维普资讯 http://www.cqvip.com

多 Agent 系统的规范和协调问题*)

Norms as a Coordination Method in Multi-Agent System

马光伟　石纯一

(清华大学计算机系　北京 100084)

Abstract This paper introduces the research of norms and coordination methods for multi-agent system. Finally, we point out some problems and present several research directions, especially the social property of Multi-Agent System.

Keywords Agent, Multi-agent system, Mental state, Commitment, Cooperation, Joint-intention, Norm, Coordination

1 引言

多 Agent 系统(MAS)的协调是指每个自主 Agent 对其目标、资源、思维状态等进行合理安排,以调整各自的决策和行为,最大程度地实现自身效益(图 1 是 MAS 中协调方法的分类[10])。规范作为一种隐式协调方法,不仅可以降低协调费用,更可体现 MAS 的社会性,平衡个体利益与群体利益的矛盾,已经引起了 DAI 研究界的广泛注意。

Jennings[1]提出所有协调机制最终都可归结为承诺和其附带的规范,可表示为:

协调=承诺+规范+社会性规范+局部推理

这里的规范是一个概念家族,包括:规范(Norm)、义务(Obligation)、惯例(Convention)、法则(Law)等等,不同的研究者还采用了不同的称谓,Shoham 甚至指出组织结构也是一种特殊的规范。规范是指在 MAS 中每个 Agent 都共同遵守的针对其目标、推理、决策和行为的约束。规范给 MAS 协调带来的益处有:

(1)降低协调费用,加快系统的响应速度,提高应变能力。

(2)建立了群体效益和个体行为的内在联系,是多 Agent 系统社会性的体现。

(3)保护弱者和激励强者:对于推理能力较差的 Agent,规范为它提供了足够好的决策;对于有进取心的 Agent,通过主动参与规范的制定,可以进一步获益。

(4)解决坐享其成、社会二难、联盟合作等问题。

规范研究的问题:(1)从内部观点,围绕各种社会性思维状态,使用逻辑方法研究义务、禁止、允许、社会承诺、联合意图、规范命题逻辑,并纳入思维状态模型中;(2)从外部观点,使用对策/决策论等方法研究规范 Agent 在规范约束下的行为特征、策略选择,以及规范的自发产生、规范传播的定量模型等问题。

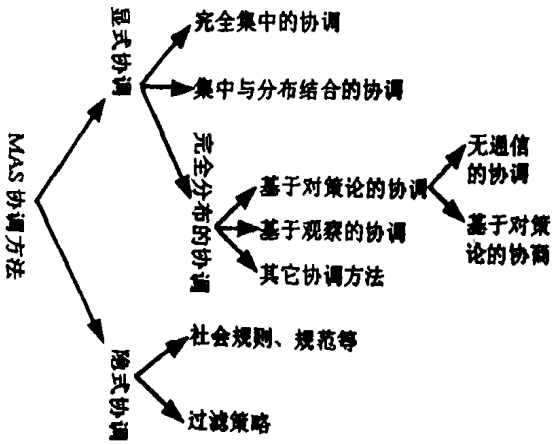

图 1　MAS 中的协调方法分类

*)国家自然科学基金资助课题。马光伟　博士生,研究方向为智能 Agent 和分布式人工智能。石纯一　教授,研究方向为人工智能应用基础。

维普资讯 http://www.cqvip.com

2 研究规范和协调的方法

2.1 MAS的社会性

根据社会学理论,社会行动系统的基本要素是行动者、蕴涵利益的资源、行动者和资源之间的控制关系与利益关系。在社会活动中,行动者会发现部分能使其获利的活动处于其他行动者的控制之下,行动者必须通过社会互动行为,使用他们控制的、对自身利益无足轻重的资源去换取对自身利益至关重要的、处于他人控制下的资源,这就是社会性。一般认为MAS研究是以协调问题为中心的,而协调问题其实就是由Agent活动的社会性引发的,所以研究MAS的社会性就成为更根本的课题。目前对MAS社会性的认识有以下几点:

(1)考察文化中的概念、知识、规范、理想等的演化过程,似乎存在一个学习过程,它发生在文化中而非个人中。从另一个角度,社会可被看作一个具有复杂的分布结构的可自我更新的Agent。

(2)仅从行为来看,社会中个体的决策既非完全自私,也非完全利他,而是考虑了个体利益和社会利益的折衷。

(3)社会中存在许多依赖关系是强制性的,而非Agent之间协商达成的。

(4)社会承诺是多Agent群体的胶合剂,Agent之间的合作、协调等往往归结为建立不同性质的社会承诺。

(5)社会中的各种组织结构其实是特定任务求解经验的载体,既反映了任务的结构,也包含了协调的知识,组织结构也是不断演化的。

(6)与人类个体之间相比,人工Agent之间的交互频度更高,交互费用更低,这是MAS和人类社会的不同,所以其中组织结构的演化也会更加多变。

(7)规范在社会的不同层次、不同范围,以不同形式存在着,且不断更新,是Agent群体共同学习而得到的协调经验。

(8)社会中不同个体之间的相互理解、互相推理,必须有足够的、共同的背景知识支持。

(9)规范概念具有复杂且灵活的外延,Agent决定遵守规范还是违反规范有深刻的社会原因,规范中也蕴涵着效益。

(10)联合意图、社会承诺、联盟、协商、合作、组织结构等也属于MAS的社会性概念,与规范也有各自不同的联系。

由于缺乏对MAS社会性的分析,使得目前的规范和协调研究存在如下问题:

(1)缺乏普遍性,提出的方法只适用于极小的范围。

(2)难于解释规范对于MAS和其中Agent的具体影响,难于说明规范的合理性和规范的演变。

(3)难于以统一的指标比较各种方法的优劣。

(4)研究大都着眼于技术性指标,没有考虑社会性指标。

(5)协调学习的研究都面向个体,缺乏合作协调学习、系统级协调经验的产生和更新。

只有对MAS的社会性有深入的探讨,才能解决上述问题,也能使MAS技术更为实用,满足人类社会的要求。

2.2 逻辑方法

2.2.1 *规范逻辑* 模态逻辑中研究道义命题的逻辑特性和推理关系的方言称道义逻辑(deontic logic),是在模态逻辑中扩充了表示"应该"、"义务"、"允许"、"禁止"等道义概念的模态算子。由于道义概念总是和一定的规范相联系的,甚至是由后者派生的,因此道义命题总是表达了一定的规范,控制或影响着人们的行为,所以道义命题亦称规范命题,道义逻辑亦称规范逻辑。这个领域中的一个主要问题是如何处理悖论,Wright指出任何道义逻辑系统都会包含悖论。

Staniford基于基本逻辑BL提出一个规范逻辑NL,BL是一阶谓词演算的Horn语句子集,使得NL既可以用来描述,也可便于PROLOG实现。三个规范算子:O表示义务,F表示禁止,P表示允许。这里$F=_{def}O\neg$,$P=_{def}\neg F$或$\neg O\neg$。NL中的合式公式称为O-表达式。原子O-表达式是形如'O(f/g)'这样的表达式,含义是在情形g时Agent有义务达到情形f。这样,O(f/f)表示在情形f时Agent有责任保持情形f,O(f/¬f)表示在情形f不满足时Agent有责任使环境改变到满足情形f。NL还给出了三条公理和四条推理规则。

伴随MAS应用的深化,Agent会成为人的代理,负有各种权利和义务,所以可被视为法律实体(legal entity)。基于这种观念,Krogh[2]提出了一个形式语言来对权利进行表示和推理。

2.2.2 *BDI模型和规范* 普遍认为Agent应当具有思维状态,思维状态模型是研究如何形式化地描述Agent的思维属性和其间的关联,以及与感知、规划、行为、协调、合作等活动的关系。从意识立场出发,一般把信念(Belief)、愿望(Desire)和意图

维普资讯 http://www.cqvip.com

(Intention)当作基本的思维属性(简记 BDI)。Agent 的 BDI 分析不同于人们熟悉的知识表示和推理,而是对思维过程的一种深层次描述,为的是适应 MAS 求解过程中环境多变、突发事件发生的情况下,保证理性的、一致的合作行为。在协调中,Agent 之间需要交换相关的思维状态,利用思维状态模型相互推理,建立承诺,必须要考虑社会性制约,例如义务、权利、责任、禁忌等。

早期较有影响的几个思维状态模型都没有涉及规范问题。Bell 的属性改变模型、Linder 和 Hoek 的模型等近期提出的 BDI 模型只有少数引入了义务算子,而且都没有讨论义务和其它思维属性的关系以及推理规则,更没有讨论如何解决悖论问题。Conte 和 Castelfranchi 提出了规范 Agent 的概念,针对以往对规范的研究偏重外部行为和自发产生框架提出应注意研究:(1)规范的强制特性,对 Agent 行为的控制。(2)需要某种思维属性来使得 Agent 成为规范 Agent。

2.2.3 *有关的社会性思维状态* 对社会性思维状态的研究是围绕联合意图、社会承诺和社会依赖开展的。

基于单 Agent 思维状态模型,Levesque 和 Cohen 定义了 Agent 组/队的联合意图等概念,联合意图定义为特殊的联合持续目标。Castelfranchi 认为此定义不是充分必要条件,因为:(1)缺少相互依赖、合作动机和责任的描述,对有些竞争、交换现象,虽符合定义,但不是合作,因而没有联合意图;(2)在某些特殊环境下,即使缺少通讯和对共同行动方案的共享,但也存在合作。基于联合意图理论,Jennings 提出了联合责任模型。Tambe[9]建立了队工作模型。Wooldridge 指出在许多社会系统中联合意图并不存在,即使存在也由于过多的通信开销而无法实现,进而提出和谐是评价社会行为的出发点。给出了和谐和队行为的逻辑描述。

Castelfranchi 区分了 MAS 中存在的多种承诺形式,讨论了达成社会承诺的个体的权利和义务。在多 Agent 之间存在客观的社会依赖关系,因而产生了 Agent 之间的各种行为关系。相互依赖产生合作行为,而交互依赖则产生交换行为。Dunin-Keplicz 等[8]基于 Rao 和 Georgeff 的 BDI 模型,提出了集体信念、意图和承诺的定义以及三种承诺机制。Haddadi 基于 Rao 和 Georgeff 的 BDI 逻辑,扩充了联合承诺,在描述合作推理和协商方面作了新的探索。

2.3 对策论/决策理论方法

对于规范有不同的认识:Conte 和 Castelfranchi 认为规范应归结为 Agent 的特别的思维客体;Shoham 称之为社会法律,是对特定状态下禁止采取的行动的规定;Walker 的规范是 Agent 可以用来构造其行为选择的模板;Kittock 的规范是在完成特定任务时对多个可能策略的公共选择的规定;Boman 认为是对行为计算的约束;Jennings 认为规范规定 Agent 在什么条件下需要重新评估承诺的可行性和在这些情景中应该采取什么行为。

2.3.1 *规范的自发产生* Shoham[4]以对策论框架定义了社会惯例来约束各个 Agent 只能采用某一特定策略,证明了最大累积回报(HCR)策略选择规则对于合作对策和协调对策可以确保产生有效的惯例,使对策的价值较之没有惯例时为大(称为理性惯例)。但仿真实验表明,HCR 难于解决合作对策。Walker 研究了 Agent 如何用局部信息来达成全局一致策略的收敛速度、收敛过程中的平均振荡次数和单个 Agent 可能发生的最大振荡次数等,列举了 4 种可能的规范,Agent 要根据历史信息及其他 Agent 的状态来选择其一。只有当大多数 Agent 都选择同一规范时,规范才能充分发挥作用。所研究的几种演化机制中利用了本地所观察到的其它 Agent 的知识和本地的历史记忆。Kittock 研究了 Agent 交互的局部性和权威性对于规范自发产生的影响,采用的是在两种策略之间进行选择,以交互 Agent 采用同一种策略作为规范的目的。Durfee 讨论了通讯协议的自发产生问题,通讯协议实际上就是在通讯交互过程中对双方的行为的一种规范。他们的工作表明在通讯问题中特定协议可以基于效用分析而自发出现。

文[5]定义了行为规范,是对 Agent 在交互时如何在多个可能的行为策略之间作出选择的规定。遵循某种行为规范的 Agent 在进行特定的交互时不再进行联合规划,直接按照规范的要求采取行动,这样可以省去联合规划的开销。文[5]强调在 Agent 之间的知识传播对于建立全局系统结构与理性、产生行为规范的重要性。这种知识传播机制仍是基于 Agent 的自主与自利假设,但会自然地将 Agent 群体导向社会结构,而不仅是松散集合。提出一种采用规划传播与评估的规范自发产生机制及规范传播过程的定量模型,计算了规范扩散的速度。

对于规范自发产生的研究大都遵循如下路线:(1)将规范的自发产生视为 Agent 在局部策略选择上的收敛;(2)设计某种局部策略选择规则让所有

维普资讯 http://www.cqvip.com

Agent 遵守，这些策略基本上是依据 Agent 自身的交互历史，但也允许 Agent 之间交换各自的经验；(3)以策略选择的收敛速度或接受规范的 Agent 数量来衡量规范机制的性能；(4)采用实验方法测试各种系统参数的影响。

2.3.2 *基于规范的协调* Shoham 讨论了对给定的社会性 MAS 和若干焦点状态，如何定义社会法则，以保证 Agent 可以生成在焦点状态之间进行状态转换的规划，并指出寻找法则的问题是 NP 完全的。处理协调问题有两个极端：(1)没有法则，需要 Agent 之间的协商和更多的通信，可能使系统求解性能降低；(2)采用中心规划器，完全限制 Agent 的行为，违背了 Agent 自主性的前提，而且要求中心规划器具有极强的处理能力。社会法则方法就是要在这两个极端之间寻找平衡，既保留各个 Agent 行为的自由，也确保它们之间的行为彼此协作。

Tennenholtz[1]定义了稳定社会法则可把一个交互对策约束为规模较小的对策，从而保证 Agent 的效益达到给定的指标并有效地避免 Agent 违背法则；讨论了稳定社会法则的存在性，证明了稳定社会法则的计算(SSLP)是 NP 完全的，在交互双方地位不平等时 SSLP 是多项式复杂度的；可把交互对策以及 SSLP 映射为图论问题。

Briggs 认为过分严格的社会法则也会限制 Agent 行为的合理性，提出了灵活社会法则，通过找到一个合适的社会规则集序列，当按某个规则协调失败时可以采用下一个规则继续协调，降低了通信、规划费用，适用于动态、实时系统。

Boman[3]描述了一个使用规范来限制 Agent 行为的通用的可实现模型。每个 Agent 在决策时都将它的决策场景传输给一个系统共享的决策者，由这个决策者根据决策场景计算出相应的建议返回。决策者使用规范要在三个层次上约束对行为的计算：最低层是处理非友善 Agent(或恶意 Agent)的不良行为；中间层按照 Agent 的风险参数来过滤行为；最高层处理对于社会规范的接受，一般的原则是不允许 Agent 的行为削减整体的效用。Boman 认为 Agent 的行为可以主动地影响群体规范的制定，Agent 自主性应该与对社会规范的采纳相容。

为促进 Agent 协作，提高 MAS 整体求解效率，Agent 需组成联盟。联盟中的 Agent 共享目标，共同构造优化的求解方案，并对共同行动带来的额外效用进行划分，这是 Agent 形成联盟的动力，符合 Agent 追求效用最大化的基本原则。文[6]提出一种形成联盟的行为规范策略，可以使 Agent 形成全局最优解的联盟，并适合于动态开放环境中的 Agent 协作求解。

Barbuceanu[7]讨论了 Agent 在组织中受到社会约束而表现出的协调行为，Agent 需要采纳因其义务所带来的目标，否则会招致效用的损失。基于此开发了一个协调系统可处理组织、角色、赋予角色的义务和 Agent 可采纳的目标与规划。

结语 目前对规范研究所关心的几个问题是：(1)规范是否应表示为特别的思维客体？这个客体的作用和性质是什么？如何描述？(2)自利 Agent 如何以及为何要服从规范？如何阐述规范的合理性？(3)如何给社会承诺一个更为灵活的定义，平衡自主性和顺从性的矛盾？

作者认为值得研究的方向是：

(1)逻辑方法偏重微观，对策/决策论方法偏重宏观，应该引入或建立一个适用于 MAS 的社会学理论，阐述 MAS 的社会结构，以可计算的方式来解释 MAS 和其中 Agent 的行为与决策，建立宏观和微观的联系。

(2)许多 MAS 研究中不是认为 Agent 完全自私，就是完全合作，这不符合社会性的要求，应该寻求一种折衷的处理。

(3)从道义逻辑出发研究 Agent 的规范推理还有待深化，现有的研究还没有与思维状态模型有机地结合，更没有和诸如社会承诺、联合意图等社会属性挂钩。

(4)规范的自发产生是一个从个别经验上升到规范的进化过程。以往的研究强调 Agent 自主性而忽视对个人经验的共享，减缓了规范的生成速度，降低了系统的适应性，规范的公平性也难以保证。评价一个规范的好坏也应以其在生存周期中对 MAS 和 Agent 所起的作用为基准。对个人经验共享的益处在于加快学习的收敛速度和保证规范的公平性。

(5)诸如决策、规范这样的概念，既有逻辑的内涵，也有效用的内涵，而现有的研究大都一边倒。所以，应该发展一种具有逻辑和效用双重理性的 Agent 模型。

规范是实现 MAS 社会性所必须解决的问题，是联结个体和群体关系的纽带。基于规范的协调方法有不可替代的优点。作者认为所有有关 MAS 的研究都应考虑社会性原则，这样才能有利于学科的发展。

(下转第 6 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

范注入新的活力。1997年完成了多项技术规范的制订，包括用于提高CORBA应用的移植性的可移植对象适配器POA规范，IDL-Java、IDL-Ada的映射规范，DCOM/CORBA互操作规范，UML语言(Unified Modeling Language)和用于远程通信的多媒体流规范等。

5. COM(DCOM)/CORBA互操作。 Microsoft公司的COM(DCOM)也是当前分布式对象模型的另一主流，由于COM(DCOM)/OLE拥有众多的用户，因此OMG组织在颁布了CORBA规范1.0版本之后即投入COM/CORBA互操作研究，并于1996年1月31日由DEC、HP、IONA、SunSoft等公司联合提交了规范草稿(RFP)(COM/CORBA Interworking, Part A)，其内容稍作修改后并入CORBA规范2.0版本，于1996年发布成为标准。OMG组织现正致力于制订DCOM/CORBA互操作规范(COM/CORBA Interworking, Part B)。有关COM(DCOM)/CORBA互操作已有产品问世，如HP公司的ORB Plus、IONA公司的OrbixCOMet、Expersoft公司的CORBA Plus Active X Bridge和DEC的ObjectBroker Desktop Connection (DTC)。

COM(DCOM)/CORBA互操作的实现将贯通现有主流分布式平台，因此具有重要的现实意义。但是互操作的现有实现在运行效率和映射可逆性方面存在着明显的缺陷和不足，有待深入研究。

结束语 CORBA技术以其自身特有的优势正逐步成为新一代的分布计算技术，随着CORBA规范及其上层服务定义的完善，以及CORBA应用的深入，必将愈加显示出其优越性和生命力。

参考文献

1 The common object request broker: architecture and specification, revision 2.0, Object Management Group. July, 1996

2 The common object request broker: architecture and specification, revision 2.2. Object Management Group, Feb, 1998

3 CORBAservices: Common object services specificatioin. Object Management Group, Dec, 1997

4 O'Toole A. Making doftware work together. Orbix Journal, 1998

5 Eckerson W W. Grumann use an orb to integrate legacy systems. Open information Systems, 1995, 10(7): 38～42

6 CORBA successful stories. Object Management Group, available at: http://www.corba.org/

7 Vinoski S. CORBA: integrating diverse applications within distributed heterogeneous environments. IEEE Communication Magazine, 1997, 35(2): 45～55

8 Eckert K P. From osi to omg: experiences from the part of isode-based application to omg/corba concept. Computer Communications, 1996, 19: 4～12

9 Merle P, et al. CorbaWeb: a generic object navigator. Computer Networks and ISDN Systems, 1996, 28(7): 1269～1281

10 Craig T, Gil H. Current web architecture. Object Services and Consulting, Inc. 1996

11 Curtis D. Java, rmi and corba. White Paper of Object Management Group. 1996

(上接第14页)

参考文献

1 Jennings N R. Coordination Techniques for Distributed Artificial Intelligence, Foundations of Distributed Artificial Intelligence. John Wiley & Sons, Inc.; 1996

2 Krogh C. The Rights of Agents. In: LNAI 1037. Springer, 1996

3 Boman M. Norms as Constraints on Real-Time Autonomous Agent Action. In: LNAI 1237. Springer, 1997

4 Shoham Y, Tennenholtz M. On the emergence of social conventions: modeling, analysis, and simulations. Artificial Intelligence, 1997, 94: 139～166

5 Luo Yi, Shi Chunyi. An Emergence Approach to Behavior Convention in Agent Group. In: Proc. of 2nd Intl. Conf. on Multi-Agent Systems. Tokyo, 1996. 12

6 罗翊. 多Agent系统中Agent模型和求解方法:[清华大学博士学位论文]. 1997

7 Barbuceanu M. Coordinating Agents by Role Based Social Constraints and Conversation Plans. AAAI-97, 1997

8 Dunin-Keplicz B, Verbrugge R. Collective Commitments. In: Same to [5]

9 Tambe M. Agent Architectures for Flexible, Practical Teamwork. AAAI-97, 1997

10 李建民，石纯一. DAI中多Agent协调方法及其分类. 计算机科学，1998，25(2)

11 Tennenholtz M. On stable social laws and qualitative equilibria. Artificial Intelligence, 1998, 102: 1～20