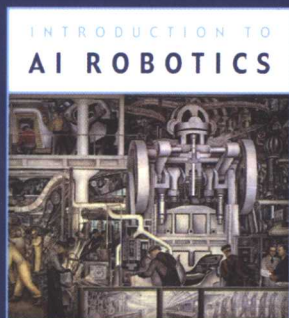


国外计算机科学教材系列

人工智能 机器人学导论

Introduction to AI Robotics



ROBIN R. MURPHY

[美] Robin R. Murphy 著

杜军平 吴立成 胡金春 等译

孙增圻 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

经典教材

人工智能机器人学导论

Introduction to AI Robotics

本书所包含的内容对于理解机器人中的人工智能方法是必不可少的，同时它也包含了人工智能机器人在感知、导航、路径规划、不确定导航等方面所必需的内容。本书作者 Robin R. Murphy 善于将理论与实际紧密地加以结合。例如在概述中，她在具体介绍如何组织机器人进行螺栓螺母作业的智能之前，先从古典影片和科幻故事中引出了像人的机器人。

在概述之后，作者将人工智能与一般的工程方法进行了对照和比较，讨论了她所称的人工智能机器人的三种范式：慎思式、反应式及慎思/反应混合式。其后的章节探讨了移动机器人的多智能体合作场景、导航和路径规划，并介绍了计算机视觉和距离传感器的基础内容。本书每章均包含有章节目标、复习题和练习。其中许多章还包括如何将概念应用于实际机器人的一个或多个案例研究。

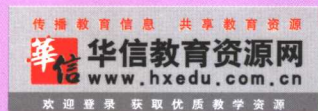
本书也是“智能机器人和自主智能体”系列丛书之一。

孙增圻

清华大学计算机系教授，博士生导师，中国人工智能学会副理事长，中国自动化学会常务理事，中国系统仿真学会理事，中国自动化学会机器人竞赛工作委员会主任，IEEE 控制系统学会北京分会副主席。长期从事智能控制及机器人方面的教学和研究工作，在智能控制、机器人、模糊系统和神经网络、计算机控制理论及应用、控制系统 CAD 等方面颇有研究，共有 7 项科研成果获得国家教育部科技进步奖。



ISBN 7-5053-9952-7



责任编辑：李秦华
特约编辑：李玉龙
封面设计：毛惠庚

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书

ISBN 7-5053-9952-7 定价：29.00 元

国外计算机科学教材系列

人工智能机器人学导论

Introduction to AI Robotics

[美] Robin R. Murphy 著

杜军平 吴立成 胡金春 等译
孙增圻 审校

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了人工智能机器人在感知、导航、路径规划、不确定导航等领域的主要内容。全书共分两大部分。第一部分共八章，它定义了什么是人工智能机器人，并介绍了为什么需要人工智能。重点介绍了人工智能机器人中智能组织的三个主要结构范式：慎思式、反应式及慎思/反应混合式。这部分还专门介绍了反应式行为的感知和编程技术，以及多智能体群体之间的协调和控制等问题。第二部分共四章，其中三章讲述了定性和定量导航、路径规划技术和在不确定性管理方面的工作。最后一章总结性地介绍了计算机视觉方面的最新技术在机器人中的应用，以及移动机器人在各个领域应用的发展展望。本书每章后均附有参考文献和习题。许多章节还列举了一些实例，用以说明本书讲述的概念和方法在实际机器人中的应用。

本书内容丰富，反映了智能机器人学的基础和先进的理论和技术。本书可作为计算机、电子及自动化等专业本科高年级学生和研究生教材或参考书，也可供从事智能机器人方面研究的教师和研究人员进行学习参考。

Second printing, 2002

© 2000 Massachusetts Institute of Technology

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form by any electronic or mechanical means (including photocopying, recording, or information storage and retrieval) without permission in writing from the publisher.

Chinese Simplified language edition published by Publishing House of Electronics Industry, Copyright © 2004

本书中文简体版专有出版权由 MIT Press 授予电子工业出版社，未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字：01-2003-2041

图书在版编目 (CIP) 数据

人工智能机器人学导论 / (美) 墨菲 (Murphy, R. R.) 著; 杜军平等译. - 北京: 电子工业出版社, 2004.10
(国外计算机科学教材系列)

书名原文: Introduction to AI Robotics

ISBN 7-5053-9952-7

I. 人... II. ①墨... ②杜... III. 智能机器人-教材 IV. TP242.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 096830 号

责任编辑: 李秦华 特约编辑: 李玉龙

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 19 字数: 486.4 千字

印 次: 2004 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换；若书店售缺，请与本社发行部联系。联系电话：(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

出版说明

21世纪初的5至10年是我国国民经济和社会发展的关键时期,也是信息产业快速发展的关键时期。在我国加入WTO后的今天,培养一支适应国际化竞争的一流IT人才队伍是我国高等教育的重要任务之一。信息科学和技术方面人才的优劣与多寡,是我国面对国际竞争时成败的关键因素。

当前,正值我国高等教育特别是信息科学领域的教育调整、变革的重大时期,为使我国教育体制与国际化接轨,有条件的高等院校正在为某些信息学科和技术课程使用国外优秀教材和优秀原版教材,以使我国在计算机教学上尽快赶上国际先进水平。

电子工业出版社秉承多年来引进国外优秀图书的经验,翻译出版了“国外计算机科学教材系列”丛书,这套教材覆盖学科范围广、领域宽、层次多,既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。这些教材涉及的学科方向包括网络与通信、操作系统、计算机组织与结构、算法与数据结构、数据库与信息处理、编程语言、图形图像与多媒体、软件工程等。同时,我们也适当引进了一些优秀英文原版教材,本着翻译版本和英文原版并重的原则,对重点图书既提供英文原版又提供相应的翻译版本。

在图书选题上,我们大都选择国外著名出版公司出版的高校教材,如Pearson Education培生教育出版集团、麦格劳-希尔教育出版集团、麻省理工学院出版社、剑桥大学出版社等。撰写教材的许多作者都是蜚声世界的教授、学者,如道格拉斯·科默(Douglas E. Comer)、威廉·斯托林斯(William Stallings)、哈维·戴特尔(Harvey M. Deitel)、尤利斯·布莱克(Uyless Black)等。

为确保教材的选题质量和翻译质量,我们约请了清华大学、北京大学、北京航空航天大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通大学、国防科学技术大学、解放军理工大学等著名高校的教授和骨干教师参与了本系列教材的选题、翻译和审校工作。他们中既有讲授同类教材的骨干教师、博士,也有积累了几十年教学经验的老教授和博士生导师。

在该系列教材的选题、翻译和编辑加工过程中,为提高教材质量,我们做了大量细致的工作,包括对所选教材进行全面论证;选择编辑时力求达到专业对口;对排版、印制质量进行严格把关。对于英文教材中出现的错误,我们通过作者联络和网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订。

此外,我们还将与国外著名出版公司合作,提供一些教材的教学支持资料,希望能为授课老师提供帮助。今后,我们将继续加强与各高校教师的密切联系,为广大师生引进更多的国外优秀教材和参考书,为我国计算机科学教学体系与国际教学体系的接轨做出努力。

电子工业出版社

教材出版委员会

- | | | |
|----|-----|---|
| 主任 | 杨芙清 | 北京大学教授
中国科学院院士
北京大学信息与工程学部主任
北京大学软件工程研究所所长 |
| 委员 | 王 珊 | 中国人民大学信息学院院长、教授 |
| | 胡道元 | 清华大学计算机科学与技术系教授
国际信息处理联合会通信系统中国代表 |
| | 钟玉琢 | 清华大学计算机科学与技术系教授
中国计算机学会多媒体专业委员会主任 |
| | 谢希仁 | 中国人民解放军理工大学教授
全军网络技术研究中心主任、博士生导师 |
| | 尤晋元 | 上海交通大学计算机科学与工程系教授
上海分布计算技术中心主任 |
| | 施伯乐 | 上海国际数据库研究中心主任、复旦大学教授
中国计算机学会常务理事、上海市计算机学会理事长 |
| | 邹 鹏 | 国防科学技术大学计算机学院教授、博士生导师
教育部计算机基础课程教学指导委员会副主任委员 |
| | 张昆藏 | 青岛大学信息工程学院教授 |

译 者 序

随着科学技术的发展和社会的进步,智能机器人已开始在全球探测、医疗服务、军事侦察、紧急救援、危险及恶劣环境作业等方面获得了广泛应用。而且它也将逐渐渗透到日常生活及教育娱乐等各个领域。

本书系统地介绍了人工智能机器人在感知、导航、路径规划、不确定导航等领域的主要内容。全书共分两大部分。第一部分共八章,它定义了什么是人工智能机器人,并介绍了为什么需要人工智能。重点介绍了人工智能机器人中智能组织的三个主要结构范式:慎思式、反应式以及慎思/反应混合式。该部分还专门介绍了反应式行为的感知和编程技术,以及多智能体群体之间的协调和控制等问题。第二部分共四章,其中三章讲述了定性和定量导航、路径规划技术和在不确定性管理方面的工作。最后一章总结性地介绍了计算机视觉方面的最新技术在机器人中的应用,以及移动机器人在各个领域应用的发展展望。该书每章后面均附有参考文献和习题。许多章节还列举了一些实例,用以说明本书讲述的概念和方法在实际机器人中的应用。

该书内容丰富,反映了智能机器人学的基础和先进的理论和技术。该书可作为计算机、电子及自动化等专业本科高年级学生和研究生的教材或参考书,也可供从事智能机器人方面研究的教师和研究人员进行学习参考。

由于本书还只是一本导论性教材,因此不可能把此领域的所有重要成果都包含进来。本书的指导原则是只编入那些能清楚阐明智能机器人各个论题中最重要和最基本的材料。其他更广泛的内容则作为参考文献或尾注放在每章的最后。与本书同属一个系列的“Behavior-based Robotics”(1998年出版)一书提供了该领域较全面的概况,它可作为讲授本课程的重要参考书。

本书第1章至第4章由杜军平翻译,第5章至第8章由吴立成翻译,第9章至第12章由胡金春翻译,全书由孙增圻审校。林明、唐健和孟江华也为本书的译校做了许多工作,在此表示感谢。

由于译校者的水平有限,书中肯定存在许多不足之处,热忱欢迎广大读者批评指正。

孙增圻

2004年3月于清华大学

前 言

本书适合于计算机科学与工程系大学高年级和研究生一年级的学生。一般的读者不一定需要有人工智能的基础,但对高要求的学生,本书也给出了需要额外阅读和练习的指导。读者应至少学过一门面向对象语言,以便理解如何利用书中描述的编程结构来设计和实现机器人。在诸如Khepera, Nomad 200系列和Pioneers等商业机器人上进行的实验室练习中,可以应用这些编程结构。Lego Mindstorms和Rug Warrior机器人适用于前6章中的内容,但它们目前的编程接口和传感器的局限性使它们无法进行更高层的应用。虽然有些教师可能会布置一些用诸如Rug Warrior和Handy Board之类的成套组件创建反应式机器人的实验室练习,但读者并不需要有数字电路的知识。

本书试图覆盖设计一个人工智能机器人在感知、导航、路径规划、不确定导航等领域所需要的全部课题。虽然机器感知是一个独立的领域,而这本书关于计算机视觉和感知的内容足以使学生能够从事机器人项目或比赛。此书分为两部分:第一部分定义了什么是人工智能机器人,并介绍了为什么需要人工智能。它包括了人工智能机器人的“理论”,从智能的组织形式上,本书把读者从机器人早期的分级范式带到慎思/反应混合范式。总共用了七章的篇幅介绍反应范式和行为。其中有一章专门讲反应式行为的感知和编程技术,目的是使一部分人在设计项目上能有一个好的开始。另外,第一部分也包含了多Agent群体之间的协调和控制。由于移动机器人的基本功能是在其区域内移动,所以第二部分中有一章讲述了定性和定量导航、路径规划技术和在不确定性管理方面的工作。在本书的最后总结性地介绍了计算机视觉方面的最新技术如何集成到机器人中,以及机器人的成功如何引发了web-bot和know-bot的热点。

由于本书是一本导论性教材,因此不可能把此领域的所有好的成果都包含进来。本书的指导原则是只编入那些能清楚地阐明该机器人各个论题的材料。其他方法和系统的参考文献通常作为提高性问题或尾注留在每章最后。“Behavior-based Robotics”^[10]一书提供了此领域的全面概况,应该是所有教师不可少的授课内容。

致谢

在这里不可能把所有对本书做出贡献的人都列举出来,但要列举出那些最有贡献的人。要感谢我的父母和家人(Kevin, Kate和Allan)。我非常荣幸地成为第一批听到我的博士生导师Ron Arkin在Georgia Tech(在这里我也是他的第一位博士生)上的关于人工智能机器人的课,此书的大部分材料和组织都取自他的课程。在为刚入门的新读者写此书时,尽量保留Ron Arkin教授的课程和著作的精华。本书中的任何错误都应该归咎于我。David Kortenkamp建议在写书之前使用我的教学笔记作为他的教学参考,这又给了我极大的帮助。当然,特别感谢Colorado School of Mines(CSM)和南佛罗里达大学(USF)的学生们,他们为研究提供了很好的对象,CSM是我第一次讲授机器人技术的学校。特别感谢我在CSM大学时的Leslie Baski, John Blich,

Glenn Blauvelt, Ann Brigante, Greg Chavez, Aaron Gage, Dale Hawkins, Floyd Henning, Jim Hoffman, Dave Hershberger, Kevin Gifford, Matt Long, Charlie Ozinga, Tonya Reed Frazier, Michael Rosenblatt, Jake Sprouse, Brent Taylor, Paul Wiebe以及在USF大学时的Jenn Casper, Aaron Gage, Jeff Hyams, Liam Irish, Mark Micire, Brian Minten 和 Mark Powell。

特别感谢本书的所有评论者，尤其是 Karen Sutherland 和 Ken Hughes。Karen Sutherland 和她在 Wisconsin-LaCrosse 大学的机器人学班级的全体同学（Kristoff Hans Ausderau, Teddy Bauer, Scott David Becker, Corrie L.Brague, Shane Brownell, Edwin J.Colby III, Mark Erick son, Chris Falch, Jim Fick, Jenniter Fleischman, Scott Galbari, Mike Halda, Brian Kehoe, Jay D.Paska, Stephen Pauls, Scott Sandau, Amy Stanislawski, Jaromy Ward, Steve Westcott, Peter White, Louis Woyak 和 Julie A.Zander），他们仔细地阅读了本书的草稿并提出了意见。Ken Hughes 应受到特殊的感谢，他不仅给每章都提出了批评建议，还给我发送了许多有见解的邮件，他是我不可缺少的帮助者。

同样，本书与我正在进行的机器人技术研究密不可分，我的研究得到了 NSF, DARPA 和 ONR 的支持。大部分的专题研究都是由 NSF 赞助支持的。Howard Moraff, Rita Rodriguez 和 Harry Hedges 给予我极大的鼓励，他们对我的作用即使是最敬业的 NSF 执行主任也比不上。Michael Mason 也坚持不懈，以多种形式在教育方面给予了我很大的帮助。

本书的编辑，Bob Prior 和在 MIT 出版社的其他人（Katherine Innis, Judy Feldmann, Margie Hardwick 和 Maureen Kuper）给了我大量愉快的指导，技术的帮助和全面的领悟，我对他们十分感激。Katherine，尤其是 Judy，当得知我面临新的难题时非常耐心。在 AAAI 的 Mike Hamilton 制作了本书中的全部“动态照片”。Chris Manning 提供了 Latex 格式的文件，Paul Anagnostopoulos 对这些文件做了调整。Liam Irish 和 Ken Hughes 贡献了有帮助的手稿。

除了以上提到的人之外，还有一些人提供了间接的帮助。如果不是位于我家乡 Georgia Douglas 的南乔治亚学院的三位文学教授 Carlyle Ramsey, Monroe Swilley 和 Chris Trowell 的鼓励，我可能不会考虑进入工程和计算机科学的研究生院深造。他们教会我知道学习不仅是进入大学，而且还要有自学成才的能力。我的丈夫 Kevin Murphy 的帮助对我来说一直是最重要的。他给我腾出了写书的时间，让我不用照顾孩子。他还做了大量的编辑、打字、审核、校对等工作。我把此书献给这四个人，他们对我职业生涯的影响可与任何一位学院导师相比拟。

目 录

第一部分 机器人范式

第 1 章 从遥操作到自主	8
1.1 概述	8
1.2 如何使机器具有智能	9
1.3 机器人的用途	10
1.4 机器人学的简要历史	12
1.5 遥操作	17
1.6 人工智能的 7 个领域	21
1.7 小结	22
习题	22
尾注	23
第 2 章 分级范式	25
2.1 概述	25
2.2 分级范式的特点	26
2.3 封闭的环境假设和框架问题	32
2.4 典型结构	33
2.5 分级范式的优缺点	37
2.6 编程方面的考虑	38
2.7 小结	38
习题	39
尾注	39
第 3 章 反应范式的生物学基础	41
3.1 概述	41
3.2 什么是动物行为	44
3.3 行为的协调和控制	45
3.4 行为中的感知	50
3.5 图式理论	56
3.6 将对动物的观察转移到机器人时的原则和问题	60
3.7 小结	62
习题	62
尾注	63

第4章 反应范式	65
4.1 概述	65
4.2 反应范式的特征	67
4.3 包容结构	70
4.4 势场方法	76
4.5 反应式结构的评价	92
4.6 小结	92
习题	93
尾注	94
第5章 反应式系统的设计实现	96
5.1 概述	96
5.2 面向对象编程中的行为对象	97
5.3 反应式行为系统的设计步骤	101
5.4 实例研究：无人控制地面机器人竞赛	102
5.5 行为的组配	107
5.6 小结	116
习题	117
尾注	118
第6章 反应式机器人的通用感知技术	120
6.1 概述	120
6.2 行为传感器融合	122
6.3 传感器组合的设计	124
6.4 内部感知传感器	127
6.5 接近觉传感器	129
6.6 计算机视觉	134
6.7 视觉测距	142
6.8 实例分析：机器人端送食品服务	149
6.9 小结	154
习题	155
尾注	157
第7章 慎思 / 反应混合范式	159
7.1 概述	159
7.2 混合范式的属性	160
7.3 混合范式的结构特性	162
7.4 混合范式的管理结构	163
7.5 状态分级结构	169
7.6 面向模型的结构	171

7.7 其他混合范式机器人	175
7.8 混合结构评估	176
7.9 慎思与反应式控制的交叉	176
7.10 小结	178
习题	179
尾注	179
第8章 多智能体	181
8.1 概述	181
8.2 异构性	182
8.3 多智能体的控制	185
8.4 多智能体的协作	186
8.5 多智能体的目标	187
8.6 多智能体的突生群体行为	188
8.7 小结	191
习题	191
尾注	192

第二部分 导 航

第9章 拓扑路径规划	200
9.1 概述	200
9.2 路标和路口	200
9.3 关系法	202
9.4 关联法	205
9.5 具有混合结构的拓扑导航实例学习	208
9.6 小结	215
习题	215
尾注	216
第10章 度量路径规划	217
10.1 目标与概述	217
10.2 结构空间	218
10.3 结构空间表示法	218
10.4 基于图的规划器	222
10.5 基于波阵面的规划器	226
10.6 路径规划与反应式执行的交叉	228
10.7 小结	231
习题	231
尾注	232

第 11 章 定位与制图	233
11.1 概述	233
11.2 声呐传感器模型	234
11.3 贝叶斯方法	236
11.4 Dempster-Shafer 理论	240
11.5 运动映射直方图算法	246
11.6 各种方法的比较	251
11.7 机器人定位	259
11.8 环境探索	265
11.9 小结	268
习题	269
尾注	271
第 12 章 机器人发展展望	272
12.1 概述	272
12.2 变形和腿式机器人平台	274
12.3 机器人的应用和需求	276
12.4 小结	279
习题	279
尾注	280
参考文献	281

第一部分 机器人范式

综述

本书第一部分共八章,主要介绍什么是人工智能机器人学及其实现它的三种主要范式。这些范式按机器人中智能的组织方式进行划分。此外,本部分还列举了一些实例,旨在阐述如何利用这些范式的原则在机器人或机器人团组中建立一致的、可再利用的结构。

什么是机器人

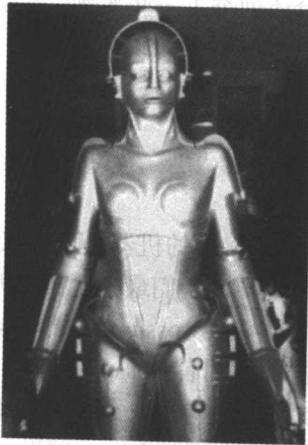
关于机器人学,很多人都会问的第一个问题是:“什么是机器人?”,紧接着又会问“它们能干什么?”

一般认为,“机器人”一词暗含着其具有似人的外观,如焊接中的机器“臂”。关于认为机器人具有似人的外观这种想法可能来源于“机器人”一词的起源。人们最早了解“机器人”一词是在1921年1月25日,Karel Capek的Rossum的万能机器人(Rossum's Universal Robots-R.U.R.)在布拉格的首次展出^[37]。在此展出中,始终未现身的发明者Rossum创造了一类由生物学部件组成的“工人”,这些“工人”很聪明,可以代替人类完成各种各样的工作(所以称做“万能的”)。Capek称这些“工人”为机器人,该词起源于捷克语robots,意思是卑贱的劳动力。带有人造生物色彩的机器人“工人”严格意义上是指让真正的人从各种劳动中解脱出来的仆人,它们地位低下而不值得尊重。对机器人的这种态度有着灾难性的后果,由工作来区分人也引发了社会道德问题。

从由生物学部件构成的类人机器人过渡到由机械部件构成的类人机器人,可能要归功于科幻小说。《大都会》(1926年)、《寂静的地球》(1951年)和《被禁的行星》(1956年)这三部经典影片加强了这种含义,即机器人是由机械部件构成的,而非Capek电影中描述的由生物学部件构成的。当时,计算机在工业和财会部门中的应用已变为很平常的事,从而获得了对它字面意义上的理解。工业自动化证实了以下这一点,用于装配的机械臂,即使生产线上没有装配部件,它也会执行原来设定的动作。最后,机器人一词与工厂自动化有细微的差异:自动化机械没有思想且仅善于执行已经设定好的重复性工作。类人的、机械的,以及无思想的机器人的概念,在Isaac Asimov的畅销不衰的文集《我,机器人》中的许多故事中都有阐述^[15]。这其中的许多(并非全部)故事中都有一位机器人心理学家——苏珊·卡尔文博士,或两位过去的麻烦制造者Powell和Donovan来诊断那些根据逻辑办事却做错事的机器人。

由机械部件构成的类人机器人过渡到能完成工作的任意形状的机器人,要归功于现实需要。因为机器人由机械部件构成,所以它们不一定是类人的或类似动物的。比如机器人真空吸尘清洁工,它们看起来像吸尘器而非清洁工。再如HelpMate Robotics公司生产的的机器人,它在医院中负责给病人分发食物使护士有更多时间照顾病人,而它看起来像个小车而非护士。

从图 I.1 中可以看出,从外观并不能定义机器人。因此,本书使用的定义是:智能机器人是指能自主地完成某种功能的机械系统。“智能”是指机器人不是以无意识的、重复的方式来做事,这与工厂自动化的含义刚好相反。定义中提到的“机械系统”是指用科学技术的方法,使用机械部件而非生物部件来构成机器人(尽管近年来随着克隆技术的发展,这一观念有可能改变)。“机械系统”的提法也强调了机器人不同于计算机。机器人可能采用计算机作为其组成部分,相当于神经系统或大脑,但是机器人能与其周围环境相互作用:如四处走动、改变环境等。计算机在自己的能力范围内不能移动。“自主地完成某些功能”是指机器人在任何合理的条件下可以独立地完成某些操作,而不需依赖于人的操作或控制。“自主”意味着机器人能适应其周围环境(如灯熄灭了)或自身(如某个部件折断了)的变化并能继续完成其目标。



(a) 1926年的电影《大都会》中的类人机器人(图片由Doug Quinn和大都市主页友情提供)



(b) 能在道路上和开阔地带行驶的HMMWV军队车辆(图片由美国国家标准技术研究所友情提供)

图 I.1 关于机器人的两种观点

也许能独立工作的智能机械系统的最好例子是1984年影片《终结者》中的机器人——终结者。即使在丢失了一架照相机(眼睛),并且所有的外部覆盖物(皮肤,肌肉)被烧毁之后,它仍然能继续搜索目标。这个极其骇人听闻的机器人具有极强的适应性和自主能力。Marvin 邮车机器人是一个更实际和真实的例子。“Denver Post”杂志1996年9月9日发表的文章中提到了这个工作于巴尔的摩FBI办公室的邮车机器人。即使有人在无法预期的时间和地点挡住 Marvin 的路, Marvin 仍能够完成在某些地方停下来分发邮件的任务。

什么是机器人范式

范式是一种哲理或界定一类问题的一组假设和/或技术。它是一种看待世界的方式,也包含了一系列解决问题的工具。不能说哪种范式是正确的,只是某些问题看起来更适合一些不同的范式,比如微积分问题。有些问题求解可以在笛卡儿坐标系(X, Y, Z)里微分,但是利用极坐标系(r, θ)微分可能更简单。在微积分求解问题中,笛卡儿坐标系和极坐标系代表了看待和处理问题的两种不同范式,二者都会得到正确的答案,只是对于某些特定的问题用某种范式会更简洁。

应用恰当的范式会使问题求解更简单。因此，了解人工智能机器人学的范式对于成功设计某种特定应用的机器人来说至关重要。同样，从历史的观点出发，研究不同的范式，考察引起范式之间转化的各个论题也非常有意义。

目前机器人中智能的组织有三种形式：分级范式、反应范式和慎思/反应混合范式。这些范式以下面两种方式来描述：

1. 以机器人学中的三种被普遍认可的基元——感知、规划、执行之间的关系来描述：机器人的功能可以从很一般的意义上分为三大类。如果某种功能是通过传感器获得信息并产生对其他功能有用的输出信号，则该功能属于感知类。如果某种功能是接受信息（不管该信息是来自于传感器还是来自于其自身的关于周围环境工作状态的知识）并产生一个或多个任务让机器人来执行（如到大厅、向左转、向前走3米后停下来等），则这种功能属于规划类。那些产生输出命令来驱动电机执行的功能属于执行类（如以每秒0.2米的转速顺时针旋转98度）。图I.2以输入和输出的方式定义了这三种基元，该图在第一部分各章中会经常出现。

机器人基元	输入	输出
感知	传感器数据	感知信息
规划	信息（感知和/或认知的）	指令
执行	感知信息或指令	执行器命令

图 I.2 以输入和输出方式定义的机器人基元

2. 以传感器数据在系统中的处理和分配方式来描述：也就是人、机器人或动物所受的感知信息的影响有多大。因此仅有一个感知框通常很难准确地描述一种范式。在某些范式中，限定传感器信息以一种特定的方式用于机器人的每一种功能中，这种信息的处理过程对于每一种功能来说都是局部的。而在另外的一些范式中，首先将所有传感器的信息处理成一个全局环境模型，然后将该模型的子集分配给其他需要的功能来使用。

三种范式综述

为了对学习过程进行分级，从对机器人范式的综述开始学习是有帮助的。图I.3以感知、规划和执行的形式给出了三种范式之间的区别。

分级范式是最早的范式，在1967~1990年期间基本上都是这种范式。在这种范式中，机器人以从上到下的形式操作，着重于规划（参见图I.3）。这种范式是以人类如何思维的内省观点为基础得到的。“我看见了一扇门，我决定走向它，我规划了一条绕过椅子的路线”（遗憾的是，正如现在许多认知心理学家所知，思维的内省并不是一个好的方式，它不是总能准确地评估思维过程。我们现在怀疑没有人真正规划如何离开房间，他们有默认的模式或行为）。在分级范

式中，机器人感知外部环境，规划下一个动作，然后执行这个动作（感知、规划、执行）。然后，机器人再感知外部环境，规划、执行。每一步，机器人都明确规划下一个动作。分级范式的另一个显著特征是所有感知的数据都被收集并处理成一个全局的模型，这是规划器可以使用的惟一环境表示，规划器基于它规划出下一个动作。由于结构问题和需要封闭环境假设，建立通用的全局模型已证明是非常困难的，而且是不可靠的。

图 I.4 所示为分级范式的各基元的转移过程或 Z 字形流向图。遗憾的是，这种事件流向忽略了感知的信息能直接引起动作这一生物学事实，也就是在图中涂掉了感知信息输入。

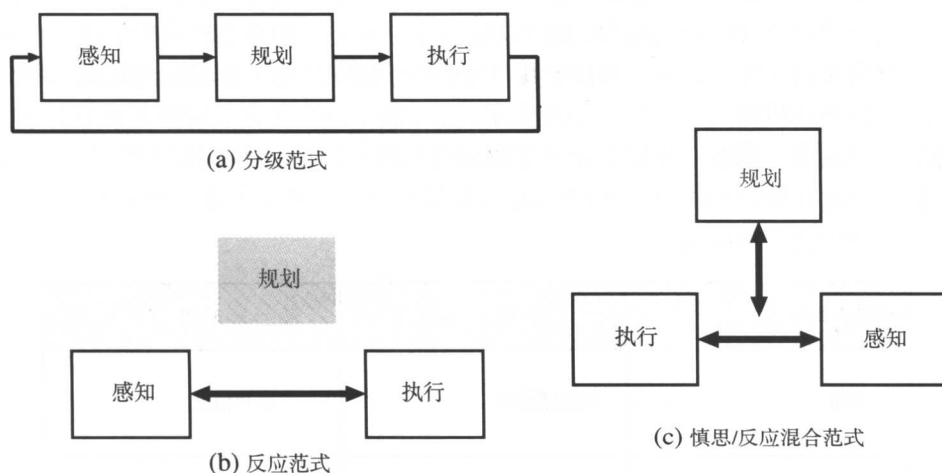


图 I.3 三种范式

机器人基元	输入	输出
感知	传感器数据	感知信息
规划	信息（感知和/或认知的）	指令
执行	感知信息或指令	执行器命令

图 I.4 分级范式的另一种观点

反应范式与分级范式相反，该范式在机器人学引发了很多令人振奋的前沿研究。1988 年到 1992 年间反应范式在机器人学中得到了广泛的应用。此范式目前仍有应用，不过自 1992 年以来，逐渐采用混合范式。反应范式的发展可能由于两个原因：一个是人工智能研究者为了检验已有的智能实例而去大量研究生物学和认知心理学；另一原因是由于不断快速下跌的计算机硬件价格和计算机功能的提高。基于上述原因，研究人员可以花费不到 500 美元就可利用机器人模拟青蛙和昆虫的行为，而第一个移动机器人 Shakey 却花费了 10 万美元。