

MAS 中合作机制的研究

Cooperation mechanism in MAS

丁晓明 刘博勤

(西南师范大学计算机系 重庆 400715)

Abstract Among the autonomous intelligent agents in MAS (Multi-Agent System), the cooperation is hard to be realized. In this paper, a cooperation mechanism based on the network coordinate computing is proposed. It realizes the cooperation among the agents by sharing the works and bidding on the tasks, and coordinates the actions of the agents by the deposit and the price of the labor force. A system model is built on this cooperation mechanism.

Keywords DAI, MAS, Cooperation, Network coordinate computing

目前,分布式人工智能(DAI:Distributed Artificial Intelligence)的主要研究方向是开放的多智能体系统(MAS:Multi-Agent System)、通用的 DAI 算法以及建立实际应用系统。在 MAS 方面,对独立自治智能体的合作行为的研究,可以为建立更为复杂的分布式人工智能系统提供依据。在 MAS 中,Agent 群体合作行为的优化程度,以及这种合作行为是否具有自适应性,不但直接关系到整个系统的性能和开放性,而且也是衡量系统智能水平高低的标志。

网络学习算法^[6]类似。但我们的算法并不强调贝叶斯网和某种特定的神经网络的联系,也不采用 $(1+e^{-x})^{-1}$ 函数作为非线性模型,并且不假定各条件概率是正态分布。因此,我们的模型更为一般化。采用概率空间距离定义,则得到统计类的学习算法,(标准 EM 算法是其特例)。因此,我们的学习算法模型实际上可以统一地表示贝叶斯网的两大类学习算法。

还有,我们提出的模型兼顾新数据和已有模型的影响,因此有利于导出在线参数学习算法。作为进一步的研究,我们有以下三个问题待解决:1)依据本文的学习算法模型,构造在线学习算法;2)采用另外的距离度量,导出其它学习算法;3)深入分析和比较由本文模型所得出的各类学习算法的联系及性能差异。

• 54 •

1 合作产生的困难

多智能体系统所针对求解的问题,是个体行为所难以胜任的复杂工作,即任务在时间或空间上的复杂性超越了个体能力,使任何依靠个体行为的实现成为不可能或不经济,合作成为必不可少的行为。然而,在没有集中控制的情况下,独立自治的 Agent 只追求自身的最大利益,自发地形成合作是十分困难的。至少有如下两个方面的因素会影响自发的合作能否产生。

参考文献

- 1 Heckerman D, Wellman M. Bayesian networks. CACM, 1995, 38(3): 27~30
- 2 Buntine W L. A Guide to the literature on learning probabilistic networks from data. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 1996, 8: 195~210
- 3 Thiesson B. Accelerated quantification of bayesian networks with incomplete data. In: Proc. of First Intl. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. Montreal, Canada, August, 1995. 306~311
- 4 Cover T M, Thomas J A. Elements of Information Theory. Wiley, 1991
- 5 Dempster A, et al. Maximum likelihood from incomplete data via EM algorithm. Journal of the Royal Statistical Society, 1997, 39(series B): 1~38
- 6 Neal R M. Connectionist learning of belief networks. Artificial Intelligence, 1992, 56: 71~113

首先,合作是否会带来群体的优化。合作的形成往往会牺牲个体的最优利益(至少在近期利益上),从而造成合作的困难,著名的两囚犯问题[Axelrod & Hamilton 1981]已对这种困难作出了充分的说明。在一群独立自治的 Agent 中,当 Agent 能够根据当前状态和历史信息来决定自己所采取的行动,并能认识到在当前或长远利益上合作比不合作要好时,合作行为可能成为 Agent 共同的选择。

其次,合作会产生相关的附加费用,在考虑这些费用的情况下,MAS 中的每个 Agent 能够对合作与不合作作出效用分析。合作的附加费用公式为:

$$Cost_{coop} = Cost_{comm} + Cost_{dec} + Cost_{sync}$$

其中, $Cost_{coop}$ 为合作的总附加费用, $Cost_{comm}$ 为通信费用, $Cost_{dec}$ 为决策费用, $Cost_{sync}$ 为同步费用。

合作的效用 U_{coop} 可用下列公式描述:

$$\begin{aligned} U_{coop} &= P \cdot U_{succ} + (1-P) \cdot U_{fail} \\ &= P \cdot (B_{coop} - Cost_{coop}) + (1-P) \cdot (-Cost_{coop}) \\ &= P \cdot B_{coop} - Cost_{coop} \end{aligned}$$

其中, U_{succ} 为合作成功的效用, U_{fail} 为合作失败的效用, B_{coop} 为合作成功的收益, P 为合作成功的概率。从而 Agent 合作与不合作的效用差 ΔU 为

$$\Delta U = U_{coop} - U_{non-coop} = P \cdot B_{coop} - Cost_{coop} - U_{non-coop}$$

其中, $U_{non-coop}$ 为 Agent 采用不合作策略的效用。可见一个 Agent 参与合作的条件是其 $\Delta U \geq 0$ 。

2 网络协同计算合作机制

合作的形成与优化意味着系统整体性能的提高,在 MAS 系统研究中,促使 Agent 形成大规模和复杂合作行为的方法受到广泛研究,促进合作从而提高系统性能的方法主要有以下几种:

1) 减小 $U_{non-coop}$ 。这涉及 MAS 系统的应用背景的选择。当个体的独立行为成为不可能, $U_{non-coop} = 0$, 合作成为 Agent 追求利益的必须行为。但是,在更具一般性的领域中 Agent 可以在合作与不合作间作出选择。

2) 增大 P 。合作成功概率 P 不仅由自治 Agent 多样性的行为所决定的,从某种意义上,它也与共享资源的分配及其它外界环境因素有关。通过如社会规则(social law)和类市场等机制使系统范围内共享资源的分配在 Agent 间趋于均衡,可增大 P 。

3) 减小 $Cost_{coop}$ 。过多的通信其结果不但直接导致系统整体性能的下降,同时也是合作失败的原因之一,过大的通信延迟一方面导致 $Cost_{coop}$ 增大,也使信息的有效性下降了,因为环境可能在通信时发

生改变。复杂的决策算法也可能产生与上述类似的后果。同步开销 $Cost_{sync}$ 经常与问题求解过程直接相关,在较大程度上它决定于问题的分化和求解方法。

网络协同计算合作机制主要通过协调系统中不同分工的 Agent 的比例与环境的平衡关系,以增大合作成功率 P ,从而提高系统性能。

在一个如 Internet 的大型网络中,计算资源通常是私有的和有偿使用的。这需要一种足够灵活的机制来适应开放性和多变性的要求。在由网络连接起来的若干私有计算机环境中,当遇到一个超出它们自身计算能力的大型计算问题时,如果不能形成协同计算,计算问题将不能被解决。

然而计算资源的私有使我们必须抛弃命令式的集中控制,而去寻找一种非强制性的合作机制以适应上述要求。在传统模式的协同计算系统中,往往存在集中控制结构来规划整个系统中计算资源的分配,其前提是子系统的绝对服从和数据的全局化,这样的模式对于由不固定的独立自治子系统所组成的系统是无能为力的。当假设 Agent 是具有交互能力并拥有一定计算资源的智能子系统时,一个全局规划问题,变成了众多 Agent 的局部规划以及它们之间的交互。

2.1 分工

当合作产生时,同时也产生了分工。当两个 Agent 合作完成一个任务时,表面上两个 Agent 的工作似乎没有什么区别,但实际上两个 Agent 所承担的风险有着本质的不同。第一个承诺完成任务的 Agent 在负有与第二个 Agent 同样责任的同时,还承担着合作失败的风险,而第二个 Agent 无须承担风险,因为它对任务的承诺将必然导致合作的成功。本文研究一种最基本的分工形式:每个 Agent 可以在承包者 Bider 和工人 worker 中选择其一,即任何 Agent 都可以选择承包一个系统中未被承包的任务,或是选择为某一承包者充当工人。

分工通常和一定的能力相联系。当一个 Agent 可以在力所能及的不同工种中作出选择时,合作的成功的必要条件是任务的不同分工均被 Agent 承诺承担。由于 Agent 只追求效用最大,因此需要引入一些协调机制来调节 Agent 的行为,以达到宏观上的有序和平衡。

2.2 定金

协调机制之一是支付定金。在每个 Agent 进行决策时,必须考虑其可能行为的风险。对于一个任务 T 承诺次序的不同导致承担风险的差别,这种差别

应在利益的分配中有所体现。对于 Worker 来说, 它的收入由系统中统一的劳动力价格所确定, 它不承担合作失败的风险, 因为即使 Bider 在规定时间内未招满 Worker 而导致合作失败时, Worker 仍然得到了定金的补偿。对于 Bider 来说, 一个任务只有一个 Bider, 它可以占有 Worker 的剩余价值, 同时承担合作失败的风险。当 Bider 对一个任务 T 作出承诺后, 它就开始招募 Worker, 并付给每个 Agent 定金 E, 以弥补合作失败可能给 Worker 带来的损失。定金 E 的计算公式为:

$$E = \text{Biding_Time} \cdot \text{Labor_Price}$$

2.3 劳动力价格

劳动力价格是指在单位时间内 Worker 工作的收入, 它调节的是 Worker 与 Bider 的相对数量。但是实际上 Bider 与任务一一对应, 而 Worker 反映了完成任务所需的计算资源, 因此劳动力价格实质上是调节计算资源在各个任务上的分配。

劳动力价格 Labor_Price 不是一个固定值, 它根据系统中的劳动力总数 Agent_Num 和现已被承包的任务所需劳动力的总数 need_wker 而变化, 可以为劳动力价格的增长设定一个固定的步长来控制。

3 系统模型

借用一种简单而灵活的合作形式, 由外部环境(任务)来触发一次合作的产生, Agent 仅由于某一任务而结合在一起, 合作完成后即分开。系统中的所有任务通过一个任务报告板公布, 每个任务记录的内容包括: 完成任务所需人数、完成任务所需时间、承包者 Bider、空缺位置等。结构描述为:

```
typedef struct task{
    int      iTask_No;           所需工人数量
    int      iWorker_num;       所需劳动时间
    long     lWork_time;        空缺位置数量
    int      iFree_pos;
    AGENT    *aBider; 指向承包者的指针
    ...
};
```

系统假设由独立自治的 Agent 所组成, 系统中不存在集中控制, 每个 Agent 都是理性的, 只追求个人效用的最大化, 系统中的 Agent 均为同构的, Agent 具有相同的能力。每个 Agent 的结构描述为:

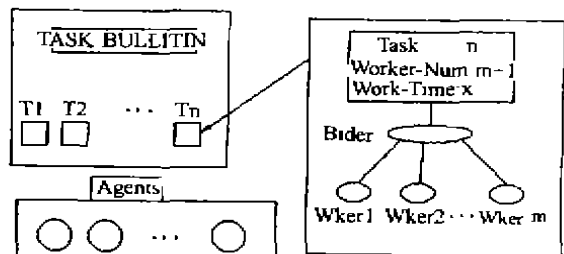
```
typedef struct agent{
    int iAgent_no;
    int iAgent_stat; Agent 状态, 包括:
    (DECIDING, DEALINGFAIL, COMMITMENT, ...);
    int iCapital;
```

```
int iPrice; Agent 承诺时的劳动力价格
int iTask_no; 承诺任务的编号
int iMaster;

int iDecision; 决策的结果
int iHistnode; 指向当前历史记录指针
HISTORY hRec[RECORD_NUM];
历史记录
.....
```

AGENT;

系统结构图如下:



结束语 在网络协同计算的背景下, 如果不存在集中控制, 提高合作成功率是提高系统性能的主要手段。通过 Agent 分工及任务招标的机制, 并借助定金及劳动力价格等调节因素, 可以较好地实现计算资源——Agent 在系统中的合理分配, 从而提高系统性能。模拟实验的结果表明了这种合作机制是成功的。

参考文献

- 1 Cammarata S. Strategies of Cooperation in Distributed Problem Solving. IJCAI83
- 2 Durfee E H. A Decision Theoretic Approach to Coordinating Multiagent Interaction. IJCAI91
- 3 Malone T W, Fikes R R. Enterprise: A Market-like Task Scheduler for Distributed Computing Environment. In: Huberman B A, ed. The Ecology of Computation. North-Holland, 1988
- 4 Rosenschein J S. Rational Interaction: Cooperation among Intelligent Agents. [Ph D thesis], Stanford U, 1986
- 5 Rosenschein J S. Communication-Free Interaction Among Rational Agents: A Probabilistic Approach. WS DAI, 1988
- 6 Rosenschein J S, Genesereth M. Cooperation Without Communication. In: Readings in DAI, 1986
- 7 Werner E. Distributed Algorithms for Cooperating Agents. In: Hubman M N, ed. WS DAI, 1990