



装备科技译著出版基金

移动智能自主系统

Mobile Intelligent Autonomous Systems

[印度] Jitendra R. Raol [南非] Ajith K. Gopal 编

贾继红 钱继锋 徐柳 译

许爱芬 王晓燕 主审



国防工业出版社
National Defense Industry Press



CRC Press
Taylor & Francis Group



装备科技译著出版基金

移动智能自主系统

Mobile Intelligent Autonomous Systems

[印度] Jitendra R. Raol [南非] Ajith K. Gopal 编

贾继红 钱继锋 徐柳 译

许爱芬 王晓燕 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2015-103号

图书在版编目(CIP)数据

移动智能自主系统 / (印) 吉填德拉 R. 劳伊
(Jitendra R. Raol), (南非) 阿吉茨 K. 戈帕尔
(Ajith K. Gopal) 编; 贾继红, 钱继锋, 徐柳译. —
北京: 国防工业出版社, 2018. 9

书名原文: Mobile Intelligent Autonomous
Systems

ISBN 978-7-118-11594-9

I. ①移... II. ①吉... ②阿... ③贾... ④钱... ⑤徐...
... III. ①移动终端-智能终端-自动控制系统 IV.
①TN87

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 214762 号

Mobile Intelligent Autonomous Systems by Jitendra R. Raol and Ajith K. Gopal

ISBN: 978-1-4398-6300-8

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved.

本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

National Defence Industry Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版授权由国防工业出版社独家出版并仅限在中国大陆地区销售, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

※

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)

三河市众誉天成印务有限公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 49 1/4 字数 910 千字

2018 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 258.00 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

前 言

移动智能自主系统(MIAS)是一个新兴、快速发展的研究领域,被普遍认为是通用的研发领域。就现有研究成果而言,其研究对象主要面向机器人学,如野外机器人等。然而,本书中 MIAS 不仅仅面向机器人领域,还包括几项与之密切相关的技术,这些技术的一些要素如机动性、智能和/或自主性操作,不仅适用于机器人,而且适用于其他移动工具,如微型飞行器(MAV)和无人飞行器(UAV)。MIAS 研发中重要的子领域是:感知和推理;机动性能、自主性能和导航性能;触觉和远程操作;图像融合或计算机视觉;机器人及其操纵器的数学建模;机器人架构规划和学习行为的硬件或软件体系结构;交通工具中的机器人的路径与运动规划和控制;用于用户与机器人(含其他交通工具)之间交流的人机交互界面。人工神经网络(ANN)系统、模糊逻辑系统(FLS)、概率推理和近似推理(PAR)、静态和动态贝叶斯网络(SDBN)以及遗传算法(GA)等的应用促进了上述诸多领域的发展。在多层面的数据融合过程中,位置、纯方位跟踪运动融合,用于场景识别的图像融合和跟踪,用于构建全局模型的信息融合,用于跟踪和控制行动的决策融合以及多传感器数据融合(MSDF)技术也起着至关重要的作用。对于复杂任务的自动化、危险和敌对环境中的监视、困难作业中的人力援助、医疗和野外机器人、医院接收系统、自动诊断系统以及包括挖掘机器人在内的民用和军事系统而言,MIAS 是一项非常有用的技术。MIAS 的其他重要研究领域包括传感器和执行器的建模、传感器故障检测、管理与重构、对象场景理解、知识获取与表征以及学习和决策等。在 MIAS 中,通常被当作动态系统的有自主系统如无人地面车辆(UGV)、无人飞行器(UAV)、微型飞行器(MAV)、水下机器人、固定和自主移动机器人系统、灵巧机械手机器人、挖掘机器人、监视系统和网络化多机器人系统。

本书共有 35 章,涉及上述部分的各个方面。许多章节涉及崭新的研究主题以及近三四年来研究进展。关于机器人技术的各个方面研究成果丰富,但存在对某些方面的论述有限或高度专业化,有些又过于笼统的问题。本书论述的综合性较强,涵盖了几个相关的学科,这将有助于读者从系统理论和实践的角度来理解机器人技术和 MIAS。总的来说,本书在阐明术语的基础上,从开始就客观地陈述了与 MIAS 相关的各个方面的情况以及当前面临的问题,其主要目的

是讨论审议建立自主和/或智能移动系统所需学科;不过,本书并未涉及交通工具的机械和结构方面的内容。在可能的情况下,一些章节通过 MATLAB® 中的数值仿真编码举例说明了某些概念和理论。需要明确指出的是,本书所给的公式没有推导过程,读者可参见参考文献。此外,并非所有章节都讨论了移动性、自主性和智能化的各个方面。从整体来看,本书章节并未重复讨论各种基础概念、MIAS/机器人系统以及与 MIAS/机器人技术相关的技术。MIAS/机器人(理论与实践)这一集成技术的最终用户将是系统控制教育机构,研发实验室,航空航天机械和其他工业、运输和自动化行业、医疗和挖掘机器人开发机构等相关行业。

MATLAB® MathWorks 公司的商标。相关产品信息请联系:

The MathWorks, Inc.

3 Apple Hill Drive

Natick, MA 01760 -2098 USA

Tel: 508 - 647 - 7000

Fax: 508 - 647 - 7001

E - mail: info@mathworks. com

Web: www. mathworks. com

致 谢

在过去 40 年里,来自世界各地的研究人员为这个激动人心、引人入胜的领域做出了巨大贡献。该领域引发了各界人士的设想,特别是对于机器人技术、航空航天应用以及工业衍生品开发而言,其逐渐成为一种可实现性技术。在编写本书的过程中,我们与南非科学与工业研究理事会(CSIR)的 MIAS 小组和电子和通信工程部门(E&CE)以及 M. S. Ramaiah 研究所(MSRIT)的仪器技术(IT)部门的同事们的交流非常有价值。J. R. Raol 在几年前与国际出版商出版一本书时得到班加罗尔国家航天实验室(NAL)资深科学家 R. M. Jha 博士给予的非常实用的初步指点以及后续指导,在此对 R. M. Jha 博士表示衷心的感谢。同时非常感谢 S. Selvi 博士(E&CE 主管)、P. P. VenkatRamaiah 教授(IT 负责人)和 A. N. Myna 女士(MSRIT 信息科学与工程助理教授)的义务支持,尤其是 A. N. Myna 在本书的编写过程中不断提供帮助与支持。非常感谢所有作者为编写本书花费了大量的时间、精力和耐心,感谢他们为完成各章内容所做出的贡献。我们也非常感谢 CRC 出版社,特别是 Jonathan Plant 先生、Jennifer Ahringer 女士和 Amber Donley 女士在此期间对本书的全力支持。我们一如既往地感谢我们的配偶和孩子们给予我们的忍耐、关怀、爱戴、耐心和爱以及更多——他们是我们生活中的精神支柱。所有这些鼓舞着我们,并给予了我们巨大的力量在无数的未知和障碍中前进。

Jitendra R. Raol 和 Ajith K. Gopal

编者简介

Jitendra R. Raol, 于 1971 年和 1973 年获得瓦多达拉巴罗达 M. S. 大学电气工程工学学士学位和工程硕士学位。1986 年获得加拿大汉密尔顿麦克马斯特大学电气和计算机工程博士学位,并兼任研究员和助教。曾在瓦多达拉巴罗达 M. S. 大学执教两年,后于 1975 年加入国家航天实验室(NAL)。在 NAL,参与基于固定和运动飞行模拟器的驾驶员模型研究。1986 年博士毕业后,以 G-科学家(NAL 飞行力学与控制部(FM-CD)主管)的身份重新加入 NAL,直至 2007 年 7 月 31 日退休。随团访问叙利亚、德国、英国、加拿大、中国、美国 and 南非等国家。就系统识别、神经网络、参数估计、多传感器数据融合和机器人技术问题的研究,多次在国际会议上发表过技术论文,并进行客座演讲。他是英国国际电气工程师学会会员、美国国际电气和电子工程师学会高级会员,也是印度航空学会终身会员以及印度系统学会的终身会员。1976 年,凭借非线性滤波研究成果,获得印度工程师机构的 K. F. Antia 纪念奖。凭借关于不稳定系统参数估计研究成果,获得由印度工程师协会颁发证书;凭借关于传感器数据融合研究成果获得了最佳海报论文奖;凭借一篇与目标追踪相关研究成果,获得了印度电子和电信工程师协会所颁发的金牌和证书。因其对国家航空航天飞行器综合飞行力学与控制技术发展所做出的贡献,于 2003 年被授予南非科学与工业研究理事会(CSIR)著名的科技徽章,因在科技领域的突出表现,被授予盾形徽章、证书并获得 67000 美元的奖金。



Raol 博士发表了 110 篇研究论文,撰写了多份研究报告。曾经就建模、系统识别和参数估计方面的研究进展以及多源、多传感器信息融合研究进展,被 Sadhana(印度班加罗尔科学院出版的工程杂志)及《国防科学学报》特邀成为 MIAS 和航空航天电子设备及其技术相关两个特别专题的编辑。曾指导 6 名博士生和 8 名硕士生,目前正在指导 6 名教职人员攻读博士学位。与人合著《动态系统建模与参数估计》(2004 年,英国电机工程师协会出版)、《飞行力学建模与分析》(2008 年,美国 CRC 出版社出版)。主编了《多传感器数据融合与 MAT-

LAB》(2009 年, CRC 出版社出版)。曾担任数个咨询、技术项目评审和博士学位考试委员会的成员或主席。担任数个国家期刊和国际期刊的审稿人, 同时担任一家私人研发公司的董事会成员, 并兼任一所私立学院的董事会成员。主要研究方向为数据融合、系统辨识、状态或参数估计、飞行力学 - 飞行数据分析、 $H - \infty$ 滤波、ANN、模糊系统、遗传算法和机器人。同时撰写《诗意生活》(2009 年, 美国 Trafford 出版社出版)。2010 年印度 Pothi. com 网站刊登了《桑迪·邦兹》诗集, 收录了其 140 部作品。

Ajith K. Gopal 于 1997 年获得了南非纳塔尔大学机械工程科学学士学位。2000 年获得了复合材料结构分析方面的工程学科硕士学位。2003 年获得纳塔尔大学工程博士学位, 致力于智能材料吸能方面研究。拥有 12 年工作经验, 其中 8 年一直从事研发工作。2007 年于南非的 CSIR 负责建立 MIAS 研究组, 并于 2007 年和 2008 年担任了研究带头人。在 Elsevier 出版的《复合材料学报》和国际复合材料科技大会上发表了 4 篇有关复合材料和智能材料的论文, 并于《国防科学学报》上发表了 1 篇关于路径规划的论文。2010 年, 由 J. R. Raol 主编, CRC 出版社出版的《多传感器数据融合与 MATLAB》一书中, 撰写有关机器人数据融合的章节。还就 MIAS 问题被《国防科学学报》特邀编辑了 1 个特别专题。目前担任南非陆地系统公司的工程 and 项目经理, 负责公司的新技术战略和发展。



目 录

绪论	1
参考文献	8

第 1 部分 MIAS 基础概念

第 1 章 神经 - 模糊 - 遗传算法 - 人工智能范式	9
1.1 引言	9
1.2 人工神经网络	10
1.3 前馈神经网络	13
1.3.1 学习算法	14
1.4 递归神经网络	16
1.4.1 一些 RNN 变异型	16
1.5 基于 Hopfield 神经网络 - RNN 的参数估计	17
1.6 模糊逻辑和模糊系统	19
1.6.1 模糊推理机/系统	23
1.7 遗传算法	25
1.7.1 典型的遗传算法过程	27
1.7.2 遗传编程	29
1.8 与人工神经网络相结合的理念以及分类	29
1.8.1 结合人工神经网络的模糊逻辑方法输出或结果的分类	30
1.8.2 与人工神经网络的输出/结果相结合的基于 GA 的方法	30
1.8.3 GA - FL 混合方法	31
1.9 机器人技术中模糊神经遗传算法的一些可能应用	31
1.9.1 基于人工神经网络摄像头: 机器人协同	31
1.9.2 机器人的人工神经网络路径规划	32
1.9.3 GA - FL 综合合成	32

1.10 人工智能	33
1.10.1 像人类一样思考	33
1.10.2 像人类一样行动	33
1.10.3 理性思考或理性思维	33
1.10.4 理性行为	33
1.10.5 AI 前景	34
1.10.6 智能代理	35
1.10.7 智能 MIAS/机器人系统	36
参考文献	37
第2章 机器人运动的数学模型	38
2.1 引言	38
2.2 机器人空间定位	38
2.2.1 机器人位置	39
2.2.2 机器人及其连杆定位	39
2.2.3 旋转矩阵	40
2.2.4 齐次变换	41
2.3 机器人运动学	42
2.4 动态模型	43
2.4.1 运动方程	43
2.5 机器人的行走	44
2.6 概率机器人运动模型	45
2.6.1 测距法	46
2.6.2 航位推算	47
参考文献	48
第3章 移动智能自主系统中的数据融合	49
3.1 引言	49
3.2 为什么 MIAS 需要数据融合	50
3.3 MIAS 数据融合方法概述	51
3.4 结束语	58
参考文献	58
第4章 图像配准与融合	60
4.1 引言	60

4.2 图像配准	60
4.2.1 图像配准的步骤	62
4.2.2 卫星图像配准	65
4.2.3 文献综述	66
4.2.4 卫星图像配准方法	70
4.3 图像融合	79
4.3.1 图像融合模式	80
4.3.2 不同级别图像融合	80
4.3.3 图像使用方法	81
4.3.4 图像融合性能评价	81
4.3.5 利用模糊逻辑的图像融合	82
4.3.6 图像融合的 II 型模糊逻辑	84
参考文献	85
第 5 章 利用离散余弦变换的多传感器图像融合方法	89
5.1 引言	89
5.2 离散余弦变换的基础知识	90
5.3 多分辨率离散余弦变换	91
5.4 多传感器图像融合	94
5.5 融合质量评价指标	95
5.6 彩色图像融合	97
5.7 结果与讨论	101
5.8 结束语	104
参考文献	104
第 6 章 使用频谱框架的运动分割	106
6.1 引言	106
6.2 运动分割的主要方法	107
6.3 运动矢量的计算	108
6.4 最大似然框架	109
6.5 运动分割方法	110
6.5.1 运动检测	110
6.5.2 运动估计	113
6.5.3 谱框架聚类算法	113
6.6 结果讨论	114

6.7 结束语	118
参考文献	118
第7章 具有丢包链路的多智能体系统编队控制	120
7.1 引言	120
7.2 问题描述	122
7.3 基于估计的编队控制算法	124
7.4 在发生数据包丢失事件中传送数据以获得最佳估计	127
7.5 结果与讨论	128
7.6 结束语	131
参考文献	131

第2部分 MIAS 与机器人

第8章 机器人传感器与仪表	134
8.1 引言	134
8.2 传感器分类	135
8.2.1 电容和电感器件	136
8.2.2 压电换能器	137
8.2.3 压力传感器	137
8.2.4 弯曲/挠曲传感器	137
8.2.5 声纳传感器	137
8.2.6 红外传感器	137
8.2.7 光敏电阻/光电导体	138
8.2.8 车轮传感器	138
8.2.9 速度传感器	138
8.2.10 视觉传感器	139
8.3 其他传感器及其特点和应用	139
8.3.1 触摸(触觉)传感器	139
8.4 传感器的显著特性	140
8.4.1 精度	140
8.4.2 准确度	140
8.4.3 重复性	140
8.4.4 分辨率	140
8.4.5 灵敏度	141

8.4.6	线性度	141
8.4.7	测量范围	141
8.4.8	频率响应	141
8.4.9	可靠性	141
8.4.10	接口	141
8.4.11	传感器的尺寸、重量和体积	141
8.4.12	环境条件	142
8.5	执行器和效应器	142
8.6	信号调理	142
8.7	信号/数据通信和传感器网络	143
8.8	机器人仪器	144
8.9	微电子机械传感器系统	144
8.10	智能传感器	144
	参考文献	145
第9章	机器人导航与制导	146
9.1	引言	146
9.2	机器人导航	149
9.2.1	惯性导航	150
9.2.2	固定信标定位	150
9.2.3	光成像与超声成像	150
9.2.4	光学立体视觉	150
9.3	机器人制导	151
9.3.1	有线制导机器人	151
9.3.2	画线制导机器人	151
9.3.3	航位推算	151
9.3.4	触觉检测	152
9.3.5	距离检测	152
9.4	导航任务的总结	153
9.5	导航与制导的应用数学	154
9.6	模糊逻辑控制的移动机器人跟踪	155
	参考文献	155
第10章	机器人路径及运动规划	156
10.1	引言	156

10.2	经典方法	158
10.2.1	路线图法	158
10.2.2	单元分解法	159
10.2.3	势场法	159
10.2.4	数学规划法	159
10.3	试探法	159
10.3.1	人工神经网络	160
10.3.2	遗传算法	160
10.3.3	模拟退火法	160
10.3.4	粒子群优化算法	161
10.3.5	蚁群法	161
10.3.6	协同机制	161
10.3.7	小波理论	162
10.3.8	模糊逻辑	162
10.3.9	禁忌搜索	162
10.4	机器人路径规划	163
10.4.1	空间配置	163
10.4.2	图表	164
10.4.3	广度优先搜索	164
10.4.4	Dijkstra 算法	165
10.5	其他算法	165
10.5.1	Bug 算法	165
10.5.2	势能函数	166
10.5.3	A* 算法	166
10.5.4	D* 算法	167
10.5.5	聚焦 D* 算法	168
10.5.6	D* 算法简化	168
10.6	图形表示	169
10.6.1	网格表示	169
10.6.2	可视图	169
10.6.3	四叉树	169
10.6.4	方向表示	170
10.7	动力学算法	170
10.7.1	动态 Bug 算法	170
10.7.2	A* 算法	171

10.7.3	次优 A* 算法	171
10.7.4	D* 算法	171
10.7.5	机器人运动轨迹规划	172
10.8	A* 算法与模糊逻辑组合	172
10.9	多 Agent 系统路径规划	173
10.10	A* 算法路径规划问题图表	174
	参考文献	174
第 11 章	失序测量丢失数据问题	176
11.1	引言	176
11.2	背景问题的信息	177
11.2.1	系统和模型描述	178
11.2.2	用于延时测量的融合过程	179
11.3	现有的各种方法	180
11.3.1	OOSM	180
11.3.2	多重插补方法	181
11.4	仿真实验	184
11.4.1	实验 I	184
11.4.2	实验 II	187
11.5	探讨 OOSM 实验与结论	189
	参考文献	190
第 12 章	动态与不确定环境中基于遗传算法的移动机器人 路径规划	193
12.1	引言	193
12.2	二维平面中路径的表示	194
12.3	动态障碍物的表示	196
12.4	沿坐标轴的矩形框组成的障碍物	196
12.5	基于遗传算法的路径规划的实现	198
12.5.1	数值仿真案例	199
12.6	基于 GA 的运动规划	200
12.7	结束语	202
	参考文献	202
第 13 章	机器人时态逻辑运动规划	203
13.1	引言	203

13.2	自主性的重要性	204
13.3	一般问题定义	205
13.4	时态逻辑概述	206
13.4.1	线性时态逻辑	206
13.4.2	计算树逻辑	207
13.4.3	时间计算树逻辑	208
13.4.4	概率时态逻辑	210
13.5	机器人验证概述	211
13.5.1	运动规划方案合成	211
13.5.2	运行验证	216
13.6	分析	218
13.7	建议方法	220
13.8	案例研究	222
13.9	未来可能性	224
	参考文献	225
第 14 章	军队路径查寻问题的约束规划求解	228
14.1	引言	228
14.2	路径查寻方法概述	229
14.2.1	解决动态路径查寻问题的 D^* 算法	230
14.3	约束满足问题综述	233
14.4	军队路径查寻约束满足问题	233
14.4.1	解决军队静态路径查寻的约束满足问题	234
14.4.2	解决军队动态路径查寻的约束满足问题	235
14.4.3	MUPFP_ D^* 算法	236
14.5	结束语	243
	参考文献	243
第 15 章	移动车辆的同时定位和映射	245
15.1	引言	245
15.2	SLAM 问题	246
15.2.1	SLAM 的概率形式	246
15.2.2	SLAM 结构的观察	247
15.3	SLAM 问题的解决方法	248
15.3.1	SLAM 的收敛	248

15.3.2	计算方面	248
15.3.3	数据关联	250
15.3.4	非线性	251
15.4	用于 SLAM 的数学公式	251
15.4.1	数学模型	252
15.4.2	地图表达	252
15.5	依据 $H-\infty$ 滤波器的移动机器人 SLAM	253
15.5.1	健壮滤波	253
15.5.2	$H-\infty$ 范数	253
15.5.3	$H-\infty$ 滤波器	254
15.5.4	数学模型	254
15.5.5	$H-\infty$ 后验滤波器	255
15.6	数据仿真结果	255
	参考文献	260
第 16 章	机器人和移动车辆架构	262
16.1	引言	262
16.2	架构设计	262
16.2.1	系统可靠性	262
16.2.2	泛化特征	263
16.2.3	系统适应性	263
16.2.4	系统模块	263
16.2.5	自主行为	263
16.2.6	健壮性	264
16.2.7	任务执行的可扩展性	264
16.2.8	反应性	264
16.2.9	人工智能	264
16.2.10	机动性	264
16.3	机器人传感—规划—行为范式	265
16.3.1	传感	265
16.3.2	规划	265
16.3.3	行为范式	265
16.4	机器人架构	266
16.4.1	基于功能的架构	266
16.4.2	基于行为的架构	266