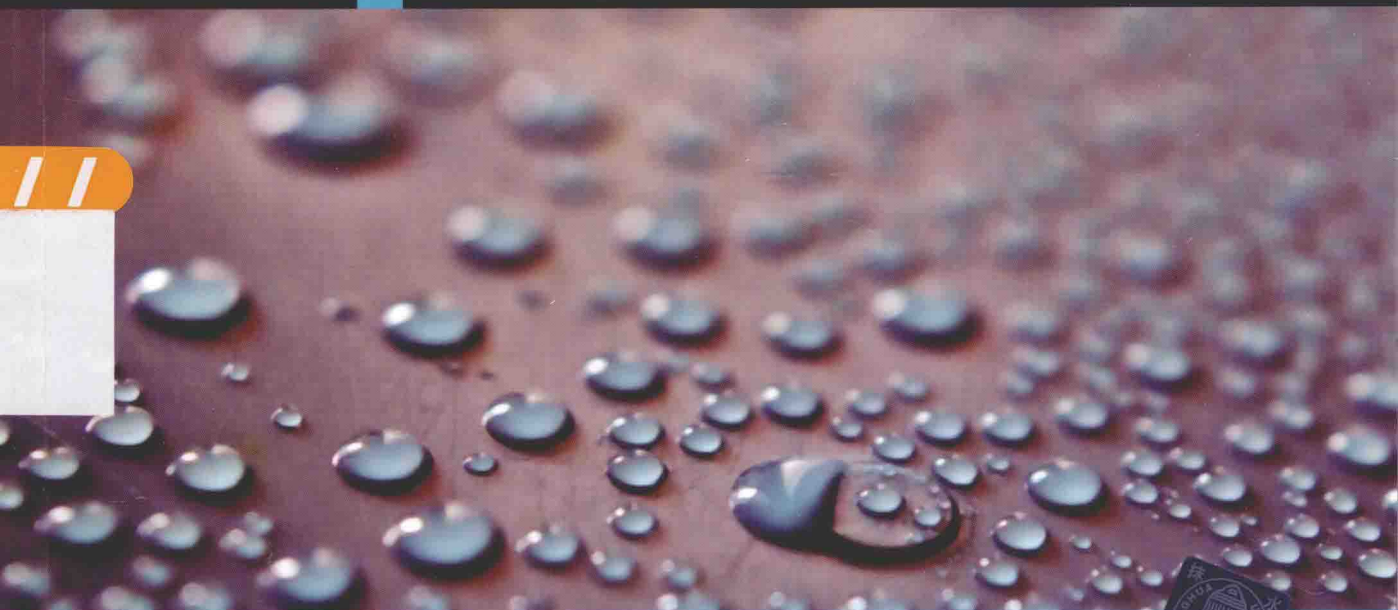
电子科技大学特色教材

M

ulti-source Data Fusion and Sensor
Management

多源数据融合 和传感器管理

罗俊海 王章静 编著



清华大学出版社



ulti-source Data Fusion and Sensor
Management

多源数据融合 和传感器管理

罗俊海 王章静 编著



清华大学出版社

内 容 简 介

本书是关于信息融合理论、应用和传感器管理的一部教材。本书基于编者的研究工作,并借鉴国内外其他学者的成果,力图较全面、系统地讲解信息融合理论、应用、传感器管理以及发展与最新研究成果,特别是在异构、多源、动态、非理想信道、稀疏、错误容忍环境下。全书共 25 章,分为五个部分。第一部分研究现状,包括多源数据融合概述、信息融合的原理和级别、多源传感器数据融合算法、多传感分布检测、传感器管理、探讨和备注;第二部分数学理论基础,包括 Bayes 方法、模糊集理论、粗糙集理论、Monte Carlo 理论、Dempster-Shafer 理论、估计理论和滤波器理论;第三部分多源数据融合算法,包括 Bayes 决策、正态分布时的统计决策、最大最小决策、神经网络、支持向量机和 Bayes 网络;第四部分多源数据融合应用,包括分布式检测和融合、目标追踪的高效管理策略、数据融合的系统校准、目标跟踪策略算法与数据融合、像素与特征的图像融合;第五部分是多传感器管理。本书可作为信息工程、信息融合、模式识别、机器学习、人工智能、数据分析、军事决策和电子对抗等专业的本科生和研究生教材,也可供上述相关领域的科技人员阅读和参考,还可以供雷达、声呐、激光、红外、机器人、导航、交通、医学、物联网、泛在网、CPS、遥感、遥测、定位等领域的科技工作者参考学习。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

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

多源数据融合和传感器管理/罗俊海,王章静编著. —北京:清华大学出版社,2015

信息、控制与系统技术丛书

ISBN 978-7-302-39018-3

I. ①多… II. ①罗… ②王… III. ①数据融合 ②传感器 IV. ①TP274 ②TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 017202 号



责任编辑:文 怡

封面设计:李召霞

责任校对:白 蕾

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:24.75

字 数:592千字

版 次:2015年9月第1版

印 次:2015年9月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:59.00元

产品编号:060169-01

由于任何一个传感器都不可能获取目标所有方面的信息,因此其探测到的信息对于最终的目标识别都具有一定的不确定性,再加上系统可靠性、噪声干扰等原因的影响,更加难以凭借单一的传感器探测特征做出正确的判断。在实际过程中,由于这种不确定性,常常会出现依照不同传感器获得的信息而做出截然相反的判别。中国古代“瞎子摸象”的故事告知人们,单凭一种感官获得的感知信息,难以获得对客观事物的全面认识。世间万物在不断变化,而人类感知和认知事物的能力却受到许多限制。唐初谏议大夫魏征曾有一句名言:“兼听则明,偏信则暗”,说的是采纳各种不同的意见作决策往往是明智的,而偏信一家之言则难免有失偏颇。人类和动物在获得客观对象的感知信息时,不是使用一种感官,而是用各种不同的感官,包括视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等感官获得不同的感知信息,经过大脑处理之后才形成一个完整的认知结果。同样,在社会和经济活动中,负责任的政府和企业 在决策时也要收集大量的数据,汇集不同的观点,才能制定出符合客观规律的决策。

随着传感器技术、计算机技术和信息技术的快速发展,20世纪70年代首先在军事领域产生了“数据融合”的全新概念,即把多种传感器获得的数据进行所谓的“融合处理”,以得到比单一传感器更加准确和有用的信息。之后,基于多源数据综合意义的融合一词开始出现于各类公开出版的技术文献中,逐渐地这一概念不断扩展,要处理的信息不仅包含多平台、多传感器、多源的信号,还包括了知识、经验等在内的多种信息。其研究对象和应用领域不但涉及国防、工业、农业、交通、运输等传统行业,还涉及生物、通信、信息、管理等新兴行业,于是一种共识的概念逐渐被人们所接受,称为“多源数据融合”。

传感器管理技术主要是对多源传感器在时间上、空间上和任务上进行规划,最佳的规划方式就是根据多系统各自携带的传感器特性,将对系统探测信息增量最大的传感器探测方式安排为下一次系统的执行方案。从系统信息获取上来看,对监控区域的目标检测、运动目标的持续跟踪和目标的属性识别是信息监控的重点内容,进一步地获取这些关键信息,将会有利于系统信息增量的提升。

多源数据融合和传感器管理综合了控制、电子信息、计算机、网络以及数学等多学科领域,是一门具有前沿性的高度交叉学科。近年来,随着世界各国对各种多传感器平台和系统的需求急剧增加,信息融合进入了一个蓬勃发展的时期,人们对它的理论和工程应用研究方兴未艾,各种关于信息融合的新理论、新方法、新技术层出不穷,国内外学者已经在信息融合领域出版了一批高水平的学术专著。不过,对于刚进入信息融合领域的青年学生,或者刚开始从事信息融合应用的工程技术人员,迫切需要一本信息融合的入门教材。在电子科技大学校级特色教材规划等项目的资助下,笔者承担了《多源数据融合和传感器管理》的编写任务。该教材理论体系完整,材料取舍得当,包含信息融合的数学基础、主要进展、典型应用和传感器管理,可作为计算机网络、信号处理、自动化及相关专业本科生及研究生的教材,亦适

合从事多源数据融合理论研究和工程应用的专业技术人员参考。

本书共分五部分,总计 25 章。第一部分研究现状包括第 1~6 章,介绍了多源数据融合的基本概念、功能模型、系统结构、发展过程等;第二部分为信息融合数学理论基础,包括第 7~13 章,详细介绍了多源数据融合理论赖以发展的理论基础,包括估计理论、粗糙集理论、随机集理论、D-S 理论、Monte Carlo 理论、滤波器理论等;第三部分为多源数据融合算法,包括第 14~19 章,详细阐述了支持向量机、神经网络、Bayes 网络、各融合决策等;第四部分为多源数据融合应用,包括第 20~24 章,详细展现了多源无线传感网络中分布式目标追踪的高效传感器管理策略、无线传感器网络中基于融合的火山地震检测和定时、数据融合的系统校准等;第五部分为传感器管理,即第 25 章,讲述了传感器管理问题的解决方案、传感器部署原则和传感器资源分配等。

为使概念原理论述清楚准确且反映主要研究成果,本书在撰写过程中参考了一批国内外学术专著,包括《多源多目标统计信息融合》([美]马勒著,范红旗等译)、《多源信息融合理论及应用》(潘泉等著)、《多源信息融合理论与应用》(杨露菁等著)、《多源数据融合》(韩崇昭等著)、《信息融合理论及应用》(何友等著)、《雷达数据处理及应用(第二版)》(何友等著)、《多传感器多源数据融合理论及应用》(彭冬亮著)、《信息融合技术及应用》(李弼程等著)、《融合估计与融合控制》(王志胜等著)、《现代目标跟踪与信息融合》(潘泉等著)、《复杂系统的现代估计理论及应用》(梁彦等著)、*Multi Sensor Data Fusion with MATLAB* (Jitendra R. R. 著)、*Multi Sensor Data Fusion* (Hugh Durrant-Whyte 著)、*Handbook of Multisensor Data Fusion Theory and Practice* (Martin E. Liggins 著)、*Foundations and Applications of Sensor Management* (A. O. Hero 著)、*High level Data Fusion* (Subrata K. D. 著)、*Distributed Detection and Data Fusion* (C. S. Burrus 著) 及 *Estimation with Applications to Tracking and Navigation* (Bar shalom Y. 等著)等,在此向他们以及参考文献的所有作者表示深深谢意。同时,也感谢所有关心本书出版的各位专家学者。

本书相关工作得到了国家自然科学基金资助项目(No. 61001086)和电子科技大学新编特色教材建设项目(No. Y03094023701005)以及中央高校基本科研业务基金资助项目(No. ZYGX2011X004)的支持。

在本书编写过程中得到了陈悦老师、王章静老师和高欢斌、邹仕华、邹任乾、曹赞、任霄、倪静、蔡济杨和李涛等同学的帮助,其中王章静老师完成了该书的三分之一的工作量。本书在编写过程中还得到了相关领导、出版社老师、同学的支持和帮助。在此,向所有为本书的出版做出贡献的人们表示衷心感谢!

尽管作者做出了最大的努力,但限于自身水平,错误和不妥之处在所难免,殷切期望广大读者批评指正。

作者

2015 年 5 月

第一部分 研究现状

第 1 章 多源数据融合概述	3
1.1 多传感器数据融合定义	3
1.2 多传感数据融合面临的问题	4
习题	5
第 2 章 信息融合的原理和级别	6
2.1 信息融合的基本原理	6
2.2 信息融合的级别	6
2.2.1 信源	8
2.2.2 信源预处理	8
2.2.3 检测级融合	8
2.2.4 位置级融合	9
2.2.5 目标识别融合	9
2.2.6 态势估计	9
2.2.7 威胁估计	10
2.2.8 精细处理	11
2.2.9 数据库处理	11
习题	11
第 3 章 多传感器数据融合算法	12
3.1 有缺陷的数据融合	13
3.1.1 概率融合	14
3.1.2 证据置信度推理	15
3.1.3 融合和模糊推理	16
3.1.4 可能性融合	17
3.1.5 基于粗糙集融合	18
3.1.6 混合融合方法	18
3.1.7 随机集理论融合	19

3.2 相关数据的融合	20
3.2.1 消除数据关联性	20
3.2.2 数据融合中存在未知的相关性	21
3.2.3 不一致数据融合	21
3.2.4 虚假数据	21
3.2.5 脱离序列数据	22
3.2.6 冲突数据	22
3.3 融合异质数据	23
习题	24
第4章 多传感分布检测	25
4.1 Neyman-Pearson 公式	25
4.1.1 并行拓扑结构	25
4.1.2 串行拓扑结构	27
4.2 Bayes 公式	29
4.2.1 并行结构	29
4.2.2 串行拓扑结构	31
4.2.3 更一般的网络拓扑结构	32
习题	32
第5章 传感器管理	33
5.1 传感器管理的定义	33
5.2 数据融合系统中的传感器管理	34
5.3 传感器管理的内容	35
5.4 传感器管理的结构	36
习题	39
第6章 数据融合的现状和趋势	40
6.1 新兴融合模式	40
6.1.1 软/硬数据融合	40
6.1.2 机会数据融合	40
6.1.3 自适应融合和研究	40
6.2 正在进行的数据融合研究	41
6.2.1 自动融合	41
6.2.2 置信度可靠性	41
6.2.3 安全融合	41
6.2.4 融合评估	42
习题	43

第二部分 数学理论基础

第 7 章 Bayes 方法	47
7.1 Bayes 方法的发展	47
7.2 Bayes 定理	47
7.2.1 条件概率	47
7.2.2 概率乘法规则	48
7.2.3 全概率公式	48
7.2.4 Bayes 概率	49
7.3 多源数据融合中的 Bayes 方法	50
7.4 Bayes 方法的优缺点	51
习题	51
第 8 章 模糊集理论	53
8.1 模糊数学概念	53
8.1.1 经典集合相关定义与基本概念	54
8.1.2 经典集合之间的关系与运算	54
8.2 模糊集集合	55
8.2.1 基本模糊集运算	56
8.2.2 模糊集的基本定理	57
8.3 模糊聚类分析	58
8.3.1 聚类分析的数学模型	58
8.3.2 模糊关系	59
8.3.3 模糊关系的定义	60
8.4 模糊型识别	61
8.4.1 第一类模糊模型识别	61
8.4.2 第二类模糊模型识别	62
8.5 模糊决策	62
8.5.1 模糊意见集中决策	63
8.5.2 模糊二元对比决策	63
8.6 模糊综合评判决策	63
8.6.1 经典综合评判决策	63
8.6.2 模糊映射与模糊变换	64
习题	64
第 9 章 粗糙集理论	66
9.1 知识与知识系统	66

9.2	粗糙集与不精确范畴	66
9.3	知识约简与知识依赖	67
9.4	知识表达系统	67
9.5	粗糙集理论在信息融合中的应用	68
	习题	68
第 10 章	Monte Carlo 理论	70
10.1	Monte Carlo 基本理论	70
10.1.1	概述	70
10.1.2	Monte Carlo 方法	71
10.2	Markov Chain Monte Carlo 算法	73
10.2.1	Markov 链概念	74
10.2.2	Markov 过程的分类	74
10.2.3	齐次 Markov 链	75
10.2.4	隐式 Markov 模型	76
10.2.5	隐式半 Markov 模型	77
10.2.6	Metropolis-Hastings 算法	79
10.2.7	Gibbs 抽样	80
	习题	81
第 11 章	Dempster-Shafer 证据理论	82
11.1	Dempster-Shafer 理论基本概念	82
11.2	Dempster-Shafer 组合规则	83
11.3	Dempster-Shafer 组合规则的相关改进	83
11.4	Dempster-Shafer 理论的推广	84
11.4.1	广义 Dempster-Shafer 理论简介	84
11.4.2	条件化 Dempster-Shafer 理论	85
11.4.3	Dempster-Shafer 理论在模糊集合上的推广	86
	习题	87
第 12 章	估计理论	88
12.1	估计理论基础	88
12.1.1	一般概念	88
12.1.2	Bayes 点估计理论	89
12.1.3	加权最小二乘法估计	90
12.1.4	极大似然估计与极大后验估计	91
12.1.5	主成分估计	91
12.1.6	递推最小二乘法估计与最小均方估计	94
12.1.7	最佳线性无偏最小方差估计	95

12.2	混合系统多模型估计	96
12.2.1	多模型估计概念	97
12.2.2	定结构多模型估计	98
12.2.3	交互式多模型算法	101
12.2.4	变结构多模型算法	103
12.3	期望最大化方法	107
12.3.1	EM 方法描述	107
12.3.2	混合 Gauss 参数估计的 EM 算法	109
	习题	110
第 13 章	滤波器理论	111
13.1	基本概念	111
13.1.1	离散时间线性系统模型	111
13.1.2	连续时间线性系统的离散化	111
13.2	Kalman 滤波器	113
13.2.1	基本 Kalman 滤波器	113
13.2.2	信息滤波器	115
13.2.3	最优 Bayes 滤波器	116
13.2.4	扩展 Kalman 滤波器	118
13.2.5	迭代扩展 Kalman 滤波	121
13.2.6	强跟踪滤波器	122
13.2.7	无迹 Kalman 滤波	125
13.2.8	中心差分 Kalman 滤波器	127
13.3	粒子滤波器	129
13.3.1	粒子滤波方法	129
13.3.2	基本粒子滤波算法	133
13.3.3	辅助粒子滤波	135
13.3.4	正则粒子滤波	136
	习题	137

第三部分 多源数据融合算法

第 14 章	Bayes 决策	141
14.1	简介	141
14.2	基于最小错误率的 Bayes 决策	141
14.2.1	两类情况	141
14.2.2	多类情况	144
14.3	基于最小风险的 Bayes 决策	145

14.3.1	条件期望风险	145
14.3.2	期望风险	145
14.3.3	最小风险 Bayes 决策规则	145
14.3.4	最小风险 Bayes 决策的步骤	146
14.3.5	最小错误率与最小风险的 Bayes 决策规则的联系	146
	习题	146
第 15 章	正态分布时的统计决策	149
15.1	单变量正态分布	149
15.2	多元正态分布	150
15.3	多元正态分布情况下的 Bayes 分类方法	153
	习题	157
第 16 章	最大最小决策	158
	习题	160
第 17 章	神经网络	161
17.1	神经网络的概述	161
17.2	人工神经网络	161
17.3	BP 神经网络	162
17.4	神经网络的发展趋势及前沿问题	164
	习题	164
第 18 章	支持向量机	165
18.1	线性支持向量机基础	165
18.1.1	支持向量机标准形式	165
18.1.2	最优超平面	166
18.1.3	核函数	166
18.1.4	支持向量机算法	167
18.2	线性支持向量机	168
18.2.1	线性可分离的情况	168
18.2.2	线性不可分的情况	169
18.3	非线性支持向量机	169
18.4	新型支持向量机	170
18.5	小波支持向量机	171
18.5.1	小波概念	172
18.5.2	小波 SVM	172
	习题	173

第 19 章 Bayes 网络	174
19.1 Bayes 网络的概述	174
19.2 Bayes 网络的理论基础	174
19.3 Bayes 网络的表示	175
19.3.1 Bayes 网络的定义	175
19.3.2 Bayes 网络中的独立关系	176
19.4 Bayes 网络的构建	178
19.4.1 构建 Bayes 网络	178
19.4.2 Bayes 网络的结构学习	179
19.4.3 Bayes 网络的参数学习	180
19.5 Bayes 网络的推理	182
习题	184

第四部分 多源数据融合应用

第 20 章 分布式检测和融合	187
20.1 系统模型和决策融合规则	187
20.1.1 问题简述	187
20.1.2 决策融合规则	189
20.1.3 分层网络结构	189
20.2 性能分析	191
20.2.1 系统级的误警率	191
20.2.2 系统级的检测概率	192
20.2.3 仿真结果	193
20.2.4 渐进分析	195
20.2.5 决策融合规则的最佳性	195
20.3 局部传感器的阈值	199
习题	202
第 21 章 分布式目标追踪的高效管理策略	203
21.1 一般问题	204
21.2 贪婪策略	205
21.3 连续模型	206
21.4 随机游动	207
21.4.1 直接通信的最优策略	207
21.4.2 多跳转通信的最优策略	207
21.4.3 结合误差协方差	208

21.5	具有速度动态的目标运动	209
21.6	性能评价	211
21.6.1	CEC 策略的追踪算法	211
21.6.2	参照算法	212
21.6.3	CEC 策略中的传感器选择	212
21.6.4	切换为直接通信	213
21.7	强度测量实验	213
21.8	角度测量实验	216
21.8.1	随机游动	217
21.8.2	有速度的目标运动	217
21.8.3	灵敏度实验	218
	习题	220
第 22 章	数据融合的系统校准	221
22.1	问题陈述和知识预备	221
22.1.1	问题陈述	221
22.1.2	传感测量模型	222
22.1.3	多传感器融合模型	223
22.2	方法综述	224
22.2.1	系统架构	224
22.2.2	问题描述	225
22.3	在线本地标定	226
22.3.1	测量模型估计	226
22.3.2	在线模型估计	227
22.3.3	本地标定算法	229
22.4	最优系统级模型标定	230
22.4.1	已标定系统检测性能	230
22.4.2	最佳系统级标定	230
22.4.3	系统级标定算法	232
22.4.4	实验方法与设定	233
22.4.5	标定方法性能比较	234
22.5	标定方法性能分析	235
22.5.1	跟踪驱动仿真	235
22.5.2	基于综合数据的仿真	236
	习题	238
第 23 章	目标跟踪策略算法与数据融合	239
23.1	状态向量和测量级融合	242
23.1.1	状态向量融合	243

23.1.2	测量值数据级融合	243
23.1.3	数据融合效果	244
23.2	分解卡尔曼滤波器传感器数据表征与融合	244
23.2.1	传感偏差	245
23.2.2	误差状态空间卡尔曼滤波器	246
23.2.3	测量和过程噪声协方差估计	246
23.2.4	时间标记和时延误差	247
23.2.5	多传感器数据融合方案	247
23.3	平方根信息滤波器与非集中式结构中的融合	253
23.3.1	信息滤波器	254
23.3.2	平方根信息滤波器传感数据融合算法	255
23.3.3	非集中式平方根信息滤波器	255
23.3.4	滤波器性能分析	257
23.4	最近邻和概率数据关联滤波算法	258
23.4.1	最近邻 Kalman 滤波器	259
23.4.2	概率数据关联滤波	259
23.4.3	传感器以及多目标的跟踪和数据相关程序	261
23.4.4	数值仿真	265
23.5	针对机动目标跟踪的交互式多模型算法	267
23.5.1	交互式多模型 Kalman 滤波算法	267
23.5.2	目标移动模型	269
23.5.3	交互式多模型 Kalman 滤波器的实现	270
23.6	数据相关滤波器的联合概率	274
23.6.1	联合概率数据关联滤波器的通用版本	274
23.6.2	基于样本的粒子滤波器和联合概率数据相关滤波器	275
23.7	跟踪中的无序测量处理	276
23.7.1	无序测量问题的 Bayes 方法	276
23.7.2	单延迟无杂波的无序测量	277
23.8	数据共享和增益融合算法	278
23.8.1	基于 Kalman 滤波的融合算法	278
23.8.2	基于增益融合的算法	279
23.8.3	性能评估	280
23.9	全局融合与基于数据融合的 H 无穷滤波器	280
23.9.1	基于 H 无穷滤波器的传感器数据融合	282
23.9.2	基于 H 无穷后验滤波的融合算法	283
23.9.3	H 无穷全局融合算法	284
23.9.4	数值仿真结果	284

23.10	融合中的无导数 Kalman 滤波器	286
23.10.1	无导数 Kalman 滤波	287
23.10.2	数值仿真	287
23.11	导弹引导头估计	291
23.11.1	交互式多模型-增广扩展 Kalman 滤波算法	291
23.11.2	拦截器-逃避者的对抗仿真	294
23.11.3	基于扩展 Kalman 滤波的多扩展模型交互的性能评估	294
	习题	300
第 24 章	像素与特征的图像融合	301
24.1	简介	301
24.2	像素级和特征级图像融合的概念和算法	303
24.3	图像配准	303
24.3.1	基于区域的匹配	304
24.3.2	基于特征的方法	305
24.3.3	变换模型	307
24.3.4	重采样和变换	307
24.3.5	图像配准精度	307
25.4	用图像数据分割、矩心检测和目标追踪	308
24.4.1	图像噪声	308
24.4.2	指标性能评估	309
24.4.3	分割和矩心检测技术	310
24.4.4	数据生成和结果	312
24.4.5	雷达和成像传感器轨迹融合	313
24.5	像素级融合算法	314
24.5.1	主成分分析法	315
24.5.2	空间频率	317
24.5.3	性能评估	318
24.5.4	小波变换	325
24.6	激光和视觉数据的融合	329
24.6.1	3D 模型代	329
24.6.2	模型评估	330
24.7	特征级融合方法	330
24.7.1	外观和深度信息的融合	331
24.7.2	立体人脸识别系统	331
24.7.3	特征级融合	333
	习题	334

第五部分 多传感器管理

第 25 章 信息融合中的多传感器管理：问题与方法	337
25.1 简介	337
25.1.1 传感器管理的根本目的	337
25.1.2 传感器管理在信息融合中的作用	337
25.1.3 多传感器管理结构	338
25.1.4 多传感器管理中问题的分类	338
25.2 传感器管理问题的解决方案	340
25.2.1 原理与方法论	340
25.2.2 自上而下的传感器管理	341
25.3 传感器部署原则	343
25.3.1 概述	343
25.3.2 传感器部署相关的滤波	343
25.4 监视任务评价	345
25.4.1 基于决策树的评价	345
25.4.2 基于神经网络的评价	346
25.4.3 基于目标格序偏好的评价	346
25.5 信号获取的测量策略	348
25.5.1 测量类型(模式)	348
25.5.2 测量频率	348
25.5.3 目标检测的策略	349
25.6 传感器资源分配	350
25.6.1 基于搜索的传感器选择	350
25.6.2 传感器管理中的信息论方法	353
25.6.3 传感器规划中的决策理论	354
25.6.4 模糊逻辑资源管理	355
25.6.5 传感器分配中的 Markov 分类	355
25.7 面向协作的传感器行为	356
习题	358
参考文献	359

第一部分 研究现状