

Agent 和多 Agent 系统 的设计与应用

何炎祥 陈莘萌 编著

本书系统地论述了 Agent 和多 Agent 系统的原理、方法、技术、工具和应用实例，并总结了作者在该领域的研究成果和国内外同行的研究工作。



武汉大学学术丛书

WUHAN UNIVERSITY ACADEMIC LIBRARY 武汉大学出版社



武汉大学学术丛书

Agent 和多 Agent 系统的 设计与应用

何炎祥 陈莘萌 编著

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

Agent 和多 Agent 系统的设计与应用/何炎祥,陈莘萌编
著. —武汉:武汉大学出版社,2001.6

(武汉大学学术丛书)

ISBN 7-307-03163-9

I. A… II. ①何… ②陈… III. 计算机网络—应用软件,
Agent IV. TP393.09

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 00389 号

责任编辑:陈刚 责任校对:黄添生 版式设计:支笛

出版:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

发行:新华书店湖北发行所

印刷:湖北省黄冈日报社印刷厂

开本:850×1168 1/32 印张:8.875 字数:227千字 插页:3

版次:2001年6月第1版 2001年6月第1次印刷

ISBN 7-307-03163-9/TP·101 定价:22.50元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换。



何炎祥 教授,博士生导师。男,1952年1月生。美国 Oregon 大学计算机及信息科学系硕士,武汉大学计算机科学系博士。现任武汉大学计算机学院院长、软件工程国家重点实验室主任。兼任国家教育部教学指导委员会计算机软件指导组成员、中国计算机学会常务理事、全国高等学校计算机教育研究会常务理事、中国计算机学会办公自动化专委会和数据库专委会委员、高等教育出版社计算机教材引进专家组成员、湖北省暨武汉市计算机学会副理事长、湖北省软件行业协会副理事长、《计算机与数字工程》杂志编委会副主任、《计算机应用》杂志编委等职。先后在《计算机学报》、《计算机研究与发展》等刊物上发表学术论文70多篇,其中16篇分别被美国EI、英国科学文摘、俄罗斯科技情报文摘以及中国无线电电子学文摘等杂志摘录和检索。在高等教育出版社、科学出版社、武汉大学出版社等出版著作和教材15部,其中主编的《编译原理》、《操作系统原理》、《分布式操作系统设计》已被国内不少高校选作教材。先后主持和主要参加了国家“六五”、“七五”、“八五”、“863高技术计划”、国家教育部重点、湖北省自然科学基金、国家教育部“九五”重点教材等十多项科研项目。

QJ51P3/01



陈莘萌 教授、博士生导师。男,1939年9月生。1958年8月毕业于武汉大学数学系,1981~1983年在日本京都大学作访问学者,从事并行处理研究。历任中国计算机学会委员、中国计算机学会体系结构专委会委员、信息存储专委会委员、湖北省计算机学会体系结构专委会主任、湖北省微机领导小组成员、湖北省财会电算化软件评审专家组组长、武汉大学计算机科学研究所副所长、国务院电子信息系统推广应用办公室“电子计算机应用系列教材”常务主编等职。早年从事计算机系统结构与计算机应用的研究,主持开发了GNB-I型通用计算机系统等填补多项国内技术空白的大型系统。1979年以来,主要从事分布并行处理研究。20世纪80年代初,主持开发了国内第一个分布式计算机系统Wudp-80,随后又主持开发了Wudp-85、Wudp-88、Wudp-91等分布式并行计算机系统,并在分布并行算法方面进行了卓有成效的研究。1989年,在人工智能和智能系统新原理研讨会上提出“多时空思维”的新学术观点,受到学术界的普遍关注。20世纪90年代以来,主持多项国家自然科学基金课题、国家攀登计划课题和863基础研究课题。近几年发表论文30余篇。

内 容 简 介

Agent 和多 Agent 系统是当今计算机科学技术领域、信息工程领域和网络与通信领域十分活跃的前沿研究方向之一，其应用范围也越来越广泛。本书系统地论述了 Agent 和多 Agent 系统的原理、方法、技术、工具和应用实例，并总结了作者在该领域的研究成果和国内外同行的研究工作。本书叙述简明、结构清晰，着力反映了 Agent 和多 Agent 系统方面的新观点、新思路和新成果，可作为计算机科学技术学科、电子信息学科以及网络与通信专业的大学高年级学生、研究生和教师的教学用书，也可供从事这方面研究和开发工作的科技人员学习和参考。

前 言

Agent 和多 Agent 系统是当今计算机科学技术领域、信息工程领域和网络与通信领域十分活跃的前沿研究方向之一。

Agent 的原意是“代理”，即一个人代表另一个人或（另）一个组织去完成某件（些）事情。在计算机领域，Agent 可看做是被授权的“个人软件助理”（Personal Software Assistants），是一种在分布式系统或协作系统中能持续自主地发挥作用的计算实体，常简称为智能体。

Agent 的概念出现于 20 世纪 70 年代的人工智能（AI: Artificial Intelligence）中，80 年代后期才成长起来。由于分布并行处理技术、面向对象技术、多媒体技术、计算机网络技术，特别是 Internet 和 WWW 技术的发展，Agent 不仅成为 AI 和计算机领域最活跃的研究内容之一，而且引起了科技界、教育界、工业界甚至娱乐界的广泛关注，其应用也越来越广泛。

分布式人工智能（DAI: Distributed Artificial Intelligence）是人工智能 AI 研究领域的一个重要分支。DAI 系统由多个 Agent 组成，每个 Agent 又是一个半自治系统，这些 Agent 之间以及 Agent 与环境之间都是并发的，需要进行交互。DAI 研究工作大致分为分布式问题求解（DPS: Distributed Problem Solving）和多 Agent 系统（MAS: Multi-Agent Systems）两个方面。DPS 主要研究如何分解某特定问题，并将其分配到一组拥有分布知识并相互协作的结点上；MAS 是指一些自主的 Agent 通过协作完成某些任务或实现某些目标的计算系统，它侧重研究如何协调一组

Agent 的行为,即研究这组 Agent 为了联合采取行动或求解问题时,如何协调各自的知识、目标、策略和计划等。目前,MAS 主要研究多 Agent 理论、通信和交互技术,体系结构和组织形式,面向 Agent 的程序设计方法和语言,以及多 Agent 间的协调、协作和协商等。

Agent 一般具有自主性、交互性、反应性和主动性的特征。

①**自主性** Agent 具有属于其自身的计算资源和局部于自身行为控制的机制,能在无外界直接操纵的情况下,根据其内部状态和感知到的(外部)环境信息,决定和控制自身的行为。

②**交互性** 能与其他 Agent 进行多种形式的交互,能有效地与其他 Agent 协同工作。

③**反应性** 能感知所处的环境,并对相关事件作出适时反应。

④**主动性** 能遵循承诺采取主动行动,表现出面向目标的行为。

不少学者称具有上述特征①~③的计算实体为反应式 Agent。有些学者对 Agent 赋予了更多拟人化的要求,例如 DAI 领域的学者要求 Agent 具有信念、愿望、意图等认知特性;CSCW 领域的学者则要求 Agent 具有更加友好、灵活的人机交互方式。

由于 Agent 具有上述特征,因此,它与面向对象方法中的对象(Object)有明显的区别:

第一,Agent 具有主动性,它有自己的目标以及面向目标的行为,能遵循承诺采取主动行为,而且具有自学习、自适应的能力。而对象是被动的实体,其行为是指由消息(message)去调用对应的方法(method),完成方法所规定的工作。对象无法表现出面向目标的动作和行为。

第二,Agent 是一个自主的计算实体,能够在没有外界直接操纵的情况下,根据自身所处的环境、内部的状态和知识,以及外部事件来决定和控制自身的行为,而对象是受控的,没有信息执行的控制机构,对接收到的信息只是机械地执行信息所规定的动

作,无法理解其含义。

第三,对象间是以消息传递方式通信的,因此需要明确对方的存在。而 Agent 间的通信既可以了解对方,直接通信,又可以不了解对方,间接通信。

容易看出,Agent 和对象是两个不同的概念,有明显的区别。可以认为,Agent 是对象的发展,面向 Agent 方法是面向对象方法的发展。

本书是一部论述 Agent 和多 Agent 系统的基本原理、典型实现技术和应用实例方面的专著。全书共八章,第一章简述了 Agent 的基本特征、定义、行为模式,Agent 理论,多 Agent 系统的体系结构,以及有关 Agent 研究工作的进展,提出了一个基于 Agent 的分布计算环境模型 MADOCe。接下来的几章比较深入地系统地探讨了 MADOCe 中几个关键性组件的设计思路、核心算法和基本实现技术。第二章主要讨论 MADOCe 的通信机制;第三章专门研究 MADOCe 中的任务分解和任务调度问题;第四章为 MADOCe 提出了一种有效管理可重用资源和消耗性资源的协调算法;第五章讨论多 Agent 系统的合作模型;第六章讨论多 Agent 系统的交互策略;第七章介绍基于移动 Agent 的网上信息检索系统的设计;第八章分别从 Agent 系统的验证方法、移动 Agent 的体系结构及其应用,Agent 系统和软件工程过程,以及基于 Agent 的分布式数据开采等不同侧面,进一步讨论了多 Agent 系统的研究进展和应用情况。

本书结构清晰、叙述简明,集中反映了 Agent 和多 Agent 系统方面的新思路、新观点、新方法和新成果,可作为计算机科学技术学科、电子信息学科以及网络与通信专业的大学高年级学生、研究生的教材,也可供从事有关方面研究和开发的科技人员学习和参考。

本书是在博士论文“基于 Agent 的分布开放计算环境若干基本问题研究”的基础上修改、充实而成的,主要增加了一些较新

的研究成果,如多 Agent 系统的合作模型和交互策略、移动 Agent 的体系结构及其在网上信息系统中的应用等。

衷心感谢我的研究生陈燕涛、孙祥胜、蔡一炜、吴思、罗先林、邹华胜、宋文欣、彭锋、尹学军、杜卓敏、邓爱林、刘朝阳、张戈、黄浩、石莉、李超、余晨、宋志凯、李锋、黄谦、李旭辉、宋强以及陈莘萌老师的研究生姚昱,他们的出色工作为本书的形成提供了丰富的素材和极大的帮助。

此外,中国船舶工业总公司第七〇九研究所王振宇教授、华中科技大学卢正鼎教授、软件工程国家重点实验室、武汉大学计算科学与技术系、武汉大学科学技术处、武汉大学研究生院对此书的编写给予了很多的鼓励,武汉大学出版社对此书的出版给予了大力支持。书中还多次引用国内外同行的研究成果,谨此一并致谢。

书中不妥甚至谬误之处,恳请同行们不吝赐教。

何炎祥

2000 年 5 月于武昌珞珈山

目 录

前 言	(1)
第一章 概 论	(1)
1.1 未来的计算环境及其特征	(1)
1.2 Agent 与基于 Agent 的系统	(2)
1.2.1 Agent 的特征	(2)
1.2.2 Agent 的弱定义与强定义	(3)
1.2.3 软件 Agent	(4)
1.2.4 基于 Agent 的系统	(5)
1.3 有关工作的研究进展	(6)
1.3.1 多 Agent 理论	(6)
1.3.2 Agent 的适应性	(7)
1.3.3 MAS 的体系结构	(8)
1.3.4 Agent 的协调、协作与协商	(10)
1.3.5 国内研究简况	(13)
1.3.6 专门的国际会议	(13)
1.4 基于 Agent 的分布开放计算环境模型	(15)
1.4.1 从对象到 Agent	(15)
1.4.2 Agent 的结构及其形式化定义	(17)
1.4.3 Agent 的行为模式	(19)
1.4.4 基于 Agent 的分布开放计算环境模型 (MADOCE)	(19)

第二章 MADOCE 的通信机制	(22)
2.1 基于消息的通信机制	(22)
2.2 多对多 RPC 通信模型	(24)
2.2.1 RPC 的功能	(24)
2.2.2 传统 RPC 的通信模式	(24)
2.2.3 传统 RPC 的实现方法	(26)
2.2.4 多对多 RPC 通信模型	(29)
2.2.5 多对多 RPC 语义	(37)
2.2.6 Agent-group 的负载平衡	(39)
2.2.7 多 Agent-group 的多对多 RPC	(41)
2.2.8 与其他 RPC 模型的比较	(46)
2.3 分布式进程异步通信模型	(48)
2.3.1 概述	(48)
2.3.2 PCAP 模型	(49)
2.3.3 通道语法规则	(50)
2.3.4 PCAP 模型的基本算法及其改进	(51)
2.3.5 一个层次~F 通道应用程序	(54)
2.3.6 性能分析	(56)
2.4 小 结	(56)
第三章 MADOCE 的任务分解与调度	(58)
3.1 概述	(58)
3.2 任务分解	(58)
3.2.1 任务分解问题的形式化描述	(58)
3.2.2 解决任务分解问题的启发式算法	(61)
3.3 任务分配	(64)
3.3.1 遗传算法和模拟退火算法简述	(64)
3.3.2 基于遗传算法和模拟退火算法的任务分配算法	(66)

3.4	并行调度	(71)
3.4.1	并行调度概述	(71)
3.4.2	一种基于环结构的并行调度算法(RING 算法)	(72)
3.4.3	RING 算法的几个结论及其证明	(73)
3.4.4	RING 算法示例	(76)
3.5	子任务执行时的协调及结果集成	(77)
3.6	小 结	(78)
第四章	MADOCE 的资源管理策略	(80)
4.1	概 述	(80)
4.2	可重用资源管理的协商算法	(81)
4.2.1	算法符号说明	(82)
4.2.2	算法描述	(83)
4.2.3	算法示例	(85)
4.3	消耗性资源管理的协商算法	(88)
4.4	资源管理的相关工作	(92)
4.5	小结	(93)
第五章	多 Agent 系统的合作模型	(95)
5.1	合作模型的一般要求	(95)
5.2	Linda 合作语言	(96)
5.2.1	元组和元组匹配	(97)
5.2.2	元组操作	(98)
5.3	几个典型的合作模型	(99)
5.3.1	KQML 与合同网模型	(99)
5.3.2	ACTORSAPCE 模型	(100)
5.3.3	JAVASAPCES	(103)
5.4	合作模型 MS	(104)
5.4.1	合作模型 MS 的定义	(104)

5.4.2	服务机制 Sm	(107)
5.4.3	模型的分布式结构	(113)
5.5	基于 MS 合作模型的应用体系结构	(117)
5.5.1	总体结构	(117)
5.5.2	用户界面的设计	(119)
5.5.3	用户 Agent 的设计	(121)
5.5.4	应用 Agent 的设计	(123)
5.5.5	控制 Agent 的设计	(129)
5.5.6	合作空间 Space	(133)
5.6	小结	(136)
第六章	MADOCE 的交互策略	(138)
6.1	Agent 的交互类别	(139)
6.1.1	正交互	(139)
6.1.2	负交互	(140)
6.2	通信机制	(140)
6.2.1	通信的作用	(140)
6.2.2	通信内容	(141)
6.2.3	通信过程	(142)
6.3	基本交互策略	(146)
6.3.1	通信原语	(146)
6.3.2	基本交互过程	(146)
6.3.3	基本响应策略	(148)
6.4	基于正交互的协商策略	(151)
6.4.1	相关概念	(151)
6.4.2	基本假设	(152)
6.4.3	协商策略	(152)
6.4.4	算法示例	(154)
6.5	多 Agent 系统交互策略的相关工作	(157)

6.6	小结	(158)
第七章	基于移动 Agent 的网上信息检索系统	(159)
7.1	Agent 的特性	(160)
7.2	Agent 的结构	(162)
7.2.1	通信管理机	(162)
7.2.2	推理控制机	(164)
7.2.3	Agent 状态栏	(165)
7.2.4	Agent 知识库	(165)
7.3	Agent 的形式化定义	(166)
7.4	移动 Agent 的定义与特性	(167)
7.5	基于移动 Agent 的分布计算模式	(168)
7.5.1	三种不同的分布计算模式	(168)
7.5.2	移动 Agent 模式的特点	(170)
7.5.3	移动 Agent 的应用	(173)
7.6	构建网上的信息检索系统	(174)
7.6.1	Java 技术	(174)
7.6.2	几个移动 Agent 系统简介	(175)
7.6.3	移动 Agent 系统体系结构	(176)
7.6.4	IRS 系统 MAF 的结构及其实现	(177)
7.7	IRS-Agent 系统的协作性与互操作性	(183)
7.7.1	IRS-Agent 系统的协作性	(183)
7.7.2	IRS-Agent 系统与其他应用程序的互操作性	(187)
7.7.3	与相关系统的比较	(190)
7.8	寻找 Agent 最佳移动路径的算法	(192)
7.8.1	RPC 的基本概念	(193)
7.8.2	移动 Agent 技术	(193)
7.8.3	寻找 Agent 最佳移动路径的算法	(193)
7.8.4	寻找最佳移动路径的改进算法	(198)

7.9 小结	(201)
第八章 相关的研究工作及应用实例	(202)
8.1 面向 Agent 系统的验证方法	(202)
8.1.1 面向 Agent 系统的验证的基本概念	(203)
8.1.2 面向 Agent 系统的验证的详细说明	(205)
8.1.3 小结	(207)
8.2 移动 Agent 的体系结构	(208)
8.2.1 移动 Agent 及其应用领域	(208)
8.2.2 Agent 的体系结构及必需的功能	(210)
8.2.3 小结	(214)
8.3 移动 Agent 在信息系统中的应用	(214)
8.3.1 Agent 的移动性	(215)
8.3.2 移动 Agent 的优点	(216)
8.3.3 感知	(218)
8.3.4 导航	(220)
8.3.5 Agent 之间的交互	(223)
8.3.6 小结	(224)
8.4 Agent 系统的软件工程过程	(224)
8.4.1 基于 Agent 的系统	(224)
8.4.2 Agent 与其相关领域的关系	(225)
8.4.3 系统描述	(228)
8.4.4 实现	(230)
8.4.5 验证	(233)
8.4.6 小结	(234)
8.5 基于 Agent 技术的分布式数据开采	(234)
8.5.1 数据开采	(234)
8.5.2 分布式数据开采	(238)
8.5.3 小结	(241)

8.6 太空探测器上的远程 Agent	(241)
8.6.1 问题提出的背景	(241)
8.6.2 远程 Agent 的设计	(242)
8.6.3 小结	(247)
参考文献	(248)