

多Agent系统

及其在预测与智能交通系统中的应用

李英/著

AGENT



华东理工大学出版社

EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

多 Agent 系统及其在预测与 智能交通系统中的应用

李 英 著



华东理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

多 Agent 系统及其在预测与智能交通系统中的应用/李英著.

—上海:华东理工大学出版社,2004.11

ISBN 7-5628-1616-6

I. 多... II. 李... III. 交通运输管理—应用软件
IV. U481—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 111512 号

**多 Agent 系统及其在预测与
智能交通系统中的应用**

李 英 著

出版	华东理工大学出版社	开本	850×1168 1/32
社址	上海市梅陇路 130 号	印张	7
邮编	200237 电话(021)64250306	字数	168 千字
网址	www.hdlgpress.com.cn	版次	2004 年 11 月第 1 版
发行	新华书店上海发行所	印次	2004 年 11 月第 1 次
印刷	上海崇明裕安印刷厂	印数	1-2050 册
ISBN 7-5628-1616-6/TP·130		定价:15.00 元	

内 容 简 介

本书论述了多 Agent 系统的一些基本概念和关键技术,并重点讨论了其在预测支持系统和智能交通系统中的应用情况。全书共分为 7 章。第 1 章为绪论,主要阐述 Agent 技术、多 Agent 系统的基本理论。第 2 章介绍多 Agent 系统开发工具方面的一些知识。第 3 章中讨论多 Agent 系统中机器学习的特点、机器学习方法的分类。第 4 章详细讨论多 Agent 系统在预测支持系统中的应用情况。第 5 章介绍基于 Agent 仿真系统建模方法以及其在交通流微观仿真系统中的应用。第 6 章对多 Agent 系统在交通控制系统中的应用进行详细阐述。第 7 章介绍多 Agent 系统在其他一些领域中的应用情况。

本书内容新颖,总结了作者的科研成果。论述力求概念清晰,表达准确,层次分明,突出理论联系实际,对读者富有启发性。本书对从事分布式人工智能、系统仿真、复杂系统研究的科技人员具有较强的参考价值,也可以作为信息技术、智能交通等方向的研究生的参考书。

前 言

Agent 这个概念来源于人工智能领域。对于“Agent”一词,在国内的文献中有几种翻译方式:智能体、主体、智能代理等,还有一种方式是直接沿用英文“Agent”。在本书中,对“Agent”不作翻译。

20 世纪 90 年代以来,随着网络技术、通信技术的发展,对 Agent 技术的研究已经不仅是分布式人工智能研究的一个热点,也成为信息技术关注的一个热点。Agent 是一种处于一定环境下的计算机系统,能够在环境中灵活、自主地运行,具有一定的智能性和自治性。多 Agent 系统的研究强调从整体上对多个 Agent 集体行为的性质进行分析与定义,以求从 Agent 个体行为、系统中 Agent 关系以及环境特性出发,来预测、引导和达成系统的总体目标。通过多 Agent 系统,能够实现分散控制、应急和并行处理。

本书的目的主要在于:①介绍 Agent 技术及多 Agent 系统研究领域中的一些相关工作和理论上的一些研究成果;②深入讨论多 Agent 系统在预测支持系统、智能交通控制系统中的应用研究,包括系统框架的设计,其中涉及到一些 Agent 的设计与实现等;③探讨多 Agent 系统在其他领域中的应用,包括数据挖掘、电子政务、项目管理等方面。

本书分为 7 章。

第 1 章阐述了 Agent 技术、多 Agent 系统的基本理论,主要包括 Agent 技术的兴起,Agent 的分类,以及多 Agent 系统的组织结构、通信、协商与协作等。

第 2 章介绍了多 Agent 系统开发工具方面的一些知识,包括面向 Agent 的编程、多 Agent 系统的开发环境等。

第 3 章所关注的是多 Agent 系统中的机器学习问题,讨论了多 Agent 系统中机器学习的特点、机器学习方法的分类,并重点阐述了在多 Agent 系统中应用较多的强化学习方法。

第 4 章主要介绍了 Agent 技术在预测支持系统中的应用,包括基于 Agent 的预测支持系统的框架设计,以及其中一些 Agent 的设计和实现,包括人机界面 Agent、数据特征分析 Agent 和神经网络预测 Agent。

第 5 章介绍了基于 Agent 的建模方法,并以交通流微观仿真系统为例介绍了这种建模方法在复杂系统仿真中的应用。

第 6 章针对多 Agent 系统在交通控制系统中的应用进行了详细阐述,设计实现了基于强化学习算法的交通信号控制 Agent(Traffic Signal Control Agent,简称为 TSCA),并探讨了 TSCA 之间的通信协调机制。

第 7 章介绍了多 Agent 系统在其他一些领域中的应用情况,比如:数据挖掘系统、地理信息系统、项目管理系统等。对本章中列举的这些应用,研究还不够深入,有兴趣的读者可以继续深入研究。

本书是作者在天津大学攻读博士学位以及在上海交通大学做博士后时一些研究成果的总结。书中研究成果的取得主要得益于我的博士导师刘豹先生以及博士后导师王浣尘教授;还得益于马寿峰教授、程明教授、胡代平博士、关旭博士、朱奇农博士等。本书的出版得到了陈智高教授的大力帮助。在此,向他们一并表示深深的谢意!

作者

2004. 10

目 录

第 1 章 绪论

- 1.1 分布式人工智能 (1)
 - 1.1.1 人工智能的概念 (1)
 - 1.1.2 人工智能的发展 (2)
 - 1.1.3 分布式人工智能 (4)
- 1.2 Agent 技术的研究进展 (5)
 - 1.2.1 Agent 的概念 (5)
 - 1.2.2 Agent 的分类 (7)
 - 1.2.3 Agent 的体系结构 (11)
 - 1.2.4 信息服务 Agent (14)
- 1.3 多 Agent 系统(MAS)研究进展 (15)
 - 1.3.1 多 Agent 系统的组织结构 (16)
 - 1.3.2 多 Agent 系统中的通讯 (18)
 - 1.3.3 协调、协作与协商 (20)
 - 1.3.4 多 Agent 系统的动态特性 (25)
 - 1.3.5 多 Agent 系统开发中的易犯错误 (25)
- 参考文献 (26)

第 2 章 多 Agent 系统开发工具

- 2.1 面向 Agent 的开发方法 (31)
 - 2.1.1 软件开发方法 (31)
 - 2.1.2 面向 Agent 的方法 (32)
- 2.2 开发工具的选择 (33)
 - 2.2.1 Agent 开发环境 (34)
 - 2.2.2 Agent 编程语言 (37)

2.2.3	开发工具的选择	(37)
	参考文献	(38)
第3章 多 Agent 系统中的机器学习		
3.1	机器学习	(39)
3.1.1	学习的概念	(39)
3.1.2	机器学习	(40)
3.2	多 Agent 系统学习的特点	(42)
3.2.1	交互对 MAS 学习的影响	(42)
3.2.2	动态性和并发性	(43)
3.3	多 Agent 学习方法的分类	(43)
3.3.1	根据学习目的分类	(44)
3.3.2	根据学习途径分类	(45)
3.3.3	根据学习方式分类	(47)
3.4	强化学习方法	(49)
3.4.1	学习原理	(50)
3.4.2	常用算法	(51)
3.4.3	应用实例	(53)
	参考文献	(54)
第4章 基于 Agent 的预测支持系统		
4.1	预测支持系统研究现状	(57)
4.1.1	预测方法	(58)
4.1.2	预测支持系统的功能及特点	(61)
4.1.3	智能化预测支持系统	(62)
4.2	多 Agent 预测支持系统的结构	(64)
4.2.1	传统预测支持系统的局限性	(64)
4.2.2	多 Agent 预测支持系统的结构	(66)
4.3	Agent 的实现分析	(68)
4.3.1	基于类框架的 Agent 模型	(68)

4.3.2	混合型 Agent 的 BNF 表示	(70)
4.3.3	通讯的实现	(73)
4.4	人机界面 Agent 的设计与实现	(75)
4.4.1	人机界面 Agent 的描述与结构	(75)
4.4.2	人机界面 Agent 的功能实现	(77)
4.4.3	人机界面 Agent 中的机器学习	(78)
4.5	数据特征分析 Agent 的实现	(81)
4.5.1	数据特征分析 Agent 的描述及结构	(82)
4.5.2	相关性分析的实现	(83)
4.5.3	混沌性分析的实现	(85)
4.6	神经网络预测 Agent 的设计与实现	(98)
4.6.1	神经网络预测方法	(100)
4.6.2	演化神经网络	(102)
4.6.3	神经网络预测 Agent 的描述及结构	(104)
4.6.4	神经网络预测 Agent 的能力实现	(105)
4.6.5	神经网络预测 Agent 能力的验证	(112)
	参考文献	(120)
第 5 章 基于 Agent 的建模方法		
5.1	基于 Agent 的建模方法	(124)
5.2	复杂系统的 ABM 仿真方法	(125)
5.3	基于 ABM 的城市交通流的微观仿真系统	(129)
5.3.1	城市道路交通流微观仿真系统	(129)
5.3.2	Agent 的种类	(131)
5.3.3	各种 Agent 的功能	(131)
5.3.4	仿真系统的基本框架	(137)
	参考文献	(138)
第 6 章 多 Agent 系统在智能交通中的应用		
6.1	城市交通控制理论与方法	(141)

6.1.1	交通控制方式及结构	(142)
6.1.2	智能交通控制系统	(144)
6.1.3	分布式交通信号控制方法	(145)
6.2	交通信号控制 Agent 的结构设计	(147)
6.2.1	TSCA 控制权限的确定	(147)
6.2.2	TSCA 的特点	(148)
6.2.3	TSCA 的结构	(149)
6.2.4	TSCA 的工作过程	(152)
6.3	TSCA 的设计与实现	(153)
6.3.1	Q-学习算法设计	(154)
6.3.2	经验知识的利用	(159)
6.3.3	TSCA 个体的实现	(160)
6.4	基于 Agent 的交通控制系统的框架设计	(165)
6.5	TSCA 通讯的设计实现	(168)
6.5.1	通讯原语的描述	(168)
6.5.2	通讯的实现	(170)
6.6	实现协调的对策论基础	(172)
6.6.1	对策行为的三个基本要素	(172)
6.6.2	二人非零和合作型对策	(173)
6.7	TSCA 间的协调	(175)
6.7.1	基于对策论的协调的实现	(176)
6.7.2	基于社会规则的协调	(180)
6.7.3	协调的实现	(181)
6.8	两个路口控制的仿真实现	(182)
	参考文献	(186)
第 7 章 多 Agent 系统在其他领域中的应用		
7.1	多 Agent 系统在数据挖掘中的应用	(189)
7.1.1	系统的组成和结构	(190)

7.1.2	各类型 Agent 的功能	(191)
7.1.3	利用系统实现空间数据挖掘的过程	(193)
7.2	多 Agent 系统在企业信用评估中的应用	(194)
7.2.1	企业信用评估方法	(196)
7.2.2	基于 MAS 的企业信用评估系统生成平台	(197)
7.3	Agent 技术在电子政务中的应用	(200)
7.3.1	Agent 技术在地理信息中的应用	(202)
7.3.2	Agent 技术在决策支持系统中的应用	(204)
7.4	Agent 技术在项目管理中的应用	(206)
7.4.1	国内外研究现状	(206)
7.4.2	Agent 技术在项目管理信息系统中的应用	(207)
7.4.3	Agent 技术在项目知识管理中的应用	(209)
	参考文献	(209)

第 1 章 绪 论

人工智能是许多学科和技术发展的产物。随着计算机技术、通信技术、网络技术的高速发展,分布式人工智能成为一个热门的研究方向,取得了一些研究成果,并在解决实际问题方面起到了一定的作用;而多 Agent 系统则是分布式人工智能发展的结果。本章中,介绍分布式人工智能的发展,以及与多 Agent 系统相关的一些概念。

1.1 分布式人工智能

1.1.1 人工智能的概念

从计算机科学的角度,Barr A 和 Feigenbaum E A 在 1981 年给出的人工智能定义为^[1]:“人工智能(AI: Artificial Intelligence)属计算机科学的一个分支,旨在设计智能的计算机系统,也就是说,对照人类在自然语言理解、学习、推理、问题求解等方面的智能行为,它所设计的系统应呈现出与之类似的特征。”

由计算机执行本来要由人类依靠一定的智能才能完成的任务,是人工智能研究的焦点所在。人工智能程序处理的对象是符号,包括符号表示、符号推理和符号搜索,这种符号处理可以看成是传统数据处理的延伸和发展。符号的内涵不再局限于数值计算和数据处理中的数据和一般的信息,而主要表示人类推理所需的各类知识。知识处理系统具有符号推理、联想、学习和解释的能力,能够帮助人们进行判断、决策,开拓未知的领域和

获取新的知识。

传统程序求解的问题主要是那些能够完全用数学精确描述的良好结构问题,而人工智能程序是以求解不良结构问题为特征的。在现实世界中,普遍存在的问题大多属于不良结构的问题,求解这类问题往往不存在可使用的数学模型,更没有现成的算法;只能凭借经验和尚未完全形成科学体系的知识,使用弱方法进行求解。所谓弱方法,一是指它对给定信息的要求比较弱,即问题的已知信息可能是不精确的、不完整的或模糊的;二是指使用的知识本身属经验的、不严格的或人类尚未完全掌握的;三是指用它求解问题需要经过反复的试探或搜索,求解的过程和所得的结果都可能是不确定的。可见,弱方法和不确定性紧密相连。心理学家认为,人类的创造发明无一不与这种类似于新手求解问题的弱方法有关。因此,离开了弱方法和不确定性,智能就无从谈起。

与弱方法对应的是强方法,是一种主要依靠识别和反应而搜索活动很少的问题求解方法。对于常规的专业问题,领域专家一般都能很快地解决,他们用的主要是强方法。但是,作为领域专家,不仅应该会使用强方法去求解常规问题,而且应该拥有强有力的启发式知识,以便对大量复杂的专业问题进行有效的探索。

1.1.2 人工智能的发展

19世纪以来,数理逻辑、自动机理论、控制论、信息论、仿生学、计算机、心理学等科学技术的发展,为人工智能的诞生准备了思想、理论和物质基础。现实世界中,相当多的问题求解是复杂的,常常没有算法可循。于是,人们采用启发式知识进行求解,简化复杂问题,这种利用专门领域的经验知识进行求解的方法虽然不能得到数学上的最优解,但经常可以得到有关问题的

满意解。这种处理问题的方法的出现和发展导致了人工智能的诞生。1956年,美国的几位心理学家、数学家、计算机科学家、信息论学家在 Dartmouth 大学举办夏季讨论会,正式提出了人工智能这个术语,开始了具有真正意义的人工智能研究^[2]。

在20世纪50年代,人工智能以博弈、游戏为对象进行研究。1956年, Samuel^[3]研制成功具有自学习能力的启发式博弈程序。同年, Newell、Simon^[4]等人研制出了启发式程序“Logic Theorist”,证明了《数学原理》一书中38条定理,开创了计算机研究思维活动规律的工作。1958年, McCarthy^[5]建立了人工智能程序设计语言 LISP,不仅可以处理数据,还可以方便地处理符号,为人工智能研究提供了重要工具。

20世纪60年代前期,人工智能以搜索算法、通用问题求解的研究为主。1965年, Feigenbaum 等^[6]研制成功了 DEN-DRAL 化学专家系统,使人工智能的研究重点由算法转向知识表示的研究,也是人工智能研究走向实用化的标志。

20世纪70年代前期,人工智能研究以自然语言理解、知识表示为主。1972年,法国马赛大学的 Colmerauer 创建了 PRO-LOG 语言。1975年, Minsky^[7]提出了重要的框架知识表示法。1977年, Feigenbaum 在第五届国际人工智能会议上提出了知识工程的概念。

20世纪80年代,人工智能蓬勃发展,专家系统开始被广泛应用,出现了专家系统开发工具,开始兴起人工智能产业。许多国家开始制定相应的计划,进行人工智能和智能计算机系统的研究。

几十年来,人工智能的研究取得了一定的进展,提出了启发式搜索策略、非单调推理、机器学习方法等理论。近年来,随着计算机网络的发展,逐渐形成了人工智能中的分支——分布式人工智能,并成为当今的研究热点。

1.1.3 分布式人工智能

随着人工智能及计算机网络的发展,计算机软件系统的结构和计算机组织结构的复杂性不断增加,对软件系统的开发提出了更多、更复杂的要求,如可伸缩性、多功能性、可重用性、鲁棒性等等。而传统的整体设计和集中控制的软件开发方法已不能满足这些需求,一些大型软件系统的设计越来越向着个性化、智能化、分布式发展。在 20 世纪 70 年代的后期出现了分布式人工智能(DAI: Distributed Artificial Intelligence)。分布式人工智能是人工智能技术和分布式计算的有机结合,分布式人工智能产生的原因主要在于:①单个智能系统的资源是有限的;②人类智能不仅表现在单个人的智能行为中,更表现在人类社会中各种组织及整个社会的智能行为中,DAI 结构比传统的 AI 更能符合人类智能的特点;③计算机软硬件的研究成果,尤其是 Internet 网的出现,为 DAI 系统的实现提供了必要的支持^[8]。

分布式人工智能主要研究在逻辑上或物理上分散的智能动作者如何协调其智能行为,即协调它们的知识、技能和规划,求解单目标或多目标问题,为设计和建立大型复杂的智能系统或计算机支持协同工作提供有效途径。对于分布式人工智能系统的质量检测,主要的一个指标是系统的鲁棒性,另一个指标是系统的互操作性,即不同的异构系统在快速变化的环境中交换信息、共同工作的能力。互操作性的实现需要系统采用开放、灵活的结构。

在 DAI 研究的早期,主要着眼于分布式问题求解(DPS: Distributed Problem-solving Systems)。对 DPS 的研究认为,整个系统是可以采用中心设计的确定性系统,试图通过系统设计者的预先定义,规定系统的全部行为,使之满足系统需求。但在实际研究过程中,研究者们发现实际系统很难满足确定性、封

闭性假设,研究的出发点应该是不确定性和开放性。于是,研究者们将热点转移至开放的多 Agent 系统(MAS: Multi-Agent Systems),多 Agent 系统的研究涉及到在一组自主的 Agent 之间协调其知识、目标及规划等,以便联合起来采取行动或求解问题。

由于 MAS 更能体现人类的社会智能,具有更大的灵活性和适应性,因此也更适用于开放、动态的世界环境,因而越来越受到研究者们的重视。目前,对 Agent 及多 Agent 系统的研究主要集中在以下方面:Agent 和多 Agent 系统理论、Agent 的体系结构、Agent 语言、Agent 之间的协作与协商、多 Agent 系统中的学习、多 Agent 系统的应用研究等等。

1.2 Agent 技术的研究进展

1.2.1 Agent 的概念

对于“Agent”一词,在国内的文献中有几种翻译方式:智能体、主体、代理等,但是最常见的是仍采用英文“Agent”^[9~22]。这主要是由于对“Agent”的概念尚无统一的标准,对于汉语中哪个词汇能最好地表达“Agent”的含义不能达成共识。在本书中,使用英文“Agent”,不对其进行翻译。

对于起源于人工智能领域中的“Agent”术语的精确定义之所以比较困难,主要是因为这个词在计算机领域中使用得太多,而不同的领域分支对于其理解又各不相同。如今,除了人工智能领域之外,在机器人、软件工程、网络搜索、路由器算法、人机界面等领域中,都在使用 Agent 一词。下面是几种比较具有代表性的定义形式:

Hyacinth S. Nwawa^[23]对于 Agent 的定义是这样描述的:

“Agent 是一种可以根据用户的利益完成某些任务的软件和/或硬件实体。如果可以选择,我们宁愿说它是一种元术语(meta-term),或者是一个类,其中还包括许多特定的 Agent 类型,这样问题就可以转变为对这些具体 Agent 的定义了。”

MIT 软件研究小组的 Pattie Maes 认为,“Agent 是一类嵌入复杂、动态环境中的计算系统,它可以感知、作用于环境,并且希望通过动作的执行实现一定的目标或任务。”

智能物理 Agent 基金会(FIPA: Foundation for Intelligent Physical Agents)对于 Agent 的定义为,“Agent 是一类嵌入环境内的实体,它可以解释反映环境事件的‘传感器’数据,并通过执行动作影响环境。Agent 可以是硬件或软件;对于硬件 Agent,需要强大的软件支持。”

在人工智能领域中,对于 Agent 的最初理解是“实时地与变化着的环境交互的规划系统”,随着研究的深入,对 Agent 增加了许多人类才具有的特征,如精神状态、感情等,典型的有 Shoham^[24]提出的 BDI 模型,即 Agent 应具有信念(Belief)、愿望(Decision)、意向(Intention)等特点。信念是指 Agent 当前的状态,是关于自身、周围环境和其他 Agent 的信息模型;愿望(或目标)是系统期望的行为;意向是系统当前或将来某个时刻将要执行的任务。

针对关于 Agent 的概念较多的状况,杨鲲等提出了最小 Agent 的概念^[25],认为一个 Agent 的最基本特性应当包括:反应性、自治性、面向目标性和针对环境性,然后根据其应用情况可以再拥有其他特性,比如,多 Agent 系统中的 Agent 必须具有通讯能力。因此,可以将 Agent 简单地定义为:Agent 是一类在特定环境下能感知环境,并能自治地运行,代表其设计者或使用 者实现一系列目标的计算实体或程序。

可以清楚地看到,有许多相互联系很少的研究领域在同时