

基于广义相关系数的 Agent 行为决策模型^{*}

王 澜 何华灿

(西北工业大学计算机学院 西安710072)

摘 要 对于 Agent 之间交互作用的研究是多 Agent 系统研究领域中的一个重要方面。Agent 的行为决策作为在进行交互作用时的关键过程,更引起研究者的极大重视。而现有的对于 Agent 的行为决策的研究多局限于特定的交互作用环境或特定的应用中,如协作、协商、竞争等。基于广义相关系数的 MAS 交互作用框架,将各种类型的交互作用——协作、自利、竞争、敌对——都纳入到这一统一框架之下。本文在这一框架的基础上,建立了基于广义相关系数的 Agent 模型,以及基于广义相关系数的 Agent 行为决策模型。该决策模型不再受限于单一的环境,而是可以根据 Agent 间的广义相关系数,灵活地进行行为选择。提高了 Agent 在开放的、动态的环境中的适应性,其行为效果也更加符合 Agent 的设计目的。

关键词 多 Agent 系统,交互作用框架,广义相关系数,行为决策

Interaction Structure of Multi-Agent System Based on Generalized Correlation Coefficient

WANG Lan HE Hua-Can

(School of Computer Science, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072)

Abstract The study of interaction between agents is one of the most important areas in the research on multi-agent system. The process of decision making is such a key problem in the interaction that attracts much more endeavor. By now, the decision-making processes are limited to the specific environment or conditions, such as cooperation, negotiation, competition and so on. The framework of interaction based on generalized correlation coefficient unifies the all kind of interaction, from collaboration, selfishness to competition and antagonism. This paper is based on this framework. A model of agent based on generalized correlation coefficient is constructed. Furthermore, the process of decision making based on this is analyzed. This process is more agile and more appropriate to the open and dynamic environment.

Keywords MAS, Interaction framework, Generalized correlation coefficient, Decision making

1 引言

智能 Agent 作为一种新的软件开发模式,得到越来越多的关注。基于 Agent 的计算(Agent-Based Computing)将可能成为下一代软件开发的重大突破^[1]。而由多个 Agent 组成的多 Agent 系统(Multi-Agent System),更是一个高度交叉的研究领域。无论是从其理论方面,还是应用方面,均涉及到众多领域的相关内容,如经济学、哲学、逻辑学、生态学和社会科学^[2]。

对于 MAS 的研究起源于分布式人工智能(Distributed Artificial Intelligence),它有两大大研究方向:分布式问题求解(Distributed Problem Solving)与 MAS^[3,4]。在 DPS 中,对于给定的问题,各问题求解节点可能因为资源、能力、信息等的不足,而需要相互合作,以期共同完成任务。这是一种在设计阶段就进行问题分解、求解规划及解答合成的方式。而在近年来得到越来越多关注的 MAS,更加强调了问题求解节点的自治性。在 MAS 中,一般不存在全局目标,各个 Agent 按照自己的利益、目标、信念等,自主地决定是采取协作行为、自利行为或是竞争行为。

在对 MAS 的研究中,系统中的交互作用是其中一个主要的研究方面。当说到交互作用的时候,可以有以下三方面的理解:1)Agent 与环境的交互,即 Agent 感知环境,并有限地作用于环境;2)Agent 与人的交互,即人机接口,界面这一概念;3)Agent 之间的交互,它体现了智能 Agent 的社会性。我们这里所研究的 MAS 的交互作用,指的是第三个意思,重点

在于探讨其社会性对 Agent 的目标选择、行为决策以及对整个 MAS 的作用和影响。

由于 Agent 的自治性使社会交互更加复杂^[5]。由于自治性的存在,使得 Agent 在运行期间,可以自主地根据设计目标,决定自身的行为,即它是一种以目标驱动行为的方式;而不是仅仅实现在设计期间对其已经制定好的固定的行为模式。对于 MAS 交互作用的研究,主要集中在协作、协商、冲突解决、竞争等方面。在研究上是彼此孤立,而在内容和方法上却又有所交叉。在研究方法上有基于博弈论的^[6,7],也有基于社会责任的^[8,9]。这些研究方法的局限性在于,它们都只是针对 MAS 中交互作用关系的某一方面或者是某一问题,如协商、协作等,提出的理论模型或解决方法,并没有对所有的交互作用关系进行系统的分析与考量。

在我们以前的研究中^[11],提出了基于广义相关系数(Generalized Correlation Coefficient, GCC)的 MAS 交互作用框架。本文就是在这一交互作用框架的基础上,建立了基于 GCC 的 Agent 模型及其行为决策模型,并进一步对这一模型进行分析与对比。本文第2节对基于 GCC 的多 Agent 交互作用框架进行了简要介绍,第3节建立了基于 GCC 的 Agent 模型,第4节是基于 GCC 的 Agent 行为决策模型,第5节为相关工作的分析与对比,最后为结论与展望。

2 基于 GCC 的多 Agent 交互作用框架

在文[11]中,建立了基于 GCC 的 MAS 交互作用框架。该思想是以描述现实世界中事物之间相互关系的 GCC-h 作

^{*} 本文受国家自然科学基金项目(60273087)、北京市自然科学基金项目(4032009)和国家863计划(2002AA412020)资助,王 澜 博士生,研究方向为人工智能,多智能体系统。何华灿 教授,博士生导师,研究方向为人工智能,泛逻辑学。

为依据,将存在于 Agent 间的各种可能的作用关系纳入到这一框架中。并根据 h 的取值范围,将 MAS 交互作用分为协作($h \in [0.5, 1]$)与非协作($h \in [0, 0.5]$)两部分,进一步细化,其中涉及到其行动的效果是为了与之交互的对方的利益(有利的及损害的——利它及损它),还是为了自身的利益(得益的及保护的——利己及保己):

1. $h = 1$, 完全协同型, 只有利它(全局)目标, 没有利己(全部)部目标;
2. $0.75 < h < 1$, 协同型, 同时具有利它目标及利己目标, 但更偏重于利它目标;
3. $h = 0.75$, 利它目标与利己目标并重;
4. $0.5 < h < 0.75$, 自私型, 同时具有利它目标及利己目标, 但更偏重于利己目标;
5. $h = 0.5$, 完全自私型, 仅有利己目标, 既没有利它目标, 也没有损它目标;
6. $0.25 < h < 0.5$, 竞争关系, 同时具有损它目标及保己目标, 但更偏重于保己目标;
7. $h = 0.25$, 竞争型, 损它目标与保己目标并重;
8. $0 < h < 0.25$, 敌对关系, 同时具有损它目标及保己目标, 但更偏重于损它目标;
9. $h = 0$, 完全敌对型, 只有损它目标。

GCC h 与交互作用之间的关系可由图1所示。

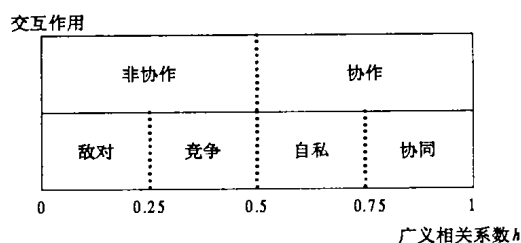


图1 广义相关系数 h 与 Agent 交互作用关系

3 基于 GCC 的 Agent 模型

我们提出的基于 GCC 的 MAS 交互作用框架,充分考虑了 Agent 间所有可能的相互关系,即从完全协作到完全对抗。为了更好地进行 MAS 中交互作用及 Agent 行为决策的讨论,我们需要为 MAS 及 Agent 建立模型。首先定义 MAS 的一个有限集合 M , 它由 n 个自治的 Agent 组成。

$M ::= \langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle$, 其中 A_i 为第 i 个 Agent。

基于 GCC 的 Agent 的模型应该是一个五元组:

$A ::= \langle E, Act, H, G, P \rangle$; 其中 E 为 Agent 对环境的感知, 它由一组信念的集合表示; Act 为该 Agent 可以进行的行动集合, $Act ::= \langle a_1, a_2, \dots, a_m \rangle$; H 为该 Agent 与其它 Agent 的 GCC 集合, $H ::= \langle h_1, h_2, \dots, h_{i-1}, h_{i+1}, \dots, h_n \rangle$, 其中 h_j 表示该 Agent 与第 j 个 Agent 之间的广义相关系数 h ; G 为该 Agent 的目标集合, P 为该 Agent 对于目标的规划集合。

4 基于 GCC 的 Agent 行为决策模型

通过第2节的分析,我们可以看出,在 MAS 中 Agent 之间的交互作用经历了从协同到敌对的连续变化过程。这一变化过程可以通过广义相关系数(GCC) h 从1到0的连续变化反应出来。下面我们要讨论的是,如何由 h 的连续变化来反映并指导 Agent 在交互作用中对目标、行为等的决策行为。设:

- 1) A_1 为当前要进行目标行为决策的 Agent, $A_1 \in M$;
- 2) A_2 为当前与 A_1 进行交互的 Agent, $A_2 \in M$;

3) h 为 A_1, A_2 间的广义相关系数, $h \in H$;

4) $I_1(a_i), I_2(a_i)$ 分别表示行为 $a_i \in Act$ 对于 A_1, A_2 的影响效果, 且 $1 \geq I_1(a_i), I_2(a_i) \geq -1$, 其中, 值的正负分别表示效果的受益与受损, 0 表示没有影响;

5) a^* 为 A_1 最终选择的对 A_2 的行为, $a^* \in Act$ 。

为了反映出 Agent 如何根据 GCC 来进行目标行为决策, 我们引入两个加权因子: $\omega_1(h), \omega_2(h)$, 它们分别表示在 h 下, A_1 要进行行为决策时, 对 $I_1(a_i), I_2(a_i)$ 的加权系数。这两个加权系数反映了 A_1 对于所采取的行为对 A_1, A_2 的影响的“关心程度”。进行如下定义:

定义1 A_1 的行为 a_i 对自身及对方所造成的综合效果为:

$$SI(a_i) = \omega_1(h) \cdot I_1(a_i) + \omega_2(h) \cdot I_2(a_i) \quad (1)$$

定义2 在一个 MAS 中, 自治的 Agent A_1 选择对 Agent A_2 的行为时, 在其广义相关系数 h 确定的情况下, 将选择使综合效果 $SI(a_i)$ 最大的行为。即:

$$a^* \in \arg \max_{a_i \in Act} SI(a_i), i=1, 2, \dots, m \quad (2)$$

定义3 ω_1, ω_2 由以下公式确定:

$$\begin{cases} \omega_1(h) = 1 - 2|h - 0.5| \\ \omega_2(h) = 2(h - 0.5) \end{cases} \quad (3)$$

其中, h 表示 A_1 与 A_2 间的广义相关系数。 $|\omega_1| + |\omega_2| = 1$ 。在此, ω_2 在 $h < 0.5$ 的时候取负值是为了区别出 Agent 间的协作关系与竞争关系。 ω_1, ω_2 与 h 间的关系可由图2表示。

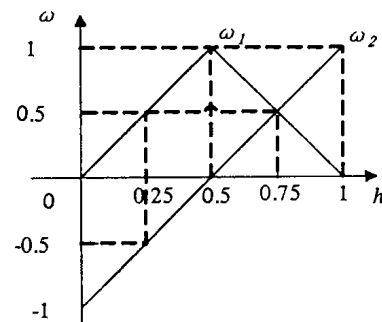


图2 ω_1, ω_2 与 h 间的关系

下面根据式(2)(3)与图2, 并以 h 的递减变化为主线, 对这一行为决策过程进行详细分析, 并着重考虑几个特殊点:

1. $0.5 \leq h \leq 1$, A_1 处于协作状态, 并随着 h 的递减, 由协同状态变化至自私状态; 对自身效果 I_1 的加权系数 ω_1 由 0 连续变化至 1, 而对与之交互的 A_2 的效果 I_2 的加权系数 ω_2 则由 1 连续变化至 0, 这样两个递增和递减的过程分别表示对自身利益的逐渐重视以及对对方利益的逐渐忽视。

2. $h = 1$, 即完全协作时, $\omega_1 = 0, \omega_2 = 1$, 此时, A_1 仅仅考虑最大化对方的利益, 而完全不考虑自身的利益, 这样就有可能出现 A_1 选择到了对自己完全不利的行为的情况, 即 $a^* \in \arg \max_{a_i \in Act} I_2(a_i), i=1, 2, \dots, m$, 其中 $-1 \leq I_2(a_i) \leq 1$, 也就是常说的“舍己为人”;

3. $h = 0.75$, 即自私与协作共存时, $\omega_1 = \omega_2 = 0.5$, 此时, A_1 同时考虑自身及对方的利益, 并给予相同的重视程度;

4. $h = 0.5$, 即完全自私时, $\omega_1 = 1, \omega_2 = 0$, 此时, A_1 仅仅考虑最大化自身的利益, 而完全不考虑对方的利益, 这样就有可能出现 A_1 选择了对对方完全不利的行为的情况, 即 $a^* \in \arg \max_{a_i \in Act} I_1(a_i), i=1, 2, \dots, m$, 其中 $-1 \leq I_1(a_i) \leq 1$, 即“损人利己”;

5. $0 \leq h \leq 0.5$, A_1 处于非协作状态, 并随着 h 的递减,

由竞争状态变化至敌对状态。且 ω_1 随 h 的变化由 1 至 0, 表示对自身的关注再次逐渐减小; 而 ω_2 由 0 至 -1, 表示对 A_2 的关注逐渐增加, 并且将选择对 A_2 不利的行为, 即 $I_2(a_i) < 0$ 。

6. $h = 0.25$, 即竞争状态时, $\omega_1 = 0.5, \omega_2 = -0.5$, 此时 A_1 考虑提高自身利益的同时, 减小对方利益。

7. $h = 0$, 即完全敌对时, $\omega_1 = 0, \omega_2 = -1$, 此时, A_1 考虑的是如何最大化对方的“负”利益或损害, 即 $a^* \in \arg \min_{a_i \in Act} I_2(a_i), i = 1, 2, \dots, m$, 其中 $-1 \leq I_2(a_i) \leq 1$ 。

以上, 我们从加权系数 ω_1, ω_2 随广义相关系数 h 的变化, 描述了 Agent 的行为决策过程。进一步, 我们可以从 Agent 的行为效果出发, 来分析它与 GCC 之间的关系, 如表 1 所示。

表 1 广义相关系数与 Agent 行为效果的关系

序号	广义相关系数 h	$I_1(a^*)$	$I_2(a^*)$
1	$h = 1$	/	+
2	$0.75 < h < 1$	-	+
3	$h = 0.75$	0	+
4	$0.5 < h < 0.75$	+	+
5	$h = 0.5$	+	/
6	$0.25 < h < 0.5$	+	-
7	$h = 0.25$	0	-
8	$0 < h < 0.25$	-	-
9	$h = 0$	/	-

其中, “+”表示该行为有正向的利益; “-”表示该行为有负向的损害; “0”表示该行为效果不明显, 或者说没有什么利益或损害; “/”表示无视利益, 即不考虑利益如何。表中第二栏是 GCC 的取值范围或特殊取值点, 第三栏是该行为对于 A_1 的可能利害, 第四栏是该行为对与它交互的 A_1 的可能利害。

我们将该表与上面的详细分析对比来看, 可以看出, 从第 1 种到第 9 种情况, 涵盖了 GCC 从 1 连续变化到 0 的所有状态, 以及 5 个特殊点状态。在前四种情况中 (1~4), A_1 处于协作状态, 因此选择的行为基本上都是有利的; 其中第三种情况 ($h = 0.75$), 作为协作状态中的一个转折点, 意味着 A_1 开始更多地考虑增加自身的利益, 表示协作意愿的减少。对于后四种情况 (6~9), A_1 处于非协作状态, 所选择的行为都是损害对方的; 其中第 7 种情况 ($h = 0.25$), 作为非协作状态中的一个转折点, 意味着 A_1 开始考虑减少自身的利益, 为了达到损害对方的目的, 表示敌对情绪的增强。而对于特殊点第 1 和第 9 种情况下, $I_1(a^*)$ 为 “/”, 这意味着在这两种极端的状态下 (完全协作与完全敌对), A_1 完全不考虑自身的利益, 而是仅从对 $I_2(a^*)$ 的影响出发, 此时 $\omega_1 = 0$, A_1 行为的选择分别是最大化对方的利益及最大化对方的损害。同样, 第 5 种状态下, $I_2(a^*)$ 为 “/”, 意味着 $\omega_2 = 0$, A_1 是完全自私的, 行为的选择为最大化自身的利益。

通过上面的分析可以看出, 基于 GCC 的 Agent 行为决策, 充分考虑了进行交互的双方的广义相关性, 并通过行为效果的加权系数, 将相关关系的影响反映在 Agent 进行行为决策的过程中。这种方式的行为决策过程, 更好地满足了 Agent 的设计, 为其适应开放、动态的复杂环境奠定了基础。

5 相关研究

可以将我们的基于 GCC 的多 Agent 交互框架与 Jennings 等在文 [18, 19] 中提出的具有社会责任的 Agent 进行对比研究。Jennings 提出^[18], 如果不仅仅考虑单一 Agent 的利益, 并且要考虑整个系统的利益的话, 自利 (self-interested)

Agent 的行为会造成对整个系统的不利。从整体出发, 基于位于知识层次之上的社会层次, 他提出了具有社会责任的 Agent, 即该类 Agent 的行为准则是: 根据需要, 计算采取的行为对社会的利益、对社会的损害、对自己的利益及对自己的损害。并根据不同的利益、损害组合, 将行为分为: 社会行为、个体行为、孤立行为及无效行为。在社会行为中, 个体利益与社会损失为 0, 而社会利益大于个体损失。这类似于我们的框架中 $h > 0.75$ 的情况; 在个体行为中, 社会利益与个体损失为 0, 而个体利益大于社会损失, 这类似于我们的框架中 h 在 0.5 附近取值的情况; 孤立行为描述了同时满足个体利益和社会利益的情况, 这类似于我们框架中的 $0.5 < h < 0.75$ 的情况; 无效行为是指对个体及社会均无利益的行为。在文 [19] 中进一步将具有社会责任的 Agent 的行为决策函数从完全自私到完全利它划分为 n 个阶段, 这刚好相应于对我们的框架中 h 从 0.5 到 1 之间连续变化的一个量化过程。

对比之下可以看出, 我们的研究与 Jennings 等的研究有类似之处, 同时存在有以下几点更为合理、先进的地方: 1) Jennings 等提出的具有社会责任的 Agent, 是从其行为效果对社会及对个体方面来进行研究的, 我们的研究是从 Agent 的本意出发, 即从其为何会产生这样的行为效果出发——因为广义相关性的存在。2) Jennings 等的研究侧重于 Agent 对社会的影响, 而我们的研究则着重于 Agent 之间的关系, 并由此表现对整个系统运行的影响, 这种影响更易于分析与决策。3) 因为 Jennings 等的研究是从对社会效果出发, 包括从完全自私到完全利它, 而这些可以完全纳入到我们的研究框架之中。另外, 我们的框架中还包含有 Agent 之间竞争甚至敌对的情况, 这是他们所不曾研究的。

结论与进一步研究 本文在所建立的基于广义相关系数的 MAS 交互作用框架的基础上, 进一步提出了基于广义相关系数的 Agent 模型以及基于广义相关系数的 Agent 行为决策过程。由本文的分析可知, 根据不同的广义相关性, Agent 可以选择不同的行为, 这使得 Agent 的行为更加灵活, 更适用于开放、动态的复杂环境, 以及多种状态和多种要求。在以后的研究中, 将建立基于广义相关系数的目标模型。

参考文献

- 1 Sargent P. Back to School for a Brand New ABC. In: the Guardian, 1992. 28
- 2 Wooldridge M. 多 Agent 系统引论. 北京: 电子工业出版社, 2003
- 3 Jennings N R, Sycara K, Wooldridge M. A Roadmap of Agent Research and Development. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1998, 1: 7~38
- 4 Stone P, Veloso M M. Multi-agent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective. [Technical Report CMU-CS-97-193]. Computer Science Department, Carnegie Mello University, Pittsburgh, PA, Dec. 1997. 181~219
- 5 Jennings N R. Joint Intention as a Model of Multi-Agent Cooperation in Complex Dynamic Environment. [PhD thesis]. UK, 1992
- 6 Rosenschein J S. Rational Interaction: Cooperation Among Intelligent Agents. [PhD thesis]. Computer Science Department, Stanford University, Stanford, CA 94305, 1985
- 7 Zlotkin G, Rosenschein J S. Coalition, cryptography, and stability: Mechanisms for coalition formation in task oriented domains. In: Proc. of the Twelfth National Conf. on Artificial Intelligence, Menlo Park, California, Aug. 1994. 432~437
- 8 Jennings N R, Campos J R. Towards A Social Level Characterization of Socially Responsible Agents. IEE Proceedings on Software Engineering, 1997, 144(1): 11~25
- 9 Kalenka S, Jennings N R. Socially Responsible Decision Making by Autonomous Agents. In: K. Korta, E. Sosa, X. Arrazola, eds., Cognition, Agency and Rationality, Springer Verlag, 1999. 135~149
- 10 Dautenhahn K. Getting to know each other-artificial social intelligence for autonomous robots. Robotics and Autonomous Systems, 1995, 16: 333~356
- 11 王瀚, 何华灿. 基于广义相关系数的多 Agent 交互作用研究. 计算机科学, 2004, 31(12)