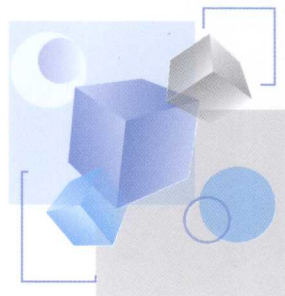


 当代学者论著文库
DANGDAI XUEZHE LUNZHUWENKU



多主体系统 ——概念、方法与探索

.....

张 军 ◎ 著

MULTIAGENT SYSTEMS:
CONCEPTS,
METHODS
AND
EXPLORATIONS

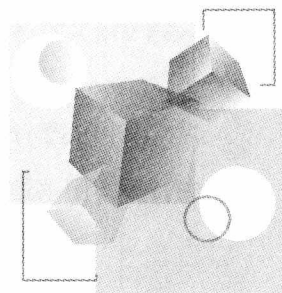


首都经济贸易大学出版社
Capital University of Economics and Business Press

013037212

TP18
242

 当代学者论著文库
DANGDAI XUEZHE LUNZHUWENKU



多主体系统 ——概念、方法与探索

张 军 著

MULTIAGENT SYSTEMS:
CONCEPTS,
METHODS
AND
EXPLORATIONS

 首都经济贸易大学出版社
Capital University of Economics and Business Press



北航

C1645043

TP18
242

图书在版编目(CIP)数据

多主体系统:概念、方法与探索/张军著. —北京:首都经济贸易大学出版社,2013.5

ISBN 978 - 7 - 5638 - 2096 - 2

I. ①多… II. ①张… III. ①人工智能—研究 ②—计算机仿真—研究
IV. ①TP18 ②TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 067247 号

多主体系统——概念、方法与探索

张军 著

出版发行 首都经济贸易大学出版社

地 址 北京市朝阳区红庙(邮编 100026)

电 话 (010)65976483 65065761 65071505(传真)

网 址 <http://www.sjmcb.com>

E-mail publish@cueb.edu.cn

经 销 全国新华书店

照 排 首都经济贸易大学出版社激光照排服务部

印 刷 北京市泰锐印刷有限责任公司

开 本 787 毫米×980 毫米 1/16

字 数 290 千字

印 张 11

版 次 2013 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5638 - 2096 - 2/TP · 38

定 价 25.00 元

图书印装若有质量问题,本社负责调换

版权所有 侵权必究

作者简介

张军，首都经济贸易大学管理科学与工程教授、博士生导师。1984 年本科毕业于中国科学技术大学自动控制专业，1985 年公派留学法国，1986 年和 1990 年分别获得法国巴黎第九大学（Université Paris Dauphine，中译又名巴黎多芬纳大学）计算机管理硕士和博士学位。1990 ~ 1995 年旅居法国，就职于法国北方银行（Crédit du Nord），任科技部项目经理。1995 年回国，被认定为国家人事部来华定居专家。1995 ~ 2002 年任电子工业部计算机与微电子发展研究中心系统处处长和多家民营企业高管。2002 年调入首都经济贸易大学，历任信息学院软件系主任、信息学院副院长、专业硕士教育中心主任，现任首都经济贸易大学研究生部主任和学位评定委员会秘书长。

张军教授曾主持公安、银行和证券等行业的多个大型信息系统的设计、开发、项目管理和集成工作；主持完成国家自然科学基金项目两项，参与多项国家、省部级科研课题；主持完成国务院发展研究中心委托项目两项。出版学术专著 1 部，在权威、核心期刊发表多篇论文。

主要讲授的课程有：数据结构、面向对象的程序设计、分布式系统原理及应用、供应链管理、复杂系统与多主体仿真，以及信息经济前沿课和管理科学与工程前沿课等。

张军教授的研究领域涉及管理科学和信息技术在管理中的应用，目前的主要研究方向为复杂系统与多主体系统仿真。

序

本书不是一本专门论述多主体系统理论和技术的教科书，而是一本可以使不同专业人员了解多主体系统理论和技术全貌的导读性质的读物。虽然读完本书并不能掌握有关内容的细节，但可以引领欲深入这一领域有关内容的读者知道怎样继续学习。因此，这本书像一个导游引导游客参观一个名胜古迹，而不是像一个建筑专家向游客介绍这些古迹的技术细节。本书作者是一个好的导游，对全局有很好地把握。如果用学术语言来说，这是一本对多主体系统研究方面的有关文献和成果有系统深入了解的专家对这一领域内容所作的较全面的综述和系统的评论，是有志进入这一领域的读者不可多得的参考资料。目前，在国内还没有一本专著可以起到这种作用。虽然国内也有一些著作是针对本专业某部分内容和本人工作的较详细论述的专著。

本书论述内容涉及多个专业领域：分布式人工智能、分布式计算、计算机仿真、复杂系统研究等。因此，虽然是“导论”类读物，却并不容易读懂。因为涉及的知识面很宽，读者如果没有宽厚的基础，在阅读时难免会对书中某些部分的内容理解不深，体会不到本书的好处。但从另一个角度看，本书会让多个专业的人员从中受益，起到一个好导游的作用。

作者治学严谨，写作本书时阅读了大量的文献，并对这些内容有较好的理解和把握。本书绝对有别于目前市面上常见的某些“学术著作”，它们的多数内容不是第一手材料，而是彼此抄来抄去，人云亦云，读起来索然无味，害人害己。因此，我认为这是一本内容翔实、结构合理、论述严谨清晰的好书，在国内不可多得。

林寅

2012年2月

前 言

2002 年入职大学的时候,我几乎失去了所有的学术追求,学科背景已经很模糊。在这里我要感谢现已退休的首都经济贸易大学首批数量经济学博士生导师林寅教授。他力主让我参加他主持的国家自然科学基金项目“分布式 Swarm’ 及其在中国经济仿真中的应用”^①,从此让我涉足复杂系统和多主体仿真这个领域。项目结题以后,断断续续地在这个方面做了一些工作,也尝试做了一些其他工作,自己的研究方向始终没有稳定下来。2010 年适逢学校获得管理科学与工程一级学科博士点,2011 年自己荣幸地得到了这个学科的第一批博士生导师资格。诚惶诚恐之际,开始考虑怎么形成一个博士教育层次的研究方向而不至于误人子弟。实际上,从 2010 年开始就组织申报与多主体仿真相关的国家自然科学基金课题,2011 年和 2012 年两次败北。痛定思痛,下决心从基础开始彻底地梳理一下多主体仿真的知识体系,也产生了写作这本书的想法。

准备写这本书的时候,想得还是简单了。写作比预想要困难得多。原来设想按照多主体系统的起源、理论形成和应用三段式的结构去写,唯一的担心是没有太多充实的内容。但展开阅读后发现,涉及的内容太杂太泛,理清这个线路非常不容易。现在回头看,根本的困难在于,多主体系统并未形成有广泛共识的理论体系。学者们大多从自己关注的领域或从自身的信念出发定义、解释和运用多主体系统。这种理论上的单薄也事实上造成了大量低水平的研究和应用开发。看似热闹,但离萧条似乎已经不远了。当初谁又能料到,一度沸沸扬扬的神经网络,已成明日黄花。多主体系统会不会是明日黄花呢?

这本书与其说是一本专著,更准确地说是一本读书笔记及一些个人思考。不可避免地受到水平和能力的限制,望读者不吝赐教。还有一个想法,就是想把这本书持续地做下去,因此,建立了本书的网站作为交流平

^① 国家自然科学基金面上项目,2001~2004 年,项目负责人:林寅,批准号:70171060。

台，书的内容也将持续修订，在合适的时间再版。

在阅读文献的过程中笔者发现，多主体系统涉及浩瀚无边的知识领域，有数学、逻辑学、计算机、算法和哲学，还有社会学、生物学、动物学和语言学等。显然完全准确地把握所涉及的知识是一项不可能的工作，因此，笔者在写作过程中侧重自己能够理解的内容，而对于不能理解的内容不得不做最必要的割舍。

本书读者对象是对多主体系统、智能、复杂性系统和计算机仿真感兴趣的研究生、教师和研究人員；可作为相关专业硕士研究生的选修课教材和博士研究生深入学习的导读教材；也可作为各领域在解决复杂问题时的参考读物和设计开发多主体系统应用的理论指南。

导 读

主体和由多个相互作用的主体构成的多主体系统,已经成为不同领域学者研究或借鉴的一种科学理论和方法。多主体系统的新颖和独特的视角为科学技术和经济社会的众多实际问题的解决提供了新的思考和路径,催生了大量的形形色色的应用。这种表面的繁荣也或多或少地掩盖了多主体研究本身的一些问题和缺陷。实际上,学术界对多主体系统并未形成一致的认识。

本书试图全景性地总结多主体系统理论和应用的现状和愿景,梳理学习多主体系统的知识体系,分析多主体系统理论发展中的困难和对策,使得更多的研究者和实践者能够更容易地把握多主体系统的全貌,并从中发现可能的研究和实践线索,进一步推动多主体系统理论和应用向更广阔和更纵深的方向发展。

第一章主要介绍了与多主体系统起源和形成相关的一些开创性工作,重点分析了这些工作的动机和初步结论;第二章是关于多主体系统一般性理论的一个阐述,对主体、环境和多主体系统等重要概念进行了定义和分析;第三章论述多主体系统仿真的基本内容,并从计算机仿真学科的视角展开了相关讨论;第四章对深刻影响多主体系统理论和应用发展的两大重要命题——智能与复杂性,进行了分析和阐述;第五章介绍和分析了三种不同的主体架构;第六章对多主体系统的软件实现以及多主体系统作为新的软件工程范式进行了较为深入地探讨;第七章,也是本书的最后一章,综述了多主体系统当前的一些研究动态和研究线索。

为了阅读的便利,本书在陈述中尽量使用中文表述,避免使用外文和外文缩略词。本书的附录提供了术语的中英文对照,为经常阅读英文文献的读者提供参考。翻译难免有不准确和不当之处,敬请读者谅解。

目 录

绪 论	(1)
1 多主体系统起源	(6)
1.1 分布式人工智能	(6)
1.1.1 合同网协议	(7)
1.1.2 分布式车辆监控实验台	(8)
1.1.3 分布式问题求解的合作策略	(9)
1.1.4 多主体计算环境	(10)
1.1.5 小结与讨论	(11)
1.2 基于个体的建模的需求	(12)
1.2.1 微仿真	(13)
1.2.2 选举仿真	(14)
1.2.3 分布式行为模型	(16)
1.2.4 基于主体的建模	(17)
1.2.5 小结与讨论	(18)
1.3 软件主体	(19)
1.4 小结与讨论	(21)
参考文献	(22)
2 多主体系统一般性理论	(25)
2.1 主体及其行为	(25)
2.1.1 主体	(25)
2.1.2 主体的行为模型	(29)
2.1.3 主体间的通信	(30)
2.2 从外部世界到环境	(33)
2.3 多主体系统	(34)
2.3.1 多主体模型	(34)

2.3.2	多主体系统架构	(35)
2.3.3	多主体系统分类	(37)
2.3.4	主体间的交互	(37)
2.4	FIPA 的标准化努力	(39)
2.5	小结与讨论	(40)
	参考文献	(41)
3	多主体系统仿真	(44)
3.1	多主体系统建模	(44)
3.1.1	系统时间	(45)
3.1.2	主体、环境和耦合	(46)
3.2	多主体系统与计算机仿真	(47)
3.3	计算机仿真的基本概念	(50)
3.4	多主体系统建模的有效性	(53)
3.4.1	分析框架	(53)
3.4.2	环境	(54)
3.4.3	主体行为	(55)
3.5	仿真器设计	(56)
3.6	小结与讨论	(58)
	参考文献	(59)
4	智能与复杂性	(62)
4.1	智能	(63)
4.1.1	智能与大脑	(63)
4.1.2	明斯基的主体	(64)
4.2	人工智能	(66)
4.2.1	定义与研究内容	(66)
4.2.2	计算主体	(68)
4.2.3	多主体系统	(70)
4.2.4	小结与讨论	(71)
4.3	复杂性—系统动力学的观点	(71)

4.4	复杂性—原胞自动机	(73)
4.4.1	原胞自动机理论	(73)
4.4.2	宇宙是一个原胞自动化	(75)
4.4.3	新科学	(75)
4.5	复杂性科学	(77)
4.6	再论涌现性	(79)
4.7	小结与讨论	(82)
	参考文献	(83)
5	主体架构	(88)
5.1	主体架构概述	(88)
5.2	慎思型架构：信念—期望—意图模型	(91)
5.2.1	意图的系统	(91)
5.2.2	信仰—愿望—意图模型	(92)
5.2.3	实用推理	(93)
5.2.4	过程推理系统 (PRS)	(94)
5.3	反应型架构	(95)
5.4	混合型架构	(97)
5.5	小结与讨论	(99)
	参考文献	(100)
6	软件思考	(103)
6.1	开发多主体系统	(104)
6.1.1	多主体系统是更为复杂的一种软件形态	(104)
6.1.2	多主体系统理论的不完备	(105)
6.1.3	大规模与性能	(105)
6.1.4	并行和分布式处理	(105)
6.1.5	软件工程方法和工具	(106)
6.2	智能软件的开发	(107)
6.2.1	计算环境的愿景	(107)
6.2.2	需求分析	(110)

6.2.3 走到多主体系统方法	(112)
6.3 面向主体的软件工程	(114)
6.3.1 概述	(114)
6.3.2 宏观视角和微观视角	(116)
6.3.3 方法论	(117)
6.3.4 编程语言、框架和平台	(118)
6.4 小结和讨论	(119)
参考文献	(119)
7 多主体系统研究线索	(125)
7.1 真实生命系统和启发	(125)
7.1.1 生态系统	(125)
7.1.2 基于主体的进化搜索	(126)
7.1.3 进化博弈论	(127)
7.1.4 基于域的协调	(128)
7.1.5 Polyagent 模型	(129)
7.2 合作型多主体系统典型模型	(130)
7.2.1 团队合作的逻辑模型 TEAMLOG	(130)
7.2.2 位于环境的多主体系统	(131)
7.2.3 自组织系统	(132)
7.2.4 多主体控制系统	(133)
7.3 多主体系统的应用研究	(134)
7.3.1 应用概述	(134)
7.3.2 基于主体的计算经济学	(136)
7.3.3 基于主体的面向服务的计算	(136)
参考文献	(138)
术语中英文对照	(145)
名词索引	(152)

图表目录

图 1	主体行为的步骤分解	(29)
图 2	主体和环境	(34)
图 3	多主体系统图示	(35)
图 4	FIPA 标准集	(41)
图 5	多主体系统建模示意图	(47)
图 6	乒乓球模型	(50)
图 7	赛格勒的仿真框架	(51)
图 8	多主体系统的有效性组合	(54)
图 9	多主体系统的仿真架构	(58)
图 10	积木游戏	(65)
图 11	积木游戏中心灵主体和结构	(65)
图 12	位于环境的主体	(69)
图 13	科尔曼船模型	(80)
图 14	慎思型架构	(90)
图 15	反应型架构	(90)
图 16	PRS 主体模型	(95)
图 17	水平分层和垂直分层	(97)
图 18	InterRap 模型	(98)
图 19	面向主体的软件工程的宏观视角和微观视角	(116)
图 20	Polyagent 模型架构	(130)
图 21	A&A 元模型结构	(133)
图 22	软件在环仿真示意图	(134)
图 23	基于主体的面向服务的架构	(138)

绪 论

计算机的出现,以及半个世纪以来计算机、网络 and 软件等计算技术的迅猛发展和普及,给很多科学研究带来了前所未有的机遇,也孕育和催生了一些新兴和交叉研究。多主体系统就是与计算技术的发展密切相关的一项新兴和交叉研究。

虽然目前还很难预料多主体系统对其他基础科学的影响,但今天,更多的、更复杂问题的求解开始求助于多主体系统的解决方案。约翰·巴罗在《不论:科学的极限和极限的科学》^①一书中非常精辟地指出:

一些科学家和哲学家采纳了下述观点:科学作为一个整体已经经历了一个黄金时代,而这个时代正将结束。的确,新的发现越来越难,小的改进已成了主要的目标。更深入的理解将需要日益艰巨的思考才能达到。对一个巨大复杂体系结构的总体把握已需要越来越大的计算机。

在基础科学的进步变得越来越困难的时候,多主体系统使用已知的基础科学理论,借助计算机去构造和运行越来越大、越来越复杂的模型,以获取关于问题的新的发现、新的知识和新的解决方案。多主体系统的应用几乎涉及科学、社会和经济的所有领域。它极有可能成为 21 世纪最值得关注的科学方法。

近 30 年来,使用计算机研究复杂现象和开发智能系统的多主体系统,经历了快速发展的时期。从分布式人工智能、基于个体的建模和软件主体的一些早期工作(第一章),到 20 世纪 80 年代以来逐渐形成和持续发展的多主体系统方法,多主体系统一直处在深入和广泛的学术讨论和应用探

^① 约翰·巴罗. 不论:科学的极限与极限的科学 [M]. 李新洲,徐建军. 上海:上海科学技术出版社,2005.

索中。多主体系统领域仍然在持续扩展，很多高层次的国际会议和专题研讨会见证了这一点。

多主体系统以研究主体、环境、主体间和主体与环境的相互作用作为独特的系统分析方法，以计算机为研究工具，为一些复杂系统研究和复杂问题求解带来了全新的解决方案。事实上，多主体系统已经成为研究自然与社会系统的主流方法、探索智能奥秘和系统复杂性的有效途径、开发智能人工系统的主流参考模型和开发智能软件的新的软件工程范式。

一、多主体系统是研究自然与社会系统的主流方法

自然与社会系统是一类真实生命系统。大自然和社会充满着生命和智能的神奇。今天，也许在未来相当长的时间，我们对构成这些系统的个体、环境、相互关系、初始状态以及演变过程都不能达到完全的认知。也许，未来的科学能帮助我们解决这些问题，我们期待科学的重大突破；或许，并不存在解决这些问题的未来科学，人类已经达到认知的极限。但无论如何，今天的数学公式和符号逻辑等形式化分析方法对深入理解这样的系统已经完全无能为力了。多主体系统是从对系统已有的（部分）认知出发，以推测和假设作为补充，建立系统从微观到宏观的模型的一种研究方法。它使用计算机作为工具，以计算代替形式化分析，通过仿真实验观察模型的动态演变。多主体系统在以下几个方面帮助我们获得关于真实生命系统的更深入的知识：

（1）验证推测和假设的有效性。我们需要不断调整推测和假设，使系统的仿真结果或与过去对真实系统的观察相吻合，或至少符合一般的合理性解释。

（2）理解现象的形成机理和形成过程。社会自然现象经常是转瞬即逝的，人们很难观察到现象形成的机理和过程。而仿真却是一个便捷的方法，一旦现象发生，我们可以追溯到现象形成的整个过程，包括初始条件、速度和其他机理。

（3）预测个体和系统的行为。我们可以通过调整初始条件等假设进行仿真实验，以观察个体和系统的不同行为表现，实现预测的目的。

（4）调节个体和系统行为。实际上，很多针对自然与社会系统的研究

都试图找到调节个体和系统行为的方法。我们可以通过调整初始条件等假设使得个体和系统表现出期望的行为。

为了有效地支持自然与社会系统的研究，多主体系统方法建立了关于主体、环境、主体之间和主体与环境交互的一般性模型（第二章），并参照计算机仿真方法建立了多主体系统仿真框架和执行（第三章）。

二、探索智能奥秘和系统复杂性的有效途径

人类在惊叹于大自然的鬼斧神工的同时，很早就开始了对生命、智能和宇宙等复杂现象的探索。有很多哲学和数学的思考，也有对超自然能力的信仰和崇拜。但今天的科学还是无法解释从原子、分子到细胞这样一些极微小的、无生命的和无智能的个体怎么产生出生命、智能和宇宙等复杂现象。一方面，生物学家、动物学家和医学家在按照他们的方式探索着生命的起源、合成和复制生命的可能；另一方面，受到形态形成、进化等生命现象的启发，系统理论的研究也产生了复杂系统动力学、原胞自动化和复杂自适应系统等一些新的研究方向。

对系统学家来说，无论是生命还是智能，它们都是复杂系统表现出来的一种涌现现象。对复杂系统能够涌现出从微观个体无法推断出来的宏观现象的机制存在不同的认识：一种观点认为，世界是确定性的，智能可以从大量非智能体的交互中产生，无法推断的原因是我们还不具有完备的知识或者我们的计算机还没有足够的存储和计算能力。而另一种观点是复杂性科学的观点。它认为，世界本质上是不确定的，复杂性是由个体的适应性产生的，系统的涌现性是不可预测的。但无论持哪种观点，计算机都已经成为这样一些研究的主要工具，特别是多主体系统方法成为不同学派共同方法（第四章）。

非确定性世界的假设对多主体系统仿真极具颠覆性，因为我们可能永远无法确认一个仿真结果是正确的，还是错误的。

三、开发智能人工系统的主流参考模型

没有任何人工物比人更智能，没有任何人工系统比真实生命系统更智能。一般来说，智能人工系统是在真实生命系统启发下设计和开发的一类

应用系统。智能人工系统按照个体和环境的特性可以分为三类：位于环境的系统、人工世界和虚拟现实。

(1) 在位于环境的系统中，个体是虚拟的，环境是真实的。在这样一些系统中，空间分散的环境中部署了一些有通信能力的传感器和处理单元，以实现某种监控和控制功能。各类机器人系统就是其中一类典型系统。因为个体是物理的，它的感知和行动能力受到经济技术条件的限制，而真实的环境却往往是复杂和不确定的。

(2) 在人工世界或角色游戏系统中，个体是虚拟的，环境也是虚拟的。人工世界一般是科学幻想的作品，它可以有真实世界的原型，也可以是完全虚构的。人工世界的研究有不同的目的，角色游戏是其中具有趣味性的一类。角色游戏是玩家通过扮演角色，与其他玩家或虚拟玩家进行互动、博弈和对抗的一种游戏，通常都有一定的主题，如商店、医院和战争等，所以又称为主题角色游戏。

(3) 在虚拟现实系统中，个体是真实的，环境是虚拟的。虚拟现实是近年来出现的新一类智能人工系统，也称灵境技术或人工环境。虚拟现实是利用电脑模拟产生一个三维空间的虚拟世界，提供使用者关于视觉、听觉和触觉等感官的模拟，使用者如同身临其境一般，可以用以观察和操控三维空间内的事物。各种虚拟驾驶培训系统是其中的一类典型系统。

智能人工系统与真实生命系统有两个方面的重要区别：第一是智能人工系统有明确的设计目标，所有的设计围绕目标展开。设计者对系统中人工物或人工环境有完全的控制，他们只有设计层面的问题而没有认知层面的问题。第二是智能人工系统在部署和交付前是不存在的，直接构造真实系统或在真实系统下调试是困难的或昂贵的。与真实生命系统相同的是，无论是模拟真实生命的需要还是受到经济技术条件的限制，个体也只有有限感知、有限理性和有限行为能力，并且系统不能实现集中控制。因此，大多数智能人工系统的开发都采用了多主体系统方法进行软件建模，和多主体系统仿真实验进行软件调试和验证。

由于缺乏对真实智能的完全认知，怎么模拟智能和实现智能成为智能人工系统的关键研究之一。这些研究产生了不同类型的主体架构，用以表达在一些典型应用中，主体是怎么从感知到行动的一般性过程（第五章）。