

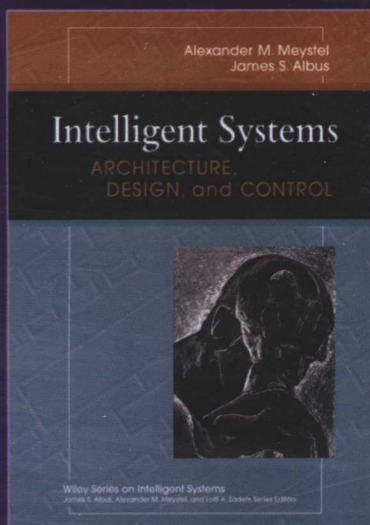
国外计算机科学教材系列

智能系统

——结构、设计与控制

Intelligent Systems

Architecture, Design and Control



[美] Alexander M. Meystel 著
James S. Albus

冯祖仁 李人厚 等译



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

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

国外计算机科学教材系列

智能系统

——结构、设计与控制

Intelligent Systems

Architecture, Design, and Control

[美] Alexander M. Meystel 著
James S. Albus

冯祖仁 李人厚 等译

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

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了智能系统的理论基础、参考结构和设计方法。书中提出并利用多分辨率的概念,详细描述了智能系统的模型和它的主要组成部分,包括感知处理、行为生成、规划器、执行器和学习过程等。本书还介绍了智能系统在机器人、自主车和计算机集成等系统中的应用。与一般智能系统的介绍不同,本书强调了智能系统的多层次和多分辨率的实质。全书贯穿多分辨率的概念,为读者在更深层次上理解和设计智能系统提供了很好的指导。

本书可以作为各类学科高年级本科生和研究生的教材,包括计算机、自动控制、信息学科、机电工程(含机器人、机电一体化)和商务管理等,也可供从事智能系统设计和应用的工程技术人员参考。

Alexander M. Meystel, James S. Albus: Intelligent Systems: Architecture, Design, and Control.

ISBN 0-471-19374-7. Copyright © 2002. John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc.

Simplified Chinese translation edition Copyright © 2005 by John Wiley & Sons, Inc. and Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由 John Wiley & Sons 授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)发行与销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2002-5604

图书在版编目(CIP)数据

智能系统: 结构、设计与控制 / (美) 梅斯特尔 (Meytel, A. M.) 等著; 冯祖仁等译.

-北京: 电子工业出版社, 2005.1

(国外计算机科学教材系列)

书名原文: Intelligent Systems: Architecture, Design, and Control

ISBN 7-5053-9950-0

I. 智... II. ①梅... ②冯... III. 人工智能-教材 IV. TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第113523号

责任编辑: 赵红燕

印 刷: 北京兴华印刷厂

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: 33.5 字数: 945千字

印 次: 2005年1月第1次印刷

定 价: 58.00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 zltz@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和自由组合使用。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,我们通过与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

本书的作者 Alexander M. Meystel 和 James S. Albus 对大多数从事智能系统和智能控制研究的人来说,都是很熟悉的了。他们在这个领域提出了很多新的概念和新的方法学,对推动和促进人工智能和智能系统的发展起到了非常重要的作用。本书是近 15 年来作者和他们所领导的研究集体在该领域卓越的研究成果的结晶。

关于人工智能、智能控制和智能系统这方面的书国内外已出版和发行了不少。比起其他著作,本书的显著特点是全书贯穿了多分辨率和多层次的概念,并用它来分析和解释智能系统的模型结构、运行机制和决策过程,比较符合人类认识世界由浅入深、由低级到高级、由具体到抽象的思维和认知规律,便于人们更深入地理解智能系统的本质。本书的第二个特点是所收集的文献十分广泛,并且依据人的心理学、认知学的特点,对智能系统的定义、演变和发展,从心智、生物神经学等角度进行了比较严密和科学的描述。本书的第三个特点是列举了智能系统在机器人、自主车和计算机集成制造系统中应用的许多实例,既验证了新的概念和方法的正确性和有效性,也指出了智能系统应用今后发展的趋势。

本书共分 12 章。第 1 章~第 3 章介绍智能系统的理论基础、基本概念和知识的表示;第 4 章和第 5 章引出智能系统的参考模型结构;第 6 章~第 9 章分别论述智能系统的组成部分:感知处理,行为生成,规划器和执行器;第 10 章阐述学习类型和方法;第 11 章列举智能系统的应用实例;最后一章是总结和概括,指出智能系统发展的前景。

从书的结构可以看出,本书各章节的安排与一般的教科书不同,它不是由简到易、循序地组织内容,而是以智能系统所包含的组成部分,按专题进行论述。因此,更像是一部供研究用的参考书。内容前后交叉,也有重复。对初学者来说,有时会感到困惑。另外,由于各种原因,原著各章风格不一,也会对读者的学习造成困难。但译者认为,本书内容详实、引文广泛、论述严谨,是一部研究人工智能和智能系统的权威性专著,值得深入和系统地阅读。

目前我国在机器人、交通运输、航空航天、计算机集成制造、过程控制、社会经济、网络安全等领域,都在广泛地研究智能系统的理论和方法学,也已经开发和正在开发各种实用和高水平的智能系统,希望本书的出版有助于推动和促进我国人工智能领域的研究和技术水平的提高。

本书是集体翻译而成的,参加翻译的有吕娜、冯远静、李良福、戈亦余、李进、张苗和韦晓亮。全书由冯祖仁教授和李人厚教授统一修订和校正。为了准确表达原著的内容,大家本着对读者负责的精神认真工作,但由于水平有限,翻译中的问题和错误在所难免,恳请专家和读者批评指正。

前言

智能——进化的工具

大约6亿年以前，地球的生物圈发生了一次不寻常的“爆炸”，生物学家称此为“寒武纪爆炸”。在地球的生态历史中，“寒武纪爆炸”时期出现的生物数量和种类之多，空前绝后，远远超过任何事物。以S曲线^①的中间段对照“寒武纪爆炸”是一种具有启发性的比喻。这种比喻留给我们的只是想像，而不是对所发生事件的解释。

著名科学家 S. Gould 曾经做过一个有趣的观测：

以前，生命的世界是寂静的，且从那时起，生命的世界一直比较安静。如果仅仅对地质和生态效应而言，近期的意识进化必须看做是自“寒武纪”以来发生的最为巨大的突变。进化中的重大事件并不需要新的模式起源点。灵活的真核生物^②会不断产生新类和异类，在这些最新品种中，只要有一个能够足够好地控制它自己，就确保了世界有一个未来^③。

毫无疑问，进化了的最后“产品”是我们人类。我们都是“产品”，必须很好地控制自己。这就是为什么出现意识进化的原因，即要确保世界有一个未来。S. Gould 曾做过令人感兴趣的评论：我们看不到新的进化模式。显然，我们大脑的丰富性、灵活性和创造性弥补了新进化模式的匮乏。生命生物的大脑，甚至在原始形态中，为了进化（我们的思想、计划、发明创造、可视艺术、音乐、诗歌等），引导着生物沿着新的发展模式的方向前进。

对可能发生于有生命生物上的任何事情，在产生有益的反应中，进化和智能是已知的主要手段。这些手段，帮助生物在绝大多数期望和非期望的环境中生存下来。这里我们应继续注意，“期望”的概念是针对那些有“期望”的生物的，进化是为一个物种的利益或成功的结果而服务的。在这种情况下，“期望”这个概念至少是令人费解的，利益或成功的概念同样令人难以理喻。是的，我们对生存的需要已充分了解，但这个需要的源是什么？更为困难的是“成功”的概念又是什么？后者假设了一个目的，习惯上将目标和智能联系起来，但进化的目标又有可能是什么呢？

进化和智能有一些共同的、非常重要的东西，即二者极大地影响着我们的生活，而我们对它们却了解甚少。

人是人类智能的工具

确实，基于旧的染色体机制所提供的发展模式^④有其局限性，它在“寒武纪”时期达到了顶峰。现在，一个由人脑接管的、新的爆炸正在进行。错综复杂的人类大脑不可思议地驾驭着难以捉摸的

① S 曲线描述了过程，它开始时缓慢地增长，然后渐渐加速，达到一个增长速率后再减慢，逐渐以很低增长率达到终点。

② 真核生物是多染色体生命细胞，与单染色体细胞的原核生物相对。

③ Stephen Jay Gould, *Ever since Darwin: Reflections in Natural History*, Norton & Company, New York, 1997, p.118.

④ 自然，我们谈的是关于有生命生物的设计。进化常常解释为生命生物的设计，大概指自我设计。

决策过程，大脑用它那缓慢的、基于湿件（Wetware）的神经元，而后者却被置于一个有享受和嗜好倾向的不可靠主体上，超出了当前人们对大脑器官了解的能力。在令人兴奋、浓缩于一个世纪的突发事件中，人类的大脑已经创造出一个令人惊奇的工程现象：智能系统。它能够比人类更有效地为它们的进化而工作。

对我们中间毕业后继续研究周围现实的人来说，这种思想从直觉上是可以接受的。计算机辅助设计和数据挖掘不再是强意词，这里有机产生的创新。到处存在的自动机决策作用和各种软件包已是我们生活的一部分。这就是所发生的一切——自动化正在迅速地进入决策领域，甚至可以更快地取代低级工作。（这也许是一个令人担忧的迹象，但它可能与令人惊奇的事实有关，因为市场仍然创造着比决策制定更多的低级工作的就业机会。）

进化，直到现在，对有生命的生物没有提出挑战，对机器人可能也会如此。一个基于计算机的进化形式——自然界自己的构思策略，已经通过学习而在设计LEGO结构中获得成功（Brandeis大学），它不需人的任何帮助；一种类似人的机器人可用它的眼睛跟随行人；机器人鼓手娱乐公众（MIT）；机器人交通车识别路界（Carnegie Mellon）；沙丘小车，受“规划器-导航器-驾驶仪”控制，通过试探目标方法可行进在混乱的环境中，然后可以快速返回，因为它已经看到了环境，记住了它，并规划了一个更好的运动轨迹（Drexel大学）；自主交通车，可以按每小时55公里的速度行驶在高速公路上，却不需人的帮助（德国Bundeswehr大学）；一队自主车，可以协作地以20公里的时速行驶在越野环境中（美国国家标准和技术研究院）；机器人电脑控制的操纵器，可协作地运载重物，更不必说近几年已实现的机器人打乒乓球。这些事实说明，人类从早期的基于专家系统的决策概念，已第一次成功地跃入到以多分辨率思考的未来主义的王国。

智力分子或平凡生活

不难发现，进化和智能都使用相同的技术集合：二者都将实际经验变换成符号表示，把消息保持成组织良好、计算上有效的形式；用这些消息，搜索相同的组群并将它们泛化；回归地重复泛化，使组织良好的信息的嵌套递阶结构得以发展；通过对有限信息子集的集注，提高了系统的效率；利用搜索过程将信息的元素组合成经验中不能得到的消息。

算子的紧包由“分组-集注-组合搜索”三元组的不同组合构成，它运用到达的信息，且把它变换成多分辨率结构。从控制论观点看，人们熟知的简单反馈回路在阐明智力现象方面已不能成为决定性的了。在本书中，我们证明并从比喻上说明，决策过程是通过将反馈回路分布到信息多分辨率结构而实现的。或更精确地说，是通过把多分辨率结构加到反馈机制上实现的。这就是通过心智发展的历史建立心智的过程。这就是本书作者如何使心智模型形象化的过程。

多分辨率的心智

多分辨率（多标度、多粒度）的信息表示是对人类最深入的洞察，它迅速地为未来的进化跃进创造新的工具。人们经常会区分实际视图和鸟瞰图、较小图和较大图、远看和近看之间的差别。正是在本世纪，人们逐渐发现，为了决策的利益，我们的心智利用了不同粒度和标度的观点。本书向人们展示了人类如何使用多分辨率的表示和用不同分辨率进行决策。

这个概念同时也来自不同的学术界，只是修饰不一。计算机视觉的研究者发展了金字塔（形）的图像表示。由于信息表示可作为自然界构造的机制，所以分形专家认识到这个多标度的重要性。

欧洲科学家们使用多粒度表示,并把它视为他们的新科学“协同学”的一部分。实践工程师把它用到“有限元方法”之中。虽然数学家还尚未揭开隐藏在非标准分析^①中的奥秘,但他们却成功地用各种层次的分辨率作为求解偏微分方程的实用方法(“多网格法”)。多标度思考习惯揭示了关于人类心智的某些事物。作者深信,“心智设计”的关键问题,只有通过把智力结构还原为多分辨率形式才能解决。虽然我们不可能观测和触摸到心智的结构,但必须监视它们的多标度功能的记录,从而将它们重建。这种从上到下/从下到上的事物还原过程,不可能存在于我们的直接观测中,它类似于逆工程。(这个术语可在1993年的文献中查到^②; D. Dennett在认知科学背景中用了这个术语^③。)

心智还原的结果,按本书所描述的多分辨率模型的形式,允许对我们的认知过程做建设性理解和仿真。另外,可以用多分辨率模型构造和开发我们称之为智能系统的机器和组织。智能系统模拟了人类感知环境、搜集、组织知识、想像事物、对它做规划、执行这些规划及控制自己等行为。记住,如果我们能够很好地控制自己,我们就可以保证世界有一个未来。

迄今为止,我们在发明自然界已创造的东西方面一直是成功的。计算机科学家与生物学家一起在仿真眼睛(一种器官)的进化过程中取得了成功,他们与工程师一起分析了机器人筑桥技巧的进化过程。事后我们才知道,创造复杂工程装置的算法可变得非常简单。在现实中,人类花了几个世纪才获得的有关工程设计、开发合理的行动计划和设计运动轨迹等知识,计算工程师只要花几个小时就可获得。

关于本书

这是一本关于机器人脑的书,因为在不久的将来我们必须设计与实现机器人脑。生物学家和心理学家会找到人脑认知过程的工程观点,他们也会从工程师那里找到关于他们应如何了解人脑的大量建议。工程师应把这些建议当做工程比喻。谈到工程部分,本书包含了多年来在工程设计和工业实施中的经验结果。作者已指导几位博士和硕士对此进行了研究,本书包含了这些研究的主要成果。此外,作者已将他们过去15年所得到的研究结果融合在一起,虽然其中的某些结果有些重复,但对作者而言,成果是令人信服的。本书中的部分资料是作者在自1994年以来所做的工作中积累起来的。

我们的意见已被实际环境中的实施所证实。事实上,多分辨率的表示方法降低了计算的复杂性。规划可以被当做在所有分辨率层次上嵌套的搜索过程。在我们开始其他工程活动之前,必须对所有分辨率层次指定基本作用回路,这样做会节省许多时间和金钱。多重分辨率层次可以联合且连贯地工作。

本书可作为各类学科研究生的教程,包括工程学科(含机器人、机电一体化、自动控制)、商务管理、计算机和信息科学。然而,我们期望认知科学家、心理学家和生物学家也可以从中受益。本书在各章的结尾处配有习题。

本书对装备有许多机器人的智能机器,包括工业机器人和自主车,使用新理论的结果予以阐明。虽然没有专注于有关智能的其他几个重要问题,如自然语言理解,但我们所提的方法对这种情况会有帮助。

① 非标准分析是由 A. Robinson 创建的逻辑领域,着重考虑连续和离散数学之间非矛盾的连接。

② 参见 URL 文档: <http://www.lgu.com/cr46.htm>。

③ D. Dennett, Cognitive science as reverse engineering, in *Brainchildren, Essays on Designing Mind*, MIT Press and Penguin, 1998.

在过去的15年中，我们几位作者密切合作，对这些课题进行了研究，所以要确定本书谁写了些什么内容是非常困难的。不过，没有以下同事的帮助，即使这种水平的合作对准备本书的文稿也是不够的：U. Bar-Am、R. Bhatt、S. Bhasin、R. Bostelman、D. Coombs、N. Dagalakakis、S. Drakunov、P. Filipovich、D. Gaw、G. Grevera、T. Hong、J. Horst、H.-M. Huang、A. Jacoff、E. Koch、A. Lacaze、S. Legowik、E. Messina、M. A. Meystel、J. Michaloski、Y. Moscovitz、K. Murphy、M. Nashman、R. Nawathe、L. Perlovsky、F. Proctor、I. Rybak、W. Rippey、H. Scott、S. Szabo、C. Tasolu和S. Uzzaman。

我们感谢上面提及的所有人，感谢他们在过去10到15年的时间里无私的帮助与支持。

Alex Meystel, Jim Albus
2001年8月

目 录

第1章 自然和人造系统中的智能	1
1.1 引言	1
1.2 智力与智能概念进展的简单综述	3
1.3 智能系统：我们能从非智能系统中区分出智能系统吗	9
1.4 智能：行为与交流的产物和工具	12
1.4.1 有益的行为	12
1.4.2 有效的符号表示	13
1.4.3 基本作用回路	14
1.5 自动性的演变过程	15
1.5.1 学习自动性	15
1.5.2 自动性的概念以及它是怎样学习的	15
1.5.3 从反射和规则到程序	16
1.5.4 从程序到自组织	17
1.6 从代理体到多标度代理群体	18
1.6.1 代理体的概念及其在技术发展中的地位	18
1.7 认知代理体和结构	22
参考文献	24
习题	29
第2章 智能系统的理论基础	30
2.1 智能系统结构的数学框架	30
2.1.1 离散数学在发展智能系统形式理论中的作用	30
2.1.2 离散数学应用于什么对象	31
2.1.3 离散数学做什么？我们的目标是什么	32
2.2 智能系统和过程的形式模型	33
2.2.1 多分辨率演算的基本过程	34
2.2.2 现有的集合定义	36
2.2.3 什么是状态？它与对象概念的关系如何？什么是变化	39
2.2.4 用GFS三元组形成新的对象	40
2.2.5 对象之间的关系：什么是关系？关系的特性是什么？关系是可测的吗	42
2.2.6 表示方法和现实情况	42
2.2.7 自动机形式的模型：基本的代理体	44
2.2.8 多分辨率自动机	45
2.2.9 智能系统的自治与目标定向	47

2.3 必要的术语和假设	47
2.3.1 坐标、辖域和分辨率	47
2.3.2 状态和状态空间	49
2.3.3 从对象到实体	50
2.3.4 簇和类	50
2.3.5 不可分辨性	51
2.3.6 表示方法	52
2.4 对象的建立和特征	52
2.4.1 新类的形成	52
2.4.2 回归递阶结构和表示的变态递阶结构	53
2.5 从现实中抽取实体	55
2.5.1 组成分量的自然分组	55
2.5.2 在科学过程中的分组	57
2.5.3 分组导致了多分辨率结构	59
2.5.4 抽象、集结和泛化的区别	61
2.6 分组 + 过滤 + 搜索: 自组织的基本单元	62
2.6.1 GFS 的概念	62
2.6.2 GFS 的作用	64
2.7 相对智能与它的进化	66
2.8 自然界和表示中关于构造过程的相似性	68
2.8.1 相似性问题	68
2.8.2 关于构造的应用算法之间的相似性	68
2.9 智能系统结构的符号语言框架	70
2.9.1 什么是符号语言学	70
2.9.2 符号闭包	70
2.9.3 指号过程: 符号系统中的学习过程	72
2.9.4 映像与意识	74
参考文献	75
习题	76
第3章 知识的表示	78
3.1 表示自然界的问题	78
3.1.1 多姿多彩的现实世界	78
3.1.2 认识论	79
3.1.3 知识理论的演变	81
3.1.4 符号语言学及其前景	83
3.2 什么是知识	84
3.2.1 知识现象	84
3.2.2 与知识有关的术语	85

3.2.3	存储知识	87
3.2.4	为什么出现知识表示的需求	88
3.3	大脑中知识的表示: 获取自动化	90
3.3.1	基本信息处理单元: 神经元	90
3.3.2	搜索和存储模式的系统: 神经网络	90
3.4	大脑的感知和符号表示	91
3.4.1	一般性评论	91
3.4.2	感知图像	91
3.4.3	大脑中的符号表示	93
3.5	参考坐标系、想像力和洞察力	94
3.6	知识表示、实体和相关结构的原理	95
3.6.1	嵌套递阶的知识构成	95
3.6.2	知识表示原理的定义与假设	97
3.6.3	知识相关的 ELF 作用机制的定义	104
3.6.4	实体的类型与类别	106
3.6.5	D 结构的一般特征	108
3.6.6	标签的性质	111
3.7	知识的多分辨率特征及其复杂性	114
3.7.1	状态空间的分解	114
3.7.2	准确度	115
3.7.3	知识的嵌套	116
3.7.4	构建多尺度知识表示的递归算法	117
3.8	知识表示的虚拟现象	118
3.8.1	瞬时感知处理的表示	118
3.8.2	中间表示	119
3.8.3	长期记忆的表示	119
	参考文献	120
	习题	122
第 4 章	参考结构	124
4.1	参考结构的组成部件	124
4.1.1	执行器	124
4.1.2	传感器	124
4.1.3	感知处理	124
4.1.4	环境模型	125
4.1.5	判值	125
4.1.6	行为生成	125
4.2	智能系统参考结构的演变	125
4.3	水平“同层次”连接的递阶结构	128

4.4	分辨率的层次	129
4.5	体系结构的神经部件	132
4.6	行为生成的递阶结构	134
4.6.1	智能机器人自底向上的例子	134
4.7	多分辨率结构的分析	135
4.7.1	基本作用回路 (ELF)	135
4.7.2	ELF 的基本分解	137
4.7.3	ELF 的递阶结构: NIST-RCS 的本质	138
4.7.4	集成的 NIST-RCS 模块	140
4.8	基于代理体的参考结构	141
4.8.1	智能软件的基本单元	141
4.8.2	基于代理体层次的作用	142
	参考文献	144
	习题	146
第 5 章	动机、目标与判值	148
5.1	内部需求与外部目标	148
5.1.1	神经生理学模型	148
5.1.2	从本能到动机到驱动再到情感	150
5.1.3	动机	151
5.1.4	从动机到目标	152
5.1.5	各种方法	152
5.1.6	“目标”概念的发展	154
5.1.7	目标形成与比较的认知理论	155
5.2	判值	157
5.2.1	一般定义	157
5.2.2	(脑)边缘系统	157
5.2.3	值状态变量	158
5.2.4	VJ 模块	160
5.2.5	值状态变量的映射图覆盖	162
5.3	达到目标: 利用变分法的优化	162
5.3.1	符号和基本前提	162
5.3.2	线性化的三阶对象: DC 电机模型	163
5.3.3	通过变分法进行优化	164
5.3.4	结果与讨论	169
	参考文献	171
	习题	173
第 6 章	感知处理	174
6.1	层内和层间的处理	174

6.1.1	集注 (GFS 的 F)	174
6.1.2	建立分组假设 (GFS 中的 G 和 S)	176
6.1.3	分组假设的计算属性 (GFS 中的 G)	177
6.1.4	选择和确认 (GFS 中的 S)	178
6.1.5	实体的分类、识别和组织	178
6.2	作为层次模块的感知处理	179
6.2.1	信息源	181
6.2.2	状态空间的棋盘格化: 采样	182
6.2.3	噪声、不确定性和模糊性	183
6.2.4	假设的建立和测试	183
6.2.5	初始化	186
6.3	感知处理的递阶结构	187
6.3.1	SP 中自然出现的表示的递阶结构	187
6.3.2	在最高分辨率的两个相邻层次的处理	189
6.3.3	在上面的层次发生了什么	193
6.4	感知处理的多分辨率实质	197
	参考文献	198
	习题	200
第 7 章	行为生成	201
7.1	多分辨率行为生成的基本概念	201
7.1.1	定义	201
7.1.2	行为生成: 从泛化到实例化的回归综合	205
7.2	BG 结构	207
7.2.1	虚拟回路	207
7.2.2	实时控制和规划: 不确定源怎样影响它们	211
7.2.3	虚拟 ELF 的嵌套	212
7.3	多分辨率控制的策略: 嵌套递阶结构的生成	213
7.3.1	规划 - 控制的离线决策过程	213
7.3.2	在线决策期间嵌套的递阶信息的细化	214
7.3.3	嵌套的模块	219
7.4	行为生成的整体组织	221
7.4.1	计算行为的主要概念	221
7.4.2	BG 模块	223
7.4.3	行为生成的实际例子	226
7.4.4	对实际例子的泛化: 理论概述	229
7.4.5	多分辨率递阶规划的算法 (NIST-RCS 规划器)	230
7.4.6	BG 模块综述	233
7.5	规划器	240

7.5.1	规划的计算过程	240
7.5.2	规划器的功能和认识论	241
7.5.3	在多分辨率空间中规划与在抽象空间中规划	242
7.5.4	任务空间中的规划和运动规划	244
7.5.5	反应决策与谨慎决策	245
7.5.6	规划器的内部包含什么	246
7.6	执行器的结构和作用	255
7.6.1	处理规划的结果	255
7.6.2	执行器的结构	258
7.6.3	执行器的操作	259
7.6.4	作为任务发生器的执行器	260
7.7	结论: 在智能系统中集成 BG 模块	261
	参考文献	262
	习题	265
第 8 章	多分辨率规划: 理论框架	266
8.1	规划概述	266
8.1.1	规划领域中主要成果的概述	266
8.1.2	与规划相关的定义	267
8.1.3	规划是控制的一个阶段	270
8.2	规划中出现的问题	271
8.2.1	行为生成的一般问题	271
8.2.2	问题的结构源	271
8.2.3	表示和规划	271
8.2.4	智能系统中规划问题的分类	273
8.3	动作规划和状态规划	274
8.3.1	规划算法	274
8.3.2	基于可视性的规划	275
8.3.3	局部规划: 环境表示的势场	276
8.3.4	全局规划: 搜索轨迹	276
8.4	规划和学习之间的联系	276
8.4.1	学习是表示的源泉	276
8.4.2	规划和学习之间的相互关系	277
8.5	行为生成体系结构中的规划	278
8.5.1	规划的递阶多分辨率组织	278
8.5.2	实例研究: 自主车的驾驶仪	279
8.6	多分辨率空间中的路径规划	283
8.6.1	状态空间的表示	283
8.6.2	专家规则/启发式	284

8.6.3	减少计算时间的技术	286
8.6.4	实验结果	287
8.7	多分辨率规划——提高行为生成效率的工具	288
8.7.1	多分辨率规划体现系统的智能	288
8.7.2	多分辨率规划降低了计算的复杂度	290
8.7.3	一般的 S3 搜索算法用于复杂度降低的规划	293
8.7.4	棋盘格化	294
8.7.5	表示的测试	295
8.7.6	搜索	299
8.7.7	连续细化	301
8.7.8	复杂度的评估	303
	参考文献	304
	习题	308
第 9 章	规划器 / 执行器模块的多分辨率递阶结构	309
9.1	混合控制递阶结构	309
9.2	理论基础	310
9.3	标准的混合规划器 / 执行器模型	312
9.3.1	基本控制结构	312
9.3.2	标准混合规划器 / 执行器模型的嵌套和回归应用	314
9.3.3	环境模型: 知识的维护	316
9.3.4	嵌套和带宽分离	317
9.4	配有生产系统的规划器 / 执行器模块的拟最小时间作用	319
9.4.1	关于系统动力学的假设	319
9.4.2	关于推动力形成的假设	323
9.4.3	关于阻力的假设	323
9.4.4	确定控制周期的标准分量	323
9.4.5	用标准分量组合控制周期的生产系统	325
9.4.6	实际系统的仿真	327
9.5	通过前向搜索的近似逆	330
9.5.1	概述	331
9.5.2	参考轨迹的近似逆映射的概念	331
9.5.3	用搜索过程求近似逆	333
9.5.4	实验结果	335
9.6	多速率递阶预测控制系统	341
9.6.1	概述	341
9.6.2	求平均小波算法的递阶结构	342
9.6.3	递阶控制器的设计	343
9.6.4	仿真结果	344