



国际机械工程先进技术译丛



移动机器人学 科学方法

——智能体行为的量化分析

**Scientific Methods
in Mobile Robotics**

(德) 乌尔里希·内姆佐夫 (Ulrich Nehmzow) 著
张文增 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际机械工程先进技术译丛

移动机器人学科学方法

——智能体行为的量化分析

(德) 乌尔里希·内姆佐夫 (Ulrich Nehmzow) 著

张文增 译



机械工业出版社

本书原著是由自主移动机器人领域知名人士 Ulrich Nehmzow 博士撰写,在英国很受欢迎,并且在意大利、西班牙和加拿大等国被多所高等院校作为教材使用。

与移动机器人传统处理方式不同,本书基于动力系统、混沌、神经网络、统计学和系统辨识等理论,第一次运用量化分析和计算机建模对机器人、任务和环境三者交互行为建立了完整统一的形式化理论研究体系。这是一个全新的前沿视角,也是解决此类长期困扰我们的复杂问题的全新途径。

本书作为反映最新前沿技术的书籍,从基本概念到应用实例进行了系统的阐述,内容全面、重点突出、理论与实例并重,叙述风格深入浅出,能够很好地将理论介绍给相关领域的一般研究人员和专家学者。

Scientific Methods in Mobile Robotics—Quantitative Analysis of Agent Behaviour By U. Nehmzow

Copyright© Springer-Verlag London Limited 2006

Authorized translation from English language edition published by Springer. All right reserved.

China Machine 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.

北京市版权局著作权合同登记号:01-2008-2962

图书在版编目(CIP)数据

移动机器人学科学方法:智能体行为的量化分析/(德)内姆佐夫(Nehmzow, U.)著;张文增译.—北京:机械工业出版社,2009.11
(国际机械工程先进技术译丛)
ISBN 978-7-111-28976-0

I. 移… II. ①内…②张… III. 移动式机器人—研究 IV. TP242

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第203346号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:孔劲 责任编辑:舒雯 版式设计:霍永明

封面设计:鞠杨 责任校对:张媛 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2010年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·12.5印张·240千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-28976-0

定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

献给 RobotMODIC 项目组：

史蒂夫·比灵斯 (Steve Billings)、司奥查理士·凯莉奥考 (Theocharis Kyriacou)、罗伯特·伊格莱西亚斯·罗德里格 (Roberto Iglesias Rodriguez)、凯斯·沃克 (Keith Walker) 和胡戈·维埃拉·内图 (Hugo Vieira Neto)、以及她的支持团队：

克劳迪娅 (Claudia) 和亨里雅塔·内姆佐夫 (Henrietta Nehmzow)、玛利亚·凯瑞考 (Maria Kyriacou)、米凯莱·维埃拉 (Michele Vieira) 和玛克辛·沃克 (Maxine Walker)

译丛序言

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是20世纪80年代提出的，由机械制造技术发展而来。通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及到机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术具有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械设备、电子通信设备、仪器等；
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等；
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方面发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式上主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来,国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用,制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到,我国制造业与工业发达国家相比,仍存在较大差距。因此必须加强原始创新,在实践中继承和改造,学习国外的先进制造技术和经验,提高自主创新能力,形成自己的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史,可以追溯到唐朝甚至更远一些,唐玄奘去印度取经可以说是一段典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式,早在20世纪初期,我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》,其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》,对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体,图书是一个海洋,虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段,但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性,看书总比在计算机上看资料要方便,不同层次的要求可以参考不同层次的图书,不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书,同时它具有比较长期的参考价值和收藏价值。当然,技术图书的交流具有时间上的滞后性,不够及时,翻译的质量也是个关键问题,需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者作出贡献,为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源,翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作,从而能够提升我国制造业的自主创新能力,引导和推进科研与实践水平不断进步。

三、选译严谨质高面广

1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书,在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量,力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2) 专家选译把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担,充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书,组成一套“国际机械工程先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性,应能代表相关专业的技术前沿,对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业,例如机械、材料、能源等,既包括对传统技术的改进,又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、

研究人员和工程技术人员，高等院校的教师和学生，可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版“国际机械工程先进技术译丛”的专家学者，积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

本套丛书希望能对广大读者的工作提供切实的帮助，欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

原 书 序

移动机器人广泛地应用于运输、监视和医疗等一系列领域。在所有这些应用中，分析和控制移动机器人的性能显然是非常重要的，而让人惊讶的是目前仍难以找到实现这一目标的公式化方法。本书介绍了基于统计学、动力系统理论和系统辨识的，可以解决这些问题的方法和过程。核心目标是力图以一种易懂的方式解释清楚机器人、任务和环境之间的交互性，以便于以一种系统化和结构化的方式来分析系统特征、设计控制器以及复制行为。实现任务的移动机器人构建的公式化方法代表着一种解决此类复杂问题的全新途径。

内姆佐夫（Nehmzow）博士已经杰出地完成了建立和描述一个统一框架的工作，该框架清楚地陈述了建立移动机器人理论的关键问题。得益于精心的题目组织和清楚的说明，本书很好地介绍了此专业领域的一些新方向。与移动机器人传统处理方式不同，内姆佐夫博士对一些长期存在的问题提供了一种全新的视角。我确信此专业领域中激动人心的崭新一页才刚刚开始。本书所涉及的概念都十分易懂，它一定会带来广泛的反响，我相信未来若干年这都会是一本非常有价值的参考书。

史蒂芬 A. 比灵斯（S. A. Billings）

译者序

机器人学是一门交叉学科，涉及机械、控制、传感器技术、信号处理、模式识别、人工智能和计算机技术等学科。近年来，移动机器人特别是自主式移动机器人成为机器人研究领域的重点之一。自主式移动机器人，即能够按照预先给定的任务指令，根据已知的地图信息作出全局的路径规划，并在行进过程中不断感知周围的局部环境信息，自主地作出各种决策，引导自身安全运动，并执行要求的动作和操作。自1961年美国Unimation公司研制出世界上第一台往复式工业机器人以来，机器人的发展经历了三个阶段：第一代示教再现机器人，第二代传感控制机器人，第三代智能机器人，其中第三代智能机器人是人类的最高梦想，也最受人关注。

美国麻省理工学院（MIT）人工智能研究所的创始人明斯基教授（M. Minsky）长期担任所长一职，是人工智能研究的象征性人物，在智能机器人、人工智能、计算机领域享有盛誉，曾获得图灵奖。他最著名的成就是20世纪70年代初期发表的有关于智能的一般说明性的理论框架。他在《心智社会》（Society of Mind）这本书中最早提出智能体（Agent）这一概念，用它来描述一个具有自适应、自治能力的硬件、软件或其他任何自然物和人造物，从而在人工智能各领域中掀起了研究基于智能体（Agent-based）的技术和基于智能体的系统（Agent Architecture）的高潮，并逐渐为心理学、生物学、物理学等学科所应用。

20世纪80年代初，美国麻省理工学院（MIT）布鲁克斯教授（R. A. Brooks）更是将智能机器人和人工智能的研究推向了一个广泛研究的高潮，他们特别提出了现场人工智能（Situated AI）的全新概念。他们认为，传统的孤立地研究智能现象的方法具有很大局限性。他们主张应该从智能体与环境的交互中（即现场中）研究智能现象，以解决人工智能中的无数困难问题。这种新的人工智能研究思路，有人把它称为“自主智能体研究”（Autonomous Agent Research），也有人称之为“基于行为的人工智能”或“自下而上的人工智能”，以区别于经典的“基于知识的人工智能”，或“自上而下的人工智能”。

21世纪，计算机网络为人工智能带来了第二个黄金时代。计算机网络一方面丰富了人工智能的某些研究领域，另一方面也提出了许多新的人工智能领域非常重要的研究课题——基于智能体的技术（Agent-based Technology）就是其中非常热门的研究前沿课题。

本书作者长期致力于智能体行为量化分析研究，受邀在多个国家的许多大学讲授本书的主要内容，受到普遍欢迎。本书的最大的成就在于基于统计学和现代的动力系统、混沌、神经网络及系统辨识等理论，第一次运用量化分析和计算机建模建立了对移动机器人、任务和环境的交互性的完整、统一的形式化理论框架体系，并给出了大量移动机器人学实例以及对它们的量化分析，从而成为解决移动机器人和智能体复杂行为问题的重要途径。同时本书从基本概念到应用实例进行了系统的阐述，内容全面、重点突出、理论与实例并重，叙述风格深入浅出，能够很好将理论介绍给相关领域的一般研究人员和专家学者，可作为高等院校机器人、自动控制、计算机、人工智能、模式识别和生物医学工程等专业的机器人课程或人机交互行为课程的教材，也可作为从事机器人相关工作的科研及技术人员的参考书。

张文增
于清华园

前 言

本书是关于行为研究的科学方法，这里的“行为”代表任何“有行为”智能体的行为，它可以是生命，也可以是机器。因此，它既包括了机器人行为的分析，又不严格局限于此。本书中所讨论的内容同时适合于生物学家和机器人学家。

这里的“科学方法”代表着获得系统知识的原理和过程 [Merriam Webster, 2005]，包括以下一些方面：

- 1) 问题的辨识与设定；
- 2) 实验过程，包括实验的设计、观察的过程、数据的采集和解释；
- 3) 假设的设定与检验。

本书所提出的假设是行为（主要指运动）可以被量化地描述和分析，并且这些量化的描述可以用于支持原理性的研究、实验的重复和独立验证。

本书本身就是一个实验。除了分析智能体行为外，作为机器人学领域的实践者，我们还将机器人学研究的实践扩展到行为的精确描述，并对它进行可检验的预测，再到实验结果的独立复制和验证的一整套标准过程中。

我非常高兴介绍本书的内容。它们开辟了机器人学研究的一条新路，这条路将把读者引入生动活泼、激动人心和富有成果的讨论与新研究中（6.7节中的Java机器人就是其中一例）。用量化的方法解释实验结果的研究方式使我们实验室中产生了许多全新的实验方法。例如，不是简单地开发一个自我充电的机器人，而是力图找到一个基线，用它来作为比较实验结果的“标准”。这意味着，发表的论文将不再仅仅包含对于特殊结果的描述（存在性证明），还要与机器人学领域建立的基线进行量化比较。

至今对于这些争议的反响确实令人吃惊！似乎基本上不存在中间地带。关于在机器人学中采用科学方法的观点将研究者们划分为两个泾渭分明的阵营。我们来看看全面的反响：一方面，一个著名的机器人学方面的期刊甚至拒绝对任务辨识的相关论文进行同行评议，并且在还没有进行评审的情况下就已经拒绝发表了。另外，在一次研讨会上，听众差不多睡着了！另一方面，两天后同样的话题却引起了要求追加一个晚上以便第二天进一步讨论的结果（并且这是在两个小时的讨论之后提出的）。意大利巴勒莫大学（Palermo University）、西班牙圣地亚哥联合大学（Santiago de Compostela University）和加拿大纽芬兰纪念大学（Memorial University Newfoundland）要求“机器人学科学方法”作为一个校

外课程，这改变了他们所有机器人学专业学生的时间表，并且学校还要对他们进行关于这些客座讲座的考核。

对于这个反响，我很受鼓舞，因为它们表明移动机器人学科学方法这一主题并不是盲目和随意提出的，也不是偏离机器人主题的，而是对于我们学科的一个重要延伸。本书的目的是找出并且鼓励有关该主题的理论化和系统化的科学讨论。如果你愿意享受一场很好的辩论，我相信你将会很喜欢本书！

致 谢

科学从来不会在孤立中完成，而是主要依靠外部协作，“铁磨铁，磨出刃来，朋友相感，也是如此”（《旧·箴》，27，17）。本书的诞生也证明了这一点。本书所列的实验和结果都是全世界同仁们合作的结果。他们中的许多人也因此成了朋友，我感激我所获得的所有支持和帮助。

本书所讨论的绝大多数实验是在英国埃塞克斯大学（University of Essex）开展的，这儿有我们新机器人学研究实验室，该实验室提供了用于进行本书所作研究的优良设备。我从与埃塞克斯大学分析与辨识机器人学小组的每个人的讨论中受益匪浅，他们是：西奥·凯瑞考（Theo Kyriacou）、胡戈·维埃拉·内图（Hugo Vieira Neto）、里博·史贝克（Libor Spacek）、约翰·福特（John Ford）和顾东兵（Dongbing Gu）等，还有我的同事杰夫·雷诺兹（Jeff Reynolds）。本书的相当一部分实际上是写于访问澳大利亚卧龙岗大学（University of Wollongong）的飞利浦·迈凯洛（Phillip Mckerrow's）项目组期间，我感激他们的支持以及埃塞克斯大学的公休假。提到公休，美国圣地亚哥市洛马拿撒勒大学的凯斯·沃克（Keith Walker）和西班牙圣地亚哥联合大学电子和计算机科学系的罗伯特·伊格莱西亚斯·罗德里格斯（Roberto Iglesias Rodriguez）在他们到埃塞克斯大学的公休期间对本书作出了重要贡献。我还欠一些其他学科的同事的情，特别是生命科学学科的同事们，他们对本书所提出的方法在生物学、心理学等方面的应用给予的评论让我很感激。特别感谢德国法兰克福市歌德大学的沃尔夫冈（Wolfgang）和罗斯维萨·威尔兹克（Roswitha Wiltschko）以及他们团队的支持。

如果没有我的同事兼朋友——英国谢菲尔德大学（University of Sheffield）的史蒂芬·比灵斯（Steve Billings）的帮助和所承担的工作，我的同事兼朋友——西奥·凯瑞考（Theo Kyriacou）提供的帮助以及英国工程师与物理科学研究委员会的支持，将不会形成本书讨论工作的支柱——RobotMODIC（Robot Modelling, Identification and Characterisation）项目。我从所有的科学、技术、财务和道义上的支持中受益良多，感谢我的同事们和赞助者们。

最后，我要感谢所有我在德国的家人，感谢他们坚定、美好和慷慨的爱与支持。我的妻子克劳狄娅（Claudia），如支持我的第一本书一样，一路走来提供了许多建设性的帮助，而亨里雅塔（henrietta）乐于被“品评”。感谢你们！

乌尔里希·内姆佐夫（Ulrich Nehmzow）

目 录

译丛序言

原书序

译者序

前言

致谢

第 1 章 移动机器人学简介	1
1.1 本书不是关于移动机器人学的	1
1.2 什么是移动机器人学	1
1.3 行为的产生	4
1.4 自主移动机器人学研究问题举例	7
1.5 小结	8
第 2 章 移动机器人学科学方法介绍	9
2.1 引言	9
2.2 动机：分析机器人学	11
2.3 看作执行计算的机器人——环境交互	13
2.4 机器人—环境交互理论	14
2.5 机器人工程与机器人科学	16
2.6 科学方法与自主移动机器人	17
2.7 本书所用的工具	24
2.8 小结：实验的移动机器人学和科学的移动机器人学的对比	24
第 3 章 描述实验数据的统计工具	25
3.1 引言	25
3.2 正态分布	26
3.3 样本比较的参数方法	29
3.4 样本比较的非参数方法	37
3.5 序列的随机性检验	47
3.6 趋势的参数检验（相关分析）	50
3.7 趋势的非参数检验	57
3.8 分类数据分析	62
3.9 主成分分析法	72
第 4 章 动力系统理论和智能体行为	76
4.1 引言	76

4.2 动力系统理论	76
4.3 通过相空间分析量化描述(机器人)行为	85
4.4 初始条件敏感性:李雅普诺夫指数	89
4.5 非周期性:吸引子的维数	102
4.6 小结	105
第5章 智能体行为的分析——案例研究	107
5.1 随机移动机器人的运动分析	107
5.2 混沌步行者(Chaos Walker)	111
5.3 信鸽飞行路径的分析	117
第6章 机器人—环境交互的计算机建模	123
6.1 引言	123
6.2 关于机器人建模的一些实际考虑	125
6.3 案例研究:人工神经网络模型获取	127
6.4 线性多项式模型和线性递推关系	132
6.5 NARMAX 建模方法	138
6.6 精确仿真:环境辨识	139
6.7 任务辨识	155
6.8 传感器辨识	165
6.9 两种行为何时会相同	168
6.10 结论	173
第7章 结论	175
7.1 动机	175
7.2 机器人—环境交互的量化描述	176
7.3 机器人—环境交互理论	177
7.4 前景:走向分析机器人学	178
参考文献	180

第 1 章 移动机器人学简介

概要：本章简要介绍了移动机器人学，目的是为不熟悉此领域的读者提供必要的背景知识。

1.1 本书不是关于移动机器人学的

本书确实不是关于移动机器人学的！本书只是从移动机器人学的角度来写的，虽然所给的是移动机器人学的例子，但是它所解决的问题是关于行为分析的。此处，行为是一个非常宽泛的概念，它可能涉及到移动机器人的运动、机器人臂部的轨迹、在迷宫中打转的老鼠、飞回家的信鸽、高速公路上的交通或者数据网络中的通信。简而言之，本书关注动力系统行为的描述，它可以是物理实体，也可以是仿真的。它的目标是量化地分析行为、比较行为，建立模型并且作出预测。本书中的内容不仅与机器人学家有关，而且与心理学家、生物学家、工程师、物理学家和计算机科学家都有关。

鉴于本书所提到的例子都是来自移动机器人学领域，所以明智的做法是给阅读此书的所有非机器人学家做一个关于移动机器人的非常简短的介绍。有关移动机器人全面的讨论可以参看文献 [Nehmzow, 2003a]，如果此书被用作教材，建议学生首先阅读关于移动机器人学的总体介绍，参见文献 [Nehmzow, 2003a, Siegwart and Nourbakhsh, 2004, Murphy, 2000]。

1.2 什么是移动机器人学

图 1.1 是一个典型的移动机器人——麦哲伦专业版 Radix，用于埃塞克斯大学的实验项目。该机器人配备有超过 50 个机载传感器和一台机载计算机，能够通过这些传感器感知环境，利用计算机处理信号，并且通过计算控制自身的空间运动。

Radix 是完全自主的，这意味着它不依赖于外部世界的任何联系，它会自我充电，因此不需要电源的电缆线；它自身带有计算机，因此不需要外部控制机构的有线或无线的连接。它也无需人类的远程遥控，能自主地与它所处环境进行交互，并且无需外部干预而确定自己的运动。

不是所有的移动机器人都是自主的，但是所有的移动机器人都能够实现位

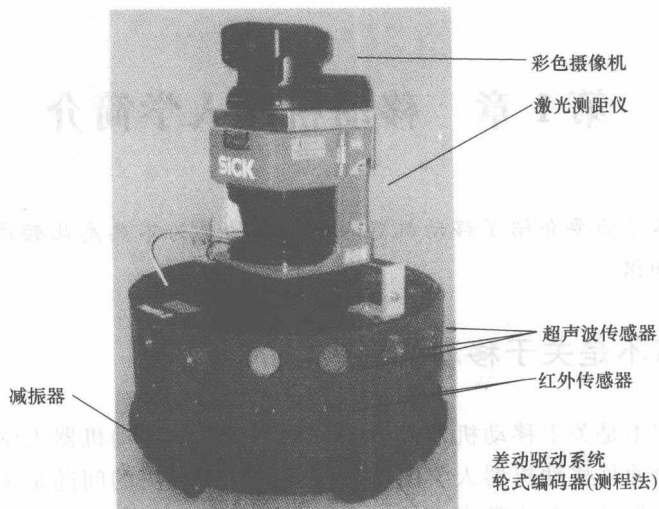


图 1.1 Radix (本书讨论的实验中使用的麦哲伦专业版移动机器人)

置移动。这可以通过使用腿或者轮子来实现，还有的移动机器人可以爬壁、游泳或者飞行。移动机器人学科关注的机器人控制问题有：它们如何能够实现被赋予的任务？如何将它们设计得更加可靠，能在存在传感器噪声、矛盾和错误信息的更大范围的环境条件中运行？这些正是移动机器人学要解决的问题。

1.2.1 工程

移动机器人由硬件构成：传感器、驱动器、电源、计算用的硬件、信号处理硬件、通信用的硬件等。这意味着在设计移动机器人时需要有很强的工程基础和关于机器人学工程方面的大量背景知识 [Critchlow, 1985, McKerrow, 1991, Fuller, 1999, Martin, 2001]。机器人学工程方面的期刊有很多，包括：《Advanced Robotics》、《Automation in Construction, Industrial Robot》、《IEEE Trans. on Robotics》、《IEEE Trans. On Automation Science and Engineering》、《International Journal of Robotics Research》、《Journal of Intelligent and Robotic Systems》、《Mechatronics》、《Robotica》、《Robotics and Autonomous Systems and Robotics》和《Computer Intergrated Manufacturing》等。

1.2.2 科学

自主移动机器人在感知与行动之间形成了一个闭环，它能通过传感器感知环境，使用机载的计算机处理信息，然后通过运动对此进行响应。这一方式带来一些有趣的问题，例如，如何实现“智能”行为的问题；什么是实现任务行为的基础；通过什么机制能够实现类似“智能”的行为。其次，机器人与环境