

Agent 社会理性的研究*

程显毅¹, 石纯一²

¹(江苏大学 计算机科学与通信工程学院, 江苏 镇江 212013);

²(清华大学 计算机科学与技术系, 北京 100084)

E-mail: chengxianyi@263.net

http://www.jsust.edu.cn

摘要: MAS(multi-agent system)是由多个自治 Agent 组成的协商,是合作的 Agent 社会.在社会背景下,Agent 社会理性决定着 MAS 目标的实现. Jennings 虽然给出了 Agent 社会理性的定义和相应的模型,但没有给出模型参数的具体计算方法及其物理意义.基于协同学原理,指出模型的物理意义是系统的序参量,并将参数的计算分为 4 步:近似线性化、确定序参量、使用支配原理建立微分方程和解微分方程.

关键词: 理性;协同学;Agent;MAS(multi-agent system);序参量

中图分类号: TP18 文献标识码: A

在计算机科学领域,最具挑战性的目标之一就是如何建立能够在一起工作的计算机分布式网络.如果我们把网络中具有自治能力和精神状态(信念、愿望、意图、承诺等)的计算实体称为 Agent,则这样的网络系统就叫做 MAS(multi-agent system).

关于 Agent 的研究起源于分布式人工智能,由于它为求解复杂、分布式环境下的问题提供了新的认识视角和理论框架,因而受到计算机、自动控制、管理科学等许多学科的日益重视.

在 MAS 中,Agent 不是孤立存在的,Agent 的资源和能力都是有限的,Agent 的行为必须满足某些理性,不能为所欲为.所以,理性就是多 Agent 在交互时,如何在多个可能的行为策略之间作出合理的选择. Jennings^[1]在 IJCAI'99 发表的论文“基于 Agent 计算”中指出,研究 MAS 就是研究以自治为前提,面对群体交互的社会性要求,如何建立理性 Agent.

理性关系着 MAS 作出正确的决策和产生成功的行为是一种平衡,是一种有序结构和一种预定的社会规范.具体讲就是,能把知识放到合适的位置(关联性);当知识出现断章片文时也能理解(整体性);对外来信息不用形式化就能提取所需知识(主动性);当系统出现矛盾的知识或重复知识时,能选择其一,同时删除另一个(动态性);能够从个别的例子中抽象出具有普遍意义的法则(归纳性);当知识不够用时能够进行通信,获取知识(开放性).

目前,对 Agent 社会理性的研究,要么是为产生规范而规范,要么是假设 Agent 是友好的和协调的.主要成果有:

逻辑理性.它假设 Agent 具有完备的信息,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.这虽然有坚实的理论基础,但存在逻辑全知问题,理论和实际脱节^[2].

效用理性.它假设 Agent 是友好的、协调的.认为一个合理的行为是使期望效用最优.以友好

* 收稿日期: 2000-10-11; 修改日期: 2001-07-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69773023)

作者简介: 程显毅(1956—),男,黑龙江哈尔滨人,副教授,主要研究领域为多 Agent 系统;石纯一(1935—),男,河北秦皇岛人,教授,博士生导师,主要研究领域为人工智能应用基础.

的 Agent 为前提的效用理性为阐述 MAS 的宏观理论提供了简捷的方式,但经济学成果的许多理论的前提过于理想化,比如,对个体内部结构的阐述较为简单化,追求具有“激励相容性”的设计机制,即个体不必经过深思熟虑而只要坦诚相待,那么个体和群体的性能就会达到最优化,意味着每个个体都有“完美的理性”,而这在实际中是不可能达到的。

Jennings 社会理性模型。Jennings 认为,在真实世界里,Agent 的资源是受限的,信息是不完全的,在社会背景下的 Agent 显然需要一种新的社会理性来帮助 Agent 选择行为,实现在个人效用相同的情况下,对社会做最大的贡献。社会理性既要考虑资源约束,又要考虑任务的相互依赖。

根据 Jennings 对社会理性的定义,可以把社会理性表述为如下模型^[3]:

$$\text{Agent 社会理性} = k_1 * \text{利己效用} + k_2 * \text{利他效用}. \quad (1)$$

该模型存在的问题是,参数 k_1, k_2 是主观确定的,并且没有指出参数的物理意义。本文首先改进了 Jennings 的模型,然后根据协同学原理,给出模型参数的物理意义,最后给出模型参数的客观计算框架。

1 Jennings 理性模型的改进

用效用函数可把式(1)表示为

$$EUT_A(\alpha) = f(IU_A(\alpha), SU_A(\alpha)) = k_1 * IU_A(\alpha) + k_2 * \sum_{a \in A_g} SU_a(\alpha). \quad (2)$$

其中 $EUT_A(\alpha)$ 为 A 执行 α 的社会效用; $IU_A(\alpha)$ 为 A 执行 α 的利己效用; $SU_A(\alpha)$ 为 A 执行 α 的利他效用; $k_1 + k_2 = 1, k_1, k_2 \in [0, 1]$, 分别为利己效用和利他效用的权重, A_g 为 Agent 集合。式(2)是描述性的,不具有可操作性。

对于一个 Agent 来说,它的利己性和利他性在决策中起多大作用是由 k_1, k_2 决定的,所以 k_1, k_2 分别是 Agent 个性化程度和友好程度的反映,或者是对问题求解的贡献程度的刻画。

一个“利己型 Agent”将看重 $IU_A(\alpha)$, 一个“利他型 Agent”将看重 $SU_A(\alpha)$, “社会型 Agent”的任务就是合理地确定权重 k_1, k_2 。

因为 Agent A 并不是执行任何任务都要联合 MAS 中的所有 Agent, 设执行任务 α 与 A 联合的 Agent 集合为 $\lambda_{A\alpha} = \{\lambda_{A\alpha,1}, \dots, \lambda_{A\alpha,n}\}$, $\varphi_{A\alpha,1}, \varphi_{A\alpha,2}, \dots, \varphi_{A\alpha,n}$ 分别为 $\lambda_{A\alpha,1}, \lambda_{A\alpha,2}, \dots, \lambda_{A\alpha,n}$ 的关联度, $\varphi_{A\alpha,i} \in [0, 1], \sum_{i=1..n} \varphi_{A\alpha,i} = 1$, 则式(2)变形为

$$EUT_A(\alpha) = k_1 * IU_A(\alpha) + k_2 * \sum_{a \in \lambda_{A\alpha}} SU_a(\alpha) * \varphi_a, \quad (3)$$

其中 $k_1 + k_2 = 1, k_1, k_2 \in [0, 1]$ 。

参数 k_1, k_2 应与任务 α 、完成 α 所需时间 t 、了解合作伙伴的程度 β 、执行 α 给 MAS 带来的副作用 γ 等因素有关,所以,式(3)扩充为

$$EUT_A(\alpha) = k_1(\alpha, \beta, \gamma, t) * IU_A(\alpha) + k_2(\alpha, \beta, \gamma, t) * \sum_{a \in \lambda_{A\alpha}} SU_a(\alpha) * \varphi_a, \quad (4)$$

其中 $k_1 + k_2 = 1, k_1, k_2 \in [0, 1]$ 。

注意, k_1, k_2 的大小关系是动态变化的。比如在机器足球比赛(Robocup)中,当带球运动员没有遇到阻碍时, $k_1 > k_2$, 而在遇到阻碍时, $k_1 < k_2$ 。

2 社会理性计算框架

2.1 协同学原理

协同学是研究存在于复杂自然界的自组织机理的学科. 它主要有两个观点, 一个是支配原理, 另一个是序参量. 支配原理揭示复杂系统在从无序到有序的过程中, 上一层是如何支配下一层的. 序参量是系统的少数参数. 它处于上层, 变化缓慢, 控制着宏观系统的变化, 使系统从一种序转到另一种新的序^[4].

根据协同学原理可知, 有序结构一般分为两种类型.

首先是在平衡条件下形成和维持的有序结构. 它主要是靠分子或原子相互作用而引起系统元素具有固定的位置所形成的. 它是一种死的结构, 一旦达到平衡, 不仅系统与环境没有宏观的物质或能量的传递, 并且体系内部也不再有任何宏观过程.

其次是在远离平衡条件下, 通过与外界环境之间不停顿地进行物质和能量的交换所形成和维持的宏观范围内的时空序, 它是不可逆过程. 远离平衡条件下的有序结构不可能像在平衡条件下的有序结构那样总是有保证, 它有可能失去稳定性, 而涨落放大会使系统达到某种新的有序状态. 普利高津(Prigogin)把这种需要能量耗散才能形成和维持的有序结构称为耗散结构. 显然, 社会理性是保证系统呈现耗散结构的基础. Jennings 的社会理性模中的参数 k_1, k_2 , 在本质上就是序参量.

2.2 序参量计算框架

为描述社会理性, 显然要把外力作为 MAS 的一部分. 与封闭系统不同的是, 我们不能把外力作为给定的常量, 而要把它们作为遵从运动方程的量. 用 F 表示外力(原因), k 表示理性(效果). 虽然在一般情况下, k 对时间的导数不是 k 的线性函数, 但可利用支配原理进行线性近似, 所以,

$$k'(\alpha, \beta, \gamma, t) = -\lambda k + F(\alpha, \beta, \gamma, t, k), \quad (5)$$

其中 λ 为阻尼系数. 式(5)描述了 MAS 的有序度, 这就是我们为什么称 k 为“序参量”的理由, 如果有 k_1, k_2, \dots, k_n 个理性变量, 可设它们满足如下方程:

$$\begin{aligned} k_1'(\alpha, \beta, \gamma, t) &= -\lambda_1 k_1 + F_1(\alpha, \beta, \gamma, t, k_1, k_2, \dots, k_n), \\ k_2'(\alpha, \beta, \gamma, t) &= -\lambda_2 k_2 + F_2(\alpha, \beta, \gamma, t, k_1, k_2, \dots, k_n), \\ &\vdots \\ k_n'(\alpha, \beta, \gamma, t) &= -\lambda_n k_n + F_n(\alpha, \beta, \gamma, t, k_1, k_2, \dots, k_n). \end{aligned}$$

然后, 按下述方式编排下标, 把 n 个理性变量分成两类性质不同的组: 一组 $i=1, \dots, m$, 指具有小阻尼甚至可以变为不稳定性变量 k_u , 即 $\lambda_i \leq 0$; 而另一组 $j=m+1, \dots, n$, 是指稳定性变量 k_s .

接下来把稳定性变量用支配原理消去, 这样就可以把高维问题归结为低维问题.

支配原理可表示为

$$k_s(\alpha, \beta, \gamma, t) = f_s[k_u(\alpha, \beta, \gamma, t)]. \quad (6)$$

最后对留下的不稳定性变量, 利用式(6)并由协同学结论可得到如下微分方程^[4]:

$$k_u' = -\lambda_u k_u - \sigma k_u^n + F. \quad (7)$$

其中 F 表示来自外部或内部的各种涨落力(干扰), 如果 F 可以忽略的话, 则式(7)变为 Bernoulli 方程. σ 反映系统的动力学特征. λ_u 为阻尼系数, 当 $\lambda_u \rightarrow 0$ 时, 我们可以观察到所谓临界慢化现象. 设在不考虑外力的条件下, 式(7)的解为 k_u , 则令

$$k_1 = \left| \frac{k_u - F}{k_u + F} \right|, \quad (8)$$

于是 $k_2 = 1 - k_1$. 可以看出, k_1 随着 F 的增加而减小, 当 $F \rightarrow 0$ 时, $k_1 = 1$, 当 $F \rightarrow \infty$ 时, $k_1 \rightarrow 0$.

2.3 应用实例

社会理性(竞争, 合作现象)在生物学中起着核心的作用. 我们要回答的问题是, 社会理性是如何决定一个群体的大小的; 有多少个不同种类的群体能够共存.

虽然我们无法描述群体中每一个 Agent 的命运, 但群体的大小(个体的数目)是一种“宏观”性质, 起着序参量的作用, 至少在平均意义下, 个体数目真正控制着每个 Agent 的命运. 设组成群体的个体数目为 n (n 是时间 t 的函数), 出生率为 g , 死亡率为 d , 则个体数目的变化率为

$$\dot{n} = g - d. \quad (9)$$

显然, g 和 d 与 n 提供的食物变化率 p_1 , 温度变化率 p_2 , 气候 p_3 及其他环境因素有关, 为讨论方便, 我们只考虑 n 和 p_1 对 g 和 d 的影响, 设

$$g = \alpha(n)n, \quad (10)$$

$$d = \beta(n, p_1)n. \quad (11)$$

如果 $p_1 = 0$ (食物供应量是一定的), 则由于食物资源的减少而导致 β 正比于 n ($\beta = kn$), 所以将式(10)和式(11)代入式(9)得

$$\dot{n} = \alpha(n)n - kn^2. \quad (12)$$

当考虑外力时, 式(12)变为

$$\dot{n} = \alpha(n)n - kn^2 + F. \quad (13)$$

这就是第 2.2 节讨论的式(7).

如果不同群体以不同类型的食物为生, 而且互不干扰, 那么这些群体是可以共存的, 在这种情况下, Agent 社会理性的权重系 k_2, k_1 就是式(12)的解按式(8)构造的. 然而, 如果不同种类的群体以相同的食物为生, 或靠相同的生存条件为生, 或靠对方的存在为生, 此时问题就变得非常复杂. 这样的例子有很多. 以吃野兔为生的山猫为例, 如果山猫和野兔都能共存的话, 会产生一个周期, 当山猫太多时, 野兔会被大量吃掉, 于是山猫减少, 这就允许野兔数目增加, 给山猫提供了较多的食物, 山猫数目又回升. 这个问题如果按随机办法处理, 就会产生一个严重的问题, 即山猫和野兔群体都将面临灭绝的危险. 所以, 山猫和野兔的社会理性权重系数之间存在着复杂的关系.

尽管 Agent 的行为极其复杂, 而无法进行“微观”描述, 但对于了解合作行为的“宏观”性质来说, 协同学的序参量模型^[5]肯定是非常有价值的, 对它还可以作一系列的推广.

3 结束语

研究理性的意义在于: 在形成规划的过程中, 当出现死锁(争夺资源)、出现分支(知识缺乏)、出现噪音(偏离目标、知识不一致等)、组合爆炸(知识是完备的, 但挖掘困难)等情况时, 如何使规划正常进行下去.

在理性条件下计算联合所得效用的关键是确定 Agent 的个性化程度 k_1, k_2 . 本文根据协同学原理给出了 k_1, k_2 的计算框架, 分为 4 步: 近似线性化、确定序参量、使用支配原理建立微分方程和解微分方程.

不同类型的 Agent 的社会理性策略是不同的. 一般将 Agent 结构体系分为 3 类: 慎思型、反应型和混合型. 本文只讨论了慎思型 Agent 的社会理性, 其他类型的 Agent (反应型和混合型) 的社会

理性将另文继续讨论.

References:

- [1] Jennings, N. R. Agent-Based computing: promise and perils. In: Proceedings of the IJCAI-99 (International Joint Conference on Artificial Intelligence). Sweden; Stockholm, 1999. 1429~1436.
- [2] Wooldridge, M. Temporal belief logical for modeling distributed artificial intelligence system. In: John, W., ed. Foundations of Distributed Artificial Intelligence. 1996. 314~320.
- [3] Hogg, L. M., Jennings, N. R. Social rational agents-preliminary Thoughts. In: Proceedings of the 2nd Workshop on Practical Reasoning and Rationality. UK; Manchester, 1997. 160~162.
- [4] Haken, H. Synergetic. Xi'an: Shanxi Public of Technology and Science Press. 1987. 68~190 (in Chinese).
- [5] Cheng, Xian-yi, Shi, Chun-yi. Agent is order-parameter which made system become order from no-order state. Computer Science, 2000,27(7):69~71 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [4] 哈肯. 协同学讲座. 西安:陕西科学技术出版社(宁存政等译). 1987. 68~190.
- [5] 程显毅,石纯一. Agent 是系统从无序到有序的序参量. 计算机科学,2000,27(7):69~71.

Research on the Socially Rationality of Agent*

CHENG Xian-yi¹, SHI Chun-yi²

¹(College of Computer Science and Communication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 202013, China);

²(Department of Computer Since and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

E-mail: chengxianyi@263.net

http://www.jsust.edu.cn

Abstract: MAS (multi-agent system) is a sociality which is composed of many autonomy agents. Under the social background, realizing the goal of MAS depend on social rationality of agent. Although Jennings has presented a mode of social rationality, he doesn't obtain the method of computing socially rationality. In this paper, a new computed framework of social rationality is constructed based on the principle of synergetic and point the physical significance of parameters. The authors shell parameter's computing divide into four steps: approximate linear, define order parameter; built differential questions and solve to it.

Key words: rationality; synergetic; agent; MAS; order parameter

* Received October 11, 2000; accepted July 5, 2001

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No. 69773023