

Agent 技术研究现状及其在企业集成中的应用

李建强 范玉顺

(清华大学自动化系 北京100084)

Research of Intelligent Agent and its Application in the Enterprise Integration

LI Jian-Qiang FAN Yu-Shun

(Dept. of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Four research domains of intelligent information agent theory are reviewed. Then several projects, which employ intelligent agent technology for enterprise integration, are introduced. According to the relevant problems that are the key for the successful implementing agent-based information system, a framework of the cooperative information system used for the enterprise integration is proposed.

Keywords Intelligent Agent, Enterprise integration, Cooperative information system

1. 引言

分布式人工智能(DAI)的研究和网络化分布环境的普及推动了 Agent 的理论、技术,特别是多 Agent 的理论、技术的发展,因为它为分布开放系统的分析、设计和实现提供了一个崭新的途径。自从 Minsky 在1986年出版的“思维的社会”中提出 Agent 的概念后,智能代理技术随着计算机科学的发展迅速趋于成熟,在很多应用领域有很好的应用前景。

2. 代理技术理论研究

2.1 Agent 理性

对于 Agent 理性的研究有基于逻辑和基于对策论的两种不同的方法^[1,2],从概念的角度来看,以思维状态模型为代表的逻辑方法实现了理性的推理,而决策理论方法通过最优化主观效用而实现了理性的决策,从技术的角度看,使用符号推理的逻辑理性无法使效用最优化,而使用数值分析的效用理性却忽略了推理环节,所以就 Agent 理论整体来看,需要融合两个流派的研究成果。

2.2 Agent 体系结构

按实现 Agent 的体系结构可将 Agent 分为^[1,2]:通过建立世界模型和规划,对认知功能进行模块化、符号化得到的慎思型 Agent(计算复杂度理论的研究指出在时间约束情况下,这种体系结构不适合 Agent);不考虑知识表示、推理而直接建立“感知-动作”模型的反应型 Agent(由于其本身没有关于环境的模型,Agent 决定动作需要了解局部环境信息而且只能利用局部信息,且很难从经验中学习);既包括包含符号世界模型的认知层又包括能快速响应和处理环境中突发事件的反应层的混合型 Agent。

2.3 MAS 求解机制

MAS 是为了完成单个 Agent 不能解决的问题或提高其解决问题的效率而提出的^[2],其研究主要包括:MAS 理论、多 Agent 协商和多 Agent 规划等。合同网^[4]是其中的经典工作,从结盟方式、协商策略、协调机制到通讯语言分别展开,

Rao^[3]基于单个 Agent 系统的 BDI 模型递归定义了社会 Agent 的概念,引入了社会规划。Wooldridge 和 Jennings 以承诺和公约概念为基础,用分枝时序逻辑建立了协作问题求解系统的形式化框架。Haddadi 基于 BDI 逻辑给出了一个协作系统的形式化模型,而且还说明了该模型在 COSY 系统中的应用。

2.4 面向 Agent 编程

为了在实践中更好地应用 Agent 技术,美国斯坦福大学的 Shoham 教授在1993年提出了面向代理的编程(AOP)的概念。AOP 是一种基于计算的社会观点的新型程序设计风格和计算框架,其主要思想是利用 Agent 理论研究提出的能表示 Agent 性质的意识态度来直接设计 Agent 和对 Agent 编程。可以将 AOP 看作是 OOP 的扩展(允许拥有其他模块和环境的知识和信念,且允许这些模块具有能力和做出承诺),对于 Agent 的编程语言,目前主要有 Schoham 的 AGENT0, CONTOLOGY 语言、Concurrent METATEM 语言等。

3. 代理技术在企业集成中的应用

人工智能技术已经在智能制造领域应用了20多年,特别是近几年分布式人工智能领域中多代理系统具有很好的应用前景。企业数据和应用的动态与分布性的增强要求软件不仅有被动响应信息需求的能力,而且能以一定程度的智能,主动地预测、适应乃至积极地寻找途径以支持用户需要,并通过自动合作以完成更加复杂的功能。进入90年代后,软件代理的研究迅猛发展,出现了多种代理类型,各种各样的应用及方法的出现是软件代理逐渐成熟的重要标志。研究人员已经应用代理技术用于制造企业的应用集成、供应链管理、生产计划、调度和执行控制、物料和库存管理,并且开发了很多基于多代理技术的软件系统以支持企业实现智能化业务运作。下面给出几个实现不同目标的多代理系统的典型应用。

3.1 多代理系统用于应用及计划/调度集成

SRI 国际智能研究中心为构建分布式软件系统而提出的 OAA(Open Agent Architecture)^[5]包含公共服务代理、用户

李建强 博士生,主要从事工作流建模与仿真、网络化制造及集成平台等研究。范玉顺 教授,博士生导师,研究方向:企业建模,企业经营过程重组与工作流管理,系统集成与集成平台技术,面向对象与柔性软件系统技术。

接口代理、应用代理和元代理(见图1)。其中公共服务代理是一种专用服务器代理负责代理之间的通讯和协同问题解决,同时它还用来客户代理全局数据的存储,而且一个系统允许多个公共服务代理存在。应用代理可以是领域相关或领域无关的特殊类型的服务集合(如计划调度系统、数据采掘等),这种代理主要通过遗留应用软件系统的封装功能以对其实现原有 API 的调用。元代理主要负责辅助公共服务代理实现对其他代理活动的协调,当公共服务代理应用领域无关的协调策略时,元代理可以应用与领域或应用相关的知识或规则对这种策略进行扩展使用。用户接口代理被实现为一个“微型代理”集合,每个微型代理监控和记录不同的输入模式,并且协同产生输入的综合解释。这三种代理相对于公共服务代理来说都作为客户代理存在。

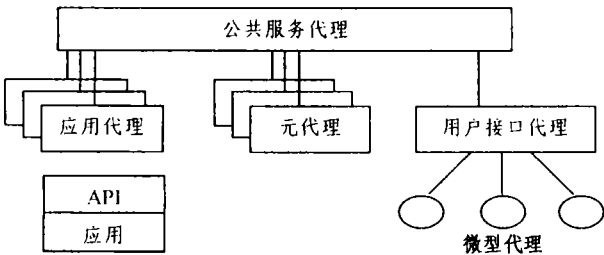


图1 OAA 多代理系统

由北卡罗来纳大学和马里兰大学巴尔的摩分校及 IBM 参加的项目 CIIMPLEX^[6]的目的是通过企业应用集成实现生产计划和调度集成,图2给出了其多代理系统的框架结构。其中代理命名服务器(ANS)用来管理一个所有注册代理的地

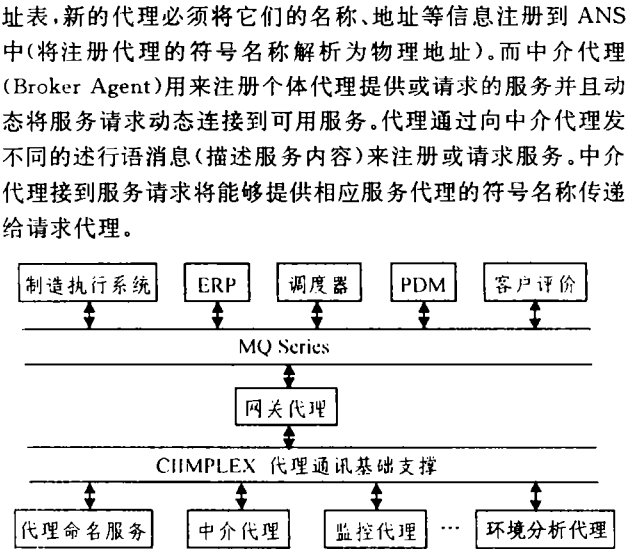


图2 CIIMPLEX 多代理系统体系结构

另外,还有数据采掘代理、监控/通知代理、环境分析代理等。所有代理使用 KQML 及 KIF 中支持 Horn 子句演绎推理的一个子集作为内容语言进行通讯。共享本体采用以开放应用联盟(OAP)定义的业务对象文档(BOD)格式,而 BOD 还作为应用(如 MES 和 ERP)之间通讯的消息格式。而网关代理用来提供代理和应用之间的接口(进行 KQML 和 BOD 之间的转换)。

3.2 多代理系统用于供应链管理

卡尔加里大学制造工程中心为实现供应链管理而提出的

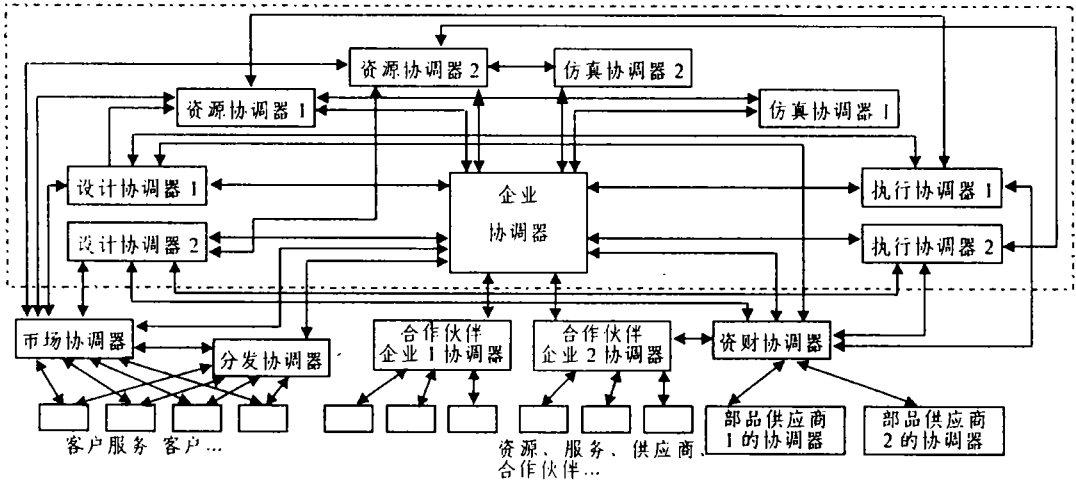


图3 MetaMorph II 多代理系统功能框架

项目 MetaMorph II^[7],其目的是应用基于分布式代理框架并以协调代理为中心的混合结构将合作伙伴、供应商、客户动态地和将供应链中的通过核心企业各自的协调代理集成在一起。在这个项目中,代理可以用来代表制造资源(可重复使用的资源)或工件,也可以用来封装现存的软件系统,充当系统/子系统之间的协调者,执行一个或多个供应链功能。在其已完成项目 MetaMorph I, ABCED, 和 DIDE 的基础上,将制造企业的各种活动集成在一个开放、分布式智能环境中。MetaMorphII 提出了如图3所示的混合多代理框架系统结构。

整个系统由协调器将各个子系统连接到一起。每个制造企业至少有一个企业协调器(可以将它看作企业的协调中

心),其他子系统协调器向它注册。每个子系统可以是基于代理的系统(如基于代理的调度系统)、也可以是其他类型的系统(如基于特征的设计系统或基于指示的物料管理系统等)。首先对资源进行分类,每一类资源代理由一个协调器进行管理,而更高一层的协调器用来协调下一层的协调器。虽然采用阶梯状系统结构,但上下层之间不是控制关系,而且同层代理之间可以不经协调器直接进行通讯。

3.3 多代理系统用于企业 Web 信息管理

卡内基梅隆大学机器人实验室主持的项目 RETSINA^[8],其目的是构建一个可重用多代理软件基础平台使 Internet 中的异构代理通过协同进行信息管理,以实现和用户、

任务及环境相关的协同信息获取、过滤等。图4的框架中共有四种代理：接口代理、任务代理、信息代理和中间代理，每种代理都是基于 BDI 模型并结合本身功能特点构造的。其中接口代理完成系统和用户的交互(接受用户请求表述/向用户提交处理结果)。通过对用户的偏好进行获取、建模，并利用其和系统进行协调完成用户请求任务。任务代理拥有任务域知识，主要用来支持问题解决计划、计划执行过程中和其它软件代理交换或信息查询实现决策支持。而信息代理具有相关信息源的模型、信息源选择策略、及信息访问冲突解决策略等，利用它可以实现异构信息智能访问、过滤及提取功能，而中间代理接收其他代理服务发布及服务请求的查询，其主要功能是多代理的适应性组织与管理。同样其利用 KQML 作为代理间通讯及互操作的通讯语言。

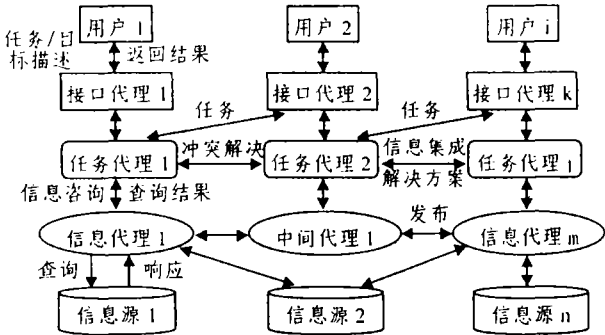


图4 RETSINA 分布式系统结构

3.4 应用中的主要问题

由以上几个典型项目可以看出，基于多代理的协作系统的关键内容包括：系统描述与封装、系统框架、本体管理、代理结构、通讯、及外部接口。

其中代理封装可以分为物理封装和功能封装两种方法。应用功能分解方法进行封装是指代理用来封装具有一定功能的模块如订单获取、计划、调度、物料和运输管理，生产任务的分配等。而代理和物理实体之间没有明显的关系。这种代理的封装方法如 CIIMPLEX 及 RETSINA。而物理分解方法中，代理用来表示物理世界中的实体，如员工、设备、工具、操作等，在物理分解中代理核物理实体间有直接的对应关系，如 MetaMorph I 和 II。功能分解方法倾向于在不同功能间共享状态变量，从而导致多代理间的一致性问题。而物理分解方法自然地定义不同的状态变量集合，其中每一个状态变量集合通过个体代理间有限的交互作用来实现有效管理。基于功能的方法能够有效地集成现存的系统(CAD、ERP、PDM 等)以解决遗留系统问题。即使在起初使用物理方法的基于代理的制造系统中，应用代理来封装一些特殊功能也能够在系统级上提供相应的服务，如各系统中的公共服务代理，CIIMPLEX 中的中介代理，MetaMorph I & II 中的协调代理。

多代理系统结构可以分为三类：阶梯状结构、联邦式结构和网状结构。现代典型的制造企业包含多个物理分布、半自治化单元，每个自治单元对其本地资源具有一定的控制能力或不同的信息需求。很多实际运作的基于代理的工业应用仍然使用阶梯状结构。而联邦式结构利用公共服务代理，中介代理和协调代理来实现多代理之间的互操作和协调，进而减少系统开销、确保系统稳定性和可扩展性，为开放的、可扩展多代理系统提供了很好的基础框架结构。而网状结构主要适合于系统中包含数量较少的代理，如分布式智能设计系统等。

对于代理的本体管理和通讯，KQML 是当前使用极为广泛的多 Agent 通信协议，它是美国 ARPA 的知识共享计划(Knowledge sharing effort)的一部分。KQML 既定义了消息格式也定义了消息传输体制，它为多 Agent 系统中的通信和合作提供了一般框架。KQML 定义了一种 Agent 之间传递信息的标准语法以及一些动作。如果以同一种语言进行通信的 Agent 使用不同的词汇表示共享领域的概念，它们仍然难以做到相互理解。因此它们需要使用相同的词汇表。KIF (Knowledge interchange format)是 Agent 通信语言采用很广的一种信息内容格式，它具有简单但表达能力很强的语法。

由于软件代理一般为慎思型代理，其内部体系结构一般应包括内部状态、知识表示、问题求解、环境分析、通信协议等，因此其内部大都有知识库、规则库、分析模块、通讯器等，继而根据本身的状态、任务目标及环境特征等信息，在一些规则库的支持下推理、决策。而反应型代理只需要对环境信息作出简单反应，一般只有简单的通讯接口和信息处理模块。

4. 代理技术在企业集成中的应用

企业集成的目的是为了完成一定的市场需求或经营目标而发生交互作用的组织、个体或系统间的协同能力及协同效果，所以我们称支持企业集成的信息系统为协同信息系统。而企业集成的实现方式一般是根据企业实际业务框架及信息技术的发展状况，在信息集成、过程集成和服务集成三种集成方式不断交互迭代的螺旋式上升过程中实现的。

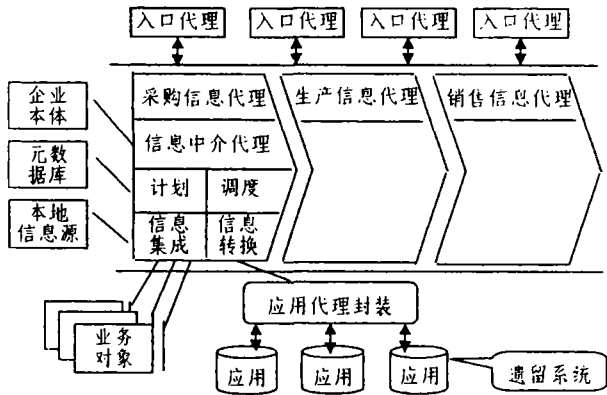


图5 基于多代理技术的协同信息系统框架

协同信息系统是由多个具有自治能力的个体组成的协作系统，具有信息、控制、领域知识或资源的分布性和异构性等特点，而且其中存在着大量需要和新的软件进行交互的遗留系统，代理技术可能在支持企业集成的协同信息系统中的三个层次上发挥作用(见图5)：个性化界面(用户接口代理)、企业信息集成(信息代理)和企业应用集成(应用集成代理)。

1. 系统为每个平台账户(用户)生成个性化代理，相当于企业集成平台的入口(Portal)。利用它记录每个用户的界面风格及关心的信息内容(采用 Push 和 Pull 方式向用户推荐其关心的更新信息)，其内部可以实现个性化通知、过滤、搜索等功能。

2. 信息代理实现异构信息(来自信息源或应用的输出结果)的综合其应用的功能封装。如果平台提供自己的数据格式(公共数据模型)，应用信息代理提供这种格式的转换功能。同时在企业公共本体的基础上实现语义层面的映射与转换，从而实现不同系统或领域中对不同概念或词汇的一致性理解。在此基础上，根据实际业务对象的信息结构，从协同信息系统下的不同信息源抽取相关应用信息或数据，从而根据信息代

理内置知识库中的调度或计划模块中的规则实现信息代理的智能行为。

3. 应用集成代理主要实现遗留应用的物理封装, 基于 KQML 和 KIF 的应用代理之间的互操作, 并以公共服务代理实现软件应用的注册与管理。

总结 多代理系统研究相互独立而又有联系的个体(智能代理)在分布式环境下的协调合作, 其研究及成果为支持企业集成的协同信息系统的描述和实现提供了有利的支持。本文首先从人工智能领域对 Agent 理论研究的内容和进展进行了讨论。在此基础上, 分别从计划与调度等企业应用集成、敏捷供应链管理及基于 Web 的企业信息综合管理等不同的角度对多代理技术应用于企业集成以支持企业实现智能业务运作的相关项目及应用进行介绍, 并对其中重要问题做相关讨论, 给出了一种应用多代理技术实现协同信息系统的方案框架。

参考文献

- Jennings, Sycara, Wooldridge. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. Kluwer Academic Publishers. Boston, 1998. 275~

(上接第70页)

定理4.2(联合意图与实现型意图的对应关系) $\models JI(x, y, \varphi) \rightarrow AI(x, \varphi) \wedge AI(y, \varphi)$

上述定理表明, 如果 agent_x 和 agent_y 具有联合意图 φ , 那么 agent 间的联合意图将反应到参与其中的所有 agent 的内部状态, 从而影响和引导 agent 的行为决策, 即参与合作的所有 agent 将具有实现型意图 φ 。

定理4.3(联合意图与维护型意图的一致性) $\models \neg(JI(x, y, \varphi) \wedge MI(x, \varphi)) \wedge \neg(JI(x, y, \varphi) \wedge MI(x, \neg\varphi))$

上述定理表明 agent 间的联合意图与维护型意图间是一致的, agent 不可能既有联合意图 φ 同时又有维护型意图 φ 。而且 agent 也不可能既有联合意图 φ 同时又有维护型意图 $\neg\varphi$ 。可根据定理4.1和4.2来证明该定理。

定理4.4(实现型意图与联合意图的非冲突性) $\models JI(x, y, \varphi) \wedge AI(x, \psi) \rightarrow E(F Bel(x, \varphi) \wedge F Bel(x, \psi))$

上述定理表明 agent 间的联合意图与实现型意图是非冲突的, 如果 agent 既有联合意图 φ 同时又有实现型意图 ψ , 那么 agent 至少存在一条路径, 在该路径上 agent 知道 φ 和 ψ 将以某种时序关系得以实现。可根据联合意图和实现型意图的语义定义以及模型限定: $\forall t \in T, x \in U_x: C(x, t) \neq \emptyset$ 来证明该定理。

定理4.5(实现型意图与维护型意图的非冲突性) $\models AI(x, \varphi) \wedge MI(x, \psi) \rightarrow E(Bel(x, \psi) \cup Bel(x, \varphi))$

上述定理指出如果 agent 具有实现型意图 φ 同时具有维护型意图 ψ , 则存在一条路径使得 agent 知道 φ 将最终成立并且在此过程中 agent 知道 ψ 始终成立。可根据实现型意图和维护型意图的语义定义证明该定理。

定理4.6(联合意图与维护型意图的非冲突性) $\models JI(x, y, \varphi) \wedge MI(x, \psi) \rightarrow E(Bel(x, \psi) \cup Bel(x, \varphi))$

上述定理指出如果 agent 具有联合意图 φ 同时具有维护型意图 ψ , 则存在一条路径使得 agent 知道 φ 将最终成立并且在此过程中 agent 知道 ψ 始终成立。可根据联合意图和维护型意图的语义定义证明该定理。

定理4.7(实现型意图、联合意图与维护型意图的可满足性) $\models JI(x, y, \varphi) \wedge MI(x, \psi) \wedge AI(x, \phi) \rightarrow E(G Bel(x, \psi) \wedge F Bel(x, \varphi) \wedge F Bel(x, \phi))$

306

- 徐晋晖. Agent 模型与联盟机制研究:[博士学位论文]. 北京:清华大学计算机系, 2000
- Rao A S, Georgeff M P. BDI agents: from theory to practice. In: Georgeff M P, ed. *Proc. of the 1st Intl. Conf. on Multi-Agent Systems (ICMAS-95)*. San Francisco. ACM Press, 1995. 312~319
- Smith R, Davis R. Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving. *IEEE Trans. on S. M. C.* 1981. 61~80
- Cheyre A, Martin D. The Open Agent Architecture. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, March 2001. 143~148
- Chu WJ and Tolone, et al. Integrating Manufacturing Softwares for Intelligent Planning Execution: a CIIMPLEX Perspective. <http://www.cs.umbc.edu/~finin/papers/papers/spie96.pdf>
- Shen W, Norrie D H. A Hybrid Agent-Oriented Infrastructure for Modeling Manufacturing Enterprises. In: *Proc. of KAW'98*, Banff, Canada, 1998(Agent-5: 1~19)
- Sycara K. In-Context Information Management through Adaptive Collaboration of Intelligent Agents. *Intelligent Information Agents* Matthias Klusch(Ed.) Springer, 1999

上述定理指出如果 agent 具有联合意图 φ 同时具有维护型意图 ψ 以及实现型意图 ϕ , 则存在一条路径使得 agent 知道 φ 以及 agent 知道 ϕ 将最终成立, 并且在该路径上 agent 知道 ψ 始终成立。可根据实现型意图、联合意图和维护型意图的语义定义以及模型限定: $\forall t \in T, x \in U_x: C(x, t) \neq \emptyset$ 来证明该定理。

结论 agent 的行为决策是一个非常复杂的过程, 它需要考虑诸多的因素。本文分析了个体 agent 的任务、agent 间的合作以及多 agent 系统的社会约束对 agent 行为决策的影响。提出了实现型意图、联合意图、维护型意图抽象概念来分别表示影响 agent 行为决策的三个因素, 给出了它们严格的语义定义, 分析了它们之间的关系, 描述和验证一些重要属性。我们将根据该成果进一步系统、全面地研究 agent 在多 agent 系统中的运行机制和执行模型。

参考文献

- Chen P R, Levesque H J. Intention is choice with commitment. *Artificial Intelligence*, 1990, 42(2-3): 213~261
- Chen P R, Levesque H J. Teamwork. *Nous*, 21, 1991
- Tuomela R. Collective and joint intention. In: *Proc. of cognitive theory of social action*, 1998
- Tuomela R. Philosophy and distributed artificial intelligence: The case of joint intention. *Foundation of distributed artificial intelligence*, John Wiley&Sons, 1996: 487~504
- 毛新军, 王怀民. Agent 在多 Agent 系统中计算的意愿理论. *软件学报*, 1999, 10(1): 43~48
- Singh M P. Multiagent System: A Theoretical framework for Intentions, Know-how, and Communications. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1994
- Chellas B. Modal logic: an introduction. Cambridge University Press, Cambridge, MA, 1980
- Dunin-Keplicz B, Verbrugge R. Collective Commitment. In: *Proc. of the second intl. conf. on multi-agent system*, Menlo Park, CA, 1996
- Panzarasa P, Jennings N R. Social mental shaping: Modelling the impact of sociality on the mental state of autonomous agents. *Computational Intelligence*, 2001
- Jennings N R. Specification and implementation of belief-desire-joint intention architecture for collaborative problem solving. *Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems*, 1993, 2(3): 289~318
- Jennings N R. Building complex software system: the case for an agent-based approach. *Communication of ACM*, 2001