

多Agent理论 对策论 人工智能 18  
计算机学报 2000V.23 No. 7

63-65

# 多 Agent 理论的对策论方法

The Game Theoretical Method in Multi-Agent Theory

曹子宁 石纯一

(清华大学计算机系 北京 100084)

TP18

**Abstract** Multi-Agent Theory was presented as a computational model of distributed intelligence. Recent research was focused on the specification for describing agent, knowledge representation, and formalizing some concepts of cognitive science and philosophy.

There are logic method and game theoretical method in the research of multi-agent theory. Using non-classical logic to model the cognitive attribute is main research method, there are lots of paper to discuss this topic. This paper focuses on the game theoretical method.

**Keywords** Multi-agent theory, Game theory, Logic

人工智能研究的一个重要目标是设计出能代表其拥有者或用户的、有一定自主性的决策体 Agent。为此通常是赋予每个 Agent 一种自身利益(偏好), Agent 在行动中寻求自身的利益最大化。当考虑 MAS 时, Agent 通常被赋予利益、理性决策能力及推断其它 Agent 的利益等的的能力。

对策论可对理性自利 Agent 的决策和相互作用进行解释,理性的含义是在给定的约束条件下最大化自己的偏好。

近年,用对策论的方法研究 MAS 的文献不断出现,且有增加的趋势。与传统的 BDI 的逻辑方法不同,对策论方法以效用函数最大化为目标。本文将介绍以效用模型来研究 MAS 的有关工作。

## 1 研究现状

### 1.1 Rosenschein 的 Agent 合理交互理论

Rosenschein 在其著名文章《没有通讯的协调》<sup>[1]</sup>中以对策论的方法阐述了“理性”Agent 协作的条件,并指出,即使在没有通讯的情况下,Agent 也可以根据对方及本方效用模型,选择就象事先经过通讯协调一样的行为,而且理性 Agent 的协调研究使用 Nash 平衡解,因而可以有效协调,但不能达到协作。

Rosenschein 理论的三个假设是:各 Agent 追求本身效用的最大化、效用(或赢得)矩阵是公共知识以及 Agent 满足最小理性假设(对方行为是随机的);分离理性假设(对方是理性的);唯一理性假设(已知对方将

采取的行为)。

Rosenschein 的 Agent 理性交互理论为无通讯情况下的不同类型的交互提供了一个统一的框架,不求通讯,因此在形式化和结果中有一种隐含的“交易”,Agent 就“可能从其它 Agent 获得的最好交易”进行推理,从而使推理取代了通讯,关于约束的知识,推理使通讯变得不必要。

协调解存在的基础是 Nash 平衡点存在理论。在有些情况下(如因犯两难问题),这种无通讯的协调只有平衡解,而不能得到合作结果。

理性交互理论为运用对策论解决 MAS 协调问题奠定了基础,使 DAI 界认识到,使用已有知识进行推理可以取代通常很昂贵的通讯。但是,他的理论仍存在局限,假设了知识是完备的(各 Agent 完全知道别的 Agent 的效用函数),而且 Agent 交互为单遇(只交互一次)。

### 1.2 Gmytrasiewicz 与 Durfee 递归模型理论

Gmytrasiewicz 与 Durfee 使用六十年代末出现的元对策方法研究了当对方效用模型不确定时,使用元递归建立对方效用概率模型的方法,即当 A 考虑 B 考虑 A 考虑 B... 时, A 应采取的行动,从而在一定程度上解决了完备知识假设的局限<sup>[2-3]</sup>,但在计算可选行为的效用时,需要递归计算,并且,并非所有情形的递归过程都能收敛到一个解上,有时收敛到的某一解还可能并非真正的解。这种现象是知识的不完备带来的。另外,对方效用模型的不确定,也只是类型的不确定,当

\* )本文受到国家自然科学基金资助

完全没有对方效用知识时如何决策,仍未解决。

### 1.3 Zlotkin 面向领域的协商

Zlotkin 在文[4]的基础上,研究了 Agent 在合作域、半合作域的协商机制,并给出了判定方法<sup>[11]</sup>,协商理论假设各 Agent 追求本身效用最大、知识完备、无历史信息(单遇)、目标集固定、协商于同一时间在两 Agent 之间进行、Agent 操作集相同、世界仅当 Agent 操作之后发生变化。

Zlotkin 的工作使两 Agent 的静态协商理论趋于完善,但未提供协商集 NS 的生成方法。另外,也缺乏对不完备知识的处理(仅仅做了简单的讨论),与领域的关系也过于密切,其静态本身也不适合于开放的 MAS。

### 1.4 Rosenschein 的受限承诺理论

Rosenschein 在文[4,9]中提出的受限承诺理论,是其无通讯的协调理论的延续。在没有通讯的情况下,有时即使 Agent 有合作的愿望,却由于无法告知对方而难于实现,典型的问题是囚徒问题。如果加入通讯,则囚徒问题可以解决,解决方法是受限条件下作出承诺。此时,囚犯问题可以获得妥协解,“最佳”问题可以获得最佳解。在这一理论中,Rosenschein 使用 Offer Group 表示 Agent 提出的联合行动“建议”,或可达成 deal,则各 Agent 承诺执行,若不能达成,则执行备份行动。解决了无通讯协调无法解决的问题,但只是初步的,对于同是 Pareto 合理的多个 deal 如何选择没有解决。

### 1.5 Kraus 的“最佳平衡”协商方法

传统的协商是基于 Nash 平衡的,缺点是会产生多个 Nash 平衡点,对结果约束较少。Kraus 使用 Rubinstein 的“最佳”平衡(Perfect Equilibrium 简称 P.E.)理论,建立了一种基于 P.E. 的协商方法<sup>[10]</sup>,需要在协商的每一阶段都产生平衡,在协商的任一阶段,假设 Agent A 使用 P.E. 策略,则 Agent B 除了自己的 P.E. 策略外没有更好的策略可遵循。故若有唯一的 P.E.,并假定 Agent 要使用该策略,则它在协商的每一阶段都只用这一策略。已证明,存在唯一的 P.E.,在第一阶段后就可以终止协商。Kraus 指出时间偏好可以提高协商效率,并仅对某一 Agent 有利。这一理论对于 Agent 的构造和 Agent 之间的协作很有用处。如果为 Agent 提供唯一的 P.E. 策略,并通知其它 Agent,则其它 Agent 的最佳选择也是 P.E. 策略。

理论的缺陷是缺乏动态性特色,尽管存在唯一的 P.E.,但如何求出仍未得到解决。

### 1.6 Ephrati 的集中式协商方法

Ephrati 在文[11,12]中使用了一种集中式协商方法,用一个“Master Agent”或组投票机制以达成协议。

在这种方法中,一组 Agent 的协作与组规划进程相关。Ephrati 使用一种动态、迭代的搜索过程,通过一组约束,使 Agent 增量式地构成一个最大“社会效用”规划。在每一步,各 Agent 对于组规划的下个联合行动投票,使用这一技术,Agent 无需完整地展示其偏好,可选状态集在投票之前产生。

这一方法不同于传统的 Nash 协商理论,但其集中式方法本身不符合多 Agent 分布的宗旨。

### 1.7 Brafman 和 Tennenholtz 的 Agent 决策模型

Brafman 和 Tennenholtz 在文[13]中提出了一种用思维状态来给 Agent 建模的方法,与以往研究中以 BDI 描述 Agent 的思维状态不同的是给出了一个具有信念、偏好和决策策略的 Agent 模型,并研究了这些因素对 Agent 行为的作用,这种建模是一个 Agent 根据另一个 Agent 的行为和背景知识来对其建模。提出了决策判据的概念,用于表示 Agent 在不确定情况下处理取舍,对策论中博弈者面临不确定情况时,采用 Maximin 原则,这相当于博弈者是保守型的。决策判据的概念是对 Nash 平衡原则的推广,其中 Agent 可以采用 Maximin 原则,Indifference 原则或 Minmax Regret 原则,还针对静态 Agent 和动态 Agent 分别给出了信念集和信念修正的定义,并讨论了 Agent 的思维状态模型的定义和存在性定理。这一模型将效用与思维状态结合起来,较有新意,但对 Agent 推理能力的表示还不够。

### 1.8 Shoham 和 Tennenholtz 的社会规范研究

Shoham 和 Tennenholtz 在文[14]中引入了一个随机模型,模型的运行过程中,局部行为准则可导致协调,特点是面向计算,在对策论的框架下定义了社会规范的概念,并且从个体理性原则出发考虑了社会规范的协调性准则,主要考察了在随机博弈中规范的产生。Agent 随机地相互作用,并且积累系统的信息,然后选择当前策略。讨论了一个简单而自然的最高积累奖励(HCR)选择策略原则,说明了对于一类博弈 HCR 可使其收敛到理性的可接受的社会规范。同时,还考虑了规范生成的效率。

### 1.9 Sandholm 和 Lesser 的有限理性 Agent 的核

Sandholm 和 Lesser 在文[15]中分析了用于有效地解决组合最优问题的自利 Agent 的联盟问题,当考虑计算资源的耗费时,就应当采用有限理性模型。为了有效地解决问题,自利的 Agent 通常可以通过相互合作来减小耗费,这可以通过联盟来实现。需要考虑 Agent 之间会形成怎样的联盟、稳定吗?怎样在联盟中分配耗费?

在有限理性的情况下,需要考虑计算资源的耗费,对于 Agent 集合的每个子集 S,定义了特征函数,进而

定义了联盟的特征函数和受限理性核的概念,证明了受限理性核存在的充分与必要条件。

## 2 存在的问题

八十年代中期以来,使用对策论研究 MAS 是个热点,对策论被公认为是研究人类社会交互的最佳数学工具,将这一工具应用于多 Agent 的交互是很自然的。然而,这些研究仍存在不足:

未超出文[4]中的理论模式,而所依赖的对策论又未超出文[16,17]中的传统理论。

基本完全信息作为全局假设,Zlotkin 的工作讨论了一定的不完全信息问题,但也仅仅是研究了协商模型中的欺骗问题,并未得出有效的方法。

很多文献都声明“无历史信息”,而在人类社会中历史信息是人们交互时的重要依据,近年来对策论在研究不完全信息时,强调了其它 Agent 的效用模型可以随“历史信息”不断修正,“历史信息”主要从“多遇”中获得。

在 MAS 的研究中,对于信息的表示与推理占有重要的位置,但在经济学方法中,通常只用概率分布模型来表示信息,用贝叶斯公式进行信息的推理,这显然是不够的。

已有的研究都未涉及对于事先未料到的新信息的处理,研究封闭、静态的系统,而现实的系统是开放的,动态的。

**结语** 总的来说,对于 Agent 理性的研究存在两种不同的方法。在哲学上,认为符合逻辑的是理性的,为此提出了各种逻辑体系,定义了公理系统和推理规则,来证明一些特定的命题是否成立,认为一个合理的行为可基于当前的信念合乎逻辑地推导出来。目前对于思维状态模型的研究大都属于这一流派。另一种方法是采用对策理论和决策理论,其信念模型是描述如果采用一个行动将会发生什么,就为每个后果都赋予概率。愿望模型是用实数表示那些可能状态的效用,一个合理的行动是使期望效用最优化的行动,这需要依据信念和愿望使用概率论工具计算得到。从概念的角度来看,逻辑方法实现了理性的推理,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,而使用数值分析方法的决策论理性也忽视了推理环节。对于一个处于动态环境中资源有限的 Agent 来说,既需要对世界进行推理也需要作出合理的决策使其从它的行为结果中获得最大收益。就 Agent 理论整体来看,这些研究的最终服务对象是多 Agent 规划,这既需要符合逻辑,又要求达到某种效益,需要融合两个流派的研究成果。

意识立场和行为立场、逻辑方法和效用理论、内部观点和外部观点、理论和实践、可解释性和可计算性,在以 Agent 理论为前沿的 DAI 研究领域充斥了这类矛盾,研究方法论都应当把处理上述矛盾作为努力方向。

## 参考文献

- 1 Rosenschein J S, Genesereth M. Cooperation without Communication. In: Reading in DAI. 1986
- 2 Gmytrasiewicz P J, Durfee, E H. A Decision Theoretic Approach to Coordinating Multiagent Interactions. In: IJCAI-91. 1991. 63~68
- 3 Gmytrasiewicz P J, Durfee E H. Elements of a Utilitarian Theory of Knowledge and Action. In: IJCAI-93. 1993. 396~403
- 4 Rosenschein J S. Rational Interaction: Cooperation among Intelligent Agents. [Ph. D Thesis]. Stanford Univ, 1986
- 5 Zlotkin G, Rosenschein J S. Negotiation and Task Sharing Autonomous Agents in Cooperative Domains. In: IJCAI-89. 1989. 912~917
- 6 Zlotkin G, Rosenschein J S. Cooperative and Conflict Resolution Via Negotiation Among Autonomous Agents In Non-Cooperative Domains. IEEE Trans. SMC, 1991. 21(6). 1317~1324
- 7 Zlotkin G, Rosenschein J S. Incomplete Information and Deception in Multi-Agent Negotiation. In: IJCAI-91. 1991. 225~231
- 8 Zlotkin G, Rosenschein J S. A Domain Theory for Task Oriented Negotiation. In: IJCAI-93. 1993. 416~423
- 9 Rosenschein J S, Genesereth M. Deals among Rational Agents. In: Auberma B A, ed. The Ecology of Computation. 1988
- 10 Wilkenfeld K S. Negotiation over Time in a Multi-Agent Environments. In: AAAI-93. 1993
- 11 Ephrati E, Rosenschein J S. Constrained Intelligent Action: Planning Under The Influence of A Master Agent. In: AAAI-92. 1992. 263~268
- 12 Ephrati E, Rosenschein J S. Multi-Agent Planning as a Dynamic Search for Social Consensus. In: IJCAI-93. 1993. 423~429
- 13 Brafman R I, Tennenholtz M. Modeling Agents as Qualitative Decision Makers. Artificial Intelligence, 1997. 94
- 14 Shoham Y, Tennenholtz M. On the Emergence of Social Conventions. Modelling, Analysis and Simulations Artificial Intelligence, 1997. 94
- 15 Lesser S. Coalitions of Computationally Bounded Agents. Artificial Intelligence, 1997. 94
- 16 Nash J F. Non-Cooperative Games. Annals of Maths, 1951. 54. 286~295
- 17 Nash J F. Two-Person Cooperative Games. Econometrica, 1953. 21. 128~140
- 18 罗 翊,石纯一,等. 分布式人工智能进展:[清华大学计算机系技术报告]. 1994