

文章编号:1001-9081(2007)04-0942-03

一种强调私密性的多智能体协商模型

韩 伟, 韩忠愿, 苏杭丽

(南京财经大学 信息工程学院, 南京 210046)

(dallashw@gmail.com)

摘 要:提出一种更具私密性的多智能体协商模型;基于经济学边际效用的概念建立了基于市场交互机制的协商算法。每个智能体不需向市场智能体发送原料需求信息,只需发送对某种原料边际效用的符号信息;市场智能体作为中间人运行定价算法和分配算法对原料进行定价和分配。仿真结果表明本文方法与已有方法性能相近,但是协商过程不会泄露商业机密信息,更符合分布式智能体的私密性要求。

关键词:多智能体系统;协商;市场机制;私密性

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Multi-agent negotiation model with emphasis on privacy

HAN wei, HAN Zhong-yuan, SU Hang-li

(School of Information Engineering, Nanjing University of Financial and Economics, Nanjing Jiangsu 210046, China)

Abstract: A market-mechanism-based multi-agent negotiation model with emphasis on agents' privacy was put forward. Agent just sends a symbol of its marginal utility and needs not to send its demand of raw materials. The market agent summarizes the individual information by running pricing algorithm and allocation algorithm, and returns the summarized result to agents. The simulation results prove that the negotiation results is similar to present methods, but negotiation process is more confidential, thus satisfies the requirement of distributed autonomous agents.

Key words: multi-agent system; negotiation; market mechanism; privacy

0 引言

多智能体的协商问题是多智能体系统(Multi-Agent System, MAS)研究的重要课题。在多智能体系统领域,研究者一方面是在个体层面上构造复杂的具有慎思行为的智能体,另一方面是研究智能体之间的交互机制^[1]。目前,多智能体环境下的交互机制及问题求解研究在很大程度上借鉴了人类社会的组织智能,如文献[2]提出的任务的合同网求解模型,文献[3,4]提出的基于拍卖的交互机制,文献[5]提出的科学委员会模型,文献[6]提出的基于博弈论的策略协商模型。与其他交互机制相比,市场机制具有信息私密性、个体理性、收敛性等适合多智能体建模的天然优势。文献[7,8]提出了基于市场交互机制的多智能体协商方法(Market Mechanism base Negotiation, MMN),该方法的优点是通过市场智能体扮演中间人将多对多的协商问题化解为一对多的协商,减少了协商的通信量,协商过程符合智能体的个体理性。具体到电子市场原料配置问题,每个企业智能体不必公布产品利润和原料持有等信息,较好地满足了信息保密性的要求。但是,为了能够对原料进行定价,企业智能体仍需向市场智能体发送需求信息,而需求信息作为敏感信息仍是企业不愿意透露的,这一方面是为了防止第三方的信息滥用,另一方面是担心需求信息被其余智能体截获、收集和分析。事实上,分布式环境下 MAS 系统的信息私密性研究越来越受到重视,文献[9]专门讨论了分布式求解的私密性问题,提出了不暴露任何个体信息的约束问题求解方法。本文基于边际效用的概念

提出一种比文献[8]的方法更具私密性的定价和分配算法,然后在此基础上建立基于市场机制的多智能体协商模型,称为 MUMMN (Marginal Utility based Market Mechanism Negotiation)。

1 电子市场原料配置问题

我们采用文献[1]提出的电子市场原料配置模型,原材料电子市场中每个企业生产若干种商品,每种商品需要耗费不同的原料。由于产品市场处于动态变化中,且企业也在不断调整价格策略,因此企业生产每种商品得到的利润也不相同。但是无论产品市场和原料市场以及产品类型怎样变化,企业的目标是在给定约束下安排生产以最大化生产利润,这些约束包括企业所持有的原材料和诸如污染物排放、市场需求等外部因素的制约。

定义 1 一个原料配置模型是一个五元组 $\langle PLANTS, PRODUCTS, RESOURCES, UTILITY, CONSTRAINTS \rangle$ 其中:

$PLANTS = \{pl_1, pl_2, \dots, pl_n\}$ 表示的 n 个生产企业,每个企业可以看作是智能体。

$PRODUCTS = \{products_1, \dots, products_n\}$ 。其中 $products_i = \{product_{i1}, \dots, product_{im_i}\}$ 表示由 pl_i 生产的 m_i 种产品。需要说明的是,因为每个企业的技术水平不同,可能生产同一种商品需要的原材料与单位商品的利润均不同,所以将由不同企业生产的同一类商品也看作不同商品。

$UTILITIES = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$, U_i 是 pl_i 的效用函数。 $U_i(z_{i1}, \dots, z_{im_i})$ 表示企业 pl_i 在生产组合 $(z_{i1}, \dots, z_{im_i})$ 下的利

收稿日期:2006-10-23;修订日期:2006-12-20

基金项目:江苏省高校自然科学研究资助项目(05KJD520080);江苏省“青蓝工程”项目联合资助项目

作者简介:韩伟(1975-),男,山东济南人,讲师,博士,主要研究方向:人工智能、多智能体系统、电子商务;韩忠愿(1963-),男,湖南怀化人,教授,博士,主要研究方向:智能 CAD、分布式系统;苏杭丽(1973-),女,山东威海人,讲师,博士,主要研究方向:分布式计算。

润, z_{ij} 表示 $product_{ij}$ 的产量。

$RESOURCES = \{res_1, \dots, res_m\}$ 表示 m 种原料。

$CONSTRAINS = \{C_production, C_pollution, C_resources\}$ 表示生产规划的约束条件, $C_production, C_pollution, C_resources$ 分别表示产量、污染和原料的约束集合。

假设原料价格向量 $p = (p_1, p_2, \dots, p_m)^T$, 单位产品的利润向量 $u_i = (u_{i1}, \dots, u_{im})^T$ 。企业 i 原料使用向量:

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mm} \end{bmatrix}$$

决策变量为生产组合 $y_i = (y_{i1}, \dots, y_{im_i})$, 利润函数 $U_i(y_i) = y_i u_i - y_i R_i p$ 。

可以建立生产决策规划模型:
$$\begin{cases} \max U_i(y_i) \\ y_i R_i \leq C_res_i \\ 0 \leq y_i \leq C_pro_i \end{cases}$$

其中, $C_res_i = (b_1, \dots, b_m)^T$ 为企业所持有的最大原料数; $C_pro_i = (c_1, \dots, c_{m_i})^T$ 为最大市场需求或者最大生产能力。

2 基于边际效用的定价方法

定义2 价格 p 下智能体 i 对原料 j 的正向边际效用定义为:

$$k_{ij}^+ = U_i(y_i)^{j+} - U_i(y_i)$$

其中, $U_i(y_i)$ 为生产规划
$$\begin{cases} \max U_i(y_i) \\ y_i R_i \leq C_res_i \\ 0 \leq y_i \leq C_pro_i \end{cases}$$
 求得的最大

效用; $U_i(y_i)^{j+}$ 为将原料约束 C_res_i 的第 j 个分量 b_{ij} 增大一个单位后生产规划求得的最大效用。

定义3 价格 p 下智能体 i 对原料 j 的负向边际效用定义为:

$$k_{ij}^- = U_i(y_i) - U_i(y_i)^{j-}$$

其中, $U_i(y_i)$ 同定义8; $U_i(y_i)^{j-}$ 为将原料约束 C_res_i 的第 j 个分量 b_{ij} 减小一个单位后生产规划求得的最大效用。

定义4 价格 p 下, 根据每个企业智能体 i 对原料 j 的正向边际效用 k_{ij}^+ , 将智能体划分为两个集合 A_j^+, A_j^0 , 分别定义如下:

$$A_j^+ = \{i \mid k_{ij}^+ > 0\}, \quad A_j^0 = \{i \mid k_{ij}^+ = 0\}$$

性质1 若智能体运行生产规划决定产品组合, 则智能体 i 对原料 j 的正向边际效用 k_{ij}^+ 随该原料的价格 p_j 增大而减小, 反之亦然。

仿真实验中采用表1中第1个智能体(企业1)的数据, 智能体1对4种原料的初始持有均为80, 给定其余原料的价格均为10, 分别测试智能体1对四种原料的边际效用, 得到结果如图2所示(原料2曲线与原料1的曲线相重合)。

表1 电子市场中三家企业的利润及原料使用情况

	企业1			企业2			企业3		
	产品1	产品2	产品3	产品1	产品2	产品3	产品1	产品2	产品3
利润	200	100	500	100	200	500	100	100	200
原料1	0	0	2	2	3	0	0	4	1
原料2	2	0	0	2	0	5	0	0	0
原料3	2	0	4	0	9	0	3	2	0
原料4	0	6	0	2	0	7	0	0	2

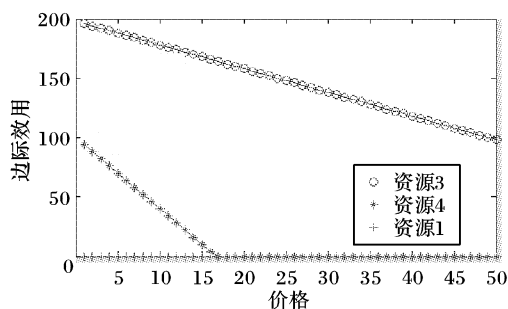


图1 四种原料的边际效用随价格升高而减小

性质2 若智能体运行生产规划决定产品组合, 则智能体 i 对原料 j 的正向边际效用 k_{ij}^+ 随 i 所持有的原料 j 的数目 res_{ij} 增大而减小, 反之亦然。

证明 分三种情况讨论:

(1) 若某一产品只消耗原料 j , 则智能体 i 对原料 j 的边际效用 k_{ij}^+ 为常数, 如表1中智能体1对原料4。

(2) 若原料 j 为智能体 i 的瓶颈原料, 即生产规划中起作用的约束为 $\sum_{i=1}^k y_i R_{ij} \leq C_res_{ij}$, 则 k_{ij}^+ 为常数。如表1中对智能体1来讲, 原料2富余, 原料3构成实际约束, 则增大一个单位的原料3, 效用增加50。

(3) 若原料 j 不是智能体 i 的瓶颈原料, 即生产规划即使将约束条件 $\sum_{i=1}^k y_i R_{ij} \leq C_res_{ij}$ 放宽为 $\sum_{i=1}^k y_i R_{ij} \leq C_res_{ij} + 1$, 智

能体效用没有改变, 则 k_{ij}^+ 为0。

若保持其余原料的价格和数量不变, 智能体所持有的原料 j 增大后, 处于情况(2)的智能体会转到情况(3), 处于情况(1), (3)的智能体仍处于(1)和(3)。证毕。

由定义2和定义3可以看出, 负向边际效用曲线 k_{ij}^- 可以通过正向边际效用 k_{ij}^+ 的曲线向左平移一个单位得到。因此, k_{ij}^- 与 k_{ij}^+ 有相同的性质。

性质3 若智能体运行生产规划决定产品组合, 则智能体 i 对原料 j 的负向边际效用 k_{ij}^- 随 i 所持有的原料 j 的数目 res_{ij} 减小而增大, 反之亦然。

证明 分三种情况讨论:

(1) 若某一产品只消耗原料 j , 则智能体 i 对原料 j 的负向边际效用 k_{ij}^- 为常数, 如表1中智能体1对原料4。

(2) 若原料 j 为智能体 i 的瓶颈原料, 即生产规划中起作用的约束为 $\sum_{i=1}^k y_i R_{ij} \leq C_res_{ij}$, 则 k_{ij}^- 为常数。如表1中对智能体1来讲, 原料2富余, 原料3构成实际约束, 则减小一个单位的原料3, 效用减小50。

(3) 若原料 j 不是智能体 i 的瓶颈原料, 减小1个单位的原料 j 后, 会出现两种可能。

(a) 原料 j 有可能变为瓶颈约束, 转情况(2)。

(b) 智能体效用没有改变, k_{ij}^- 为0。

以上三个性质表明了原料价格和原料数量对智能体边际效用的影响, 本文的方法正是基于这三个性质提出的: 正向边

际效用能够表达智能体对原料的需求情况,可以通过增加原料直到正向边际效用降低为 0 或者原料分配完毕(性质 2 中情况(1))来提取需求信息;负向边际效用表明了智能体持有资源的富余情况,可以通过减少原料直到负向边际效用增大为正数来提取供应信息。考虑到边际效用的信息为私密信息,企业智能体不愿意暴露给其他智能体,本文的方法只需企业智能体根据边际效用发送一个标号信息。

基于边际效用的市场机制协商方法分为企业端(算法 1)和市场端分别表述,而市场端包括定价算法(算法 2)和原料分配算法(算法 3)。

算法 1 企业智能体端协商步骤

企业智能体终端:

- 1) 观察现有价格 p 。
- 2) 运行生产规划算法,对每种原料 j 计算 k_{ij}^+ 。
- 3) 若 $k_{ij}^+ > 0$,向市场智能体发送“+”标志符,否则发送“0”标志符。

算法 2 市场智能体端原料定价算法

- 1) 接受每个智能体发送的标志符,根据标志符号分别将智能体划入集合 A_j^+ 和 A_j^0 ($j = 1, \dots, m$)。

- 2) 对 A_j^+ 中每个智能体 i :

$demand_{ij} = 0$

while ($k_{ij}^+ > 0$) and ($demand_{ij} \leq max_res_j$) do

{ $demand_{ij} = demand_{ij} + 1$;

智能体 i 所持有的原料 j 增大一个单位;}

// 带有询问性质,意即假设智能体 i 能够得到一个单位的原料,看其是否还需要更多的原料。并非实际分配 1 个单位的原料给智能体 i //

- 3) 计算所有智能体对原料 j 的需求 $dem_j = \sum_{i \in A_j^+} demand_{ij}$ 。

- 4) 对 A_j^0 中每个智能体 i :

$Supply_{ij} = 0$

while ($k_{ij}^- = 0$) and ($Supply_{ij} \leq max_res_j$) do

{ $Supply_{ij} = Supply_{ij} + 1$;

智能体 i 所持有的原料减小一个单位;}

// 带有询问性质,意即假设智能体 i 减少一个单位的原料,看其是否还能继续减少原料,智能体 i 实际持有原料并不减少 //

- 5) 计算所有智能体对原料 j 的供给 $Sup_j = \sum_{i \in A_j^0} Supply_{ij}$ 。

- 6) if $dem_j > Sup_j$ then $p_j = p_j + 1$

else if $dem_j < Sup_j$ then $p_j = p_j - 1$

- 7) 执行 1) ~ 6) 直到最大步数或者 p_j 不再变动。

以上定价程序给出的价格接近均衡价格,在这个价格下供需关系能够达到基本平衡。基于这个价格,市场智能体利用分配算法对原料进行实际分配。

算法 3 市场智能体端原料分配算法 (Resources Allocation Algorithm, RAA)

- 1) 按照算法 2 的 4) 计算 $Supply$ 。

- 2) while $Supply > 0$ do

for 每个企业 $i \in A_j^+$

给企业 i 增加一个单位的原料持有,直到其对该原料的正向边际效用为 0。

3 MUMMN 仿真

仿真试验采用文献[8]的数据。每个智能体初始持有的每种资源数为 5000。MUMMN 中“一个单位”意即每次分配的最小资源数,这里取 5。10 次仿真的对比结果如图 2 所示。

由于 MUMMN 和 MMN 方法都是基于市场机制的优化方法,因此在效果上并无明显差异。但是 MUMMN 方法在具体实现上比 MMN 方法更具私密性。仿真实验还表明:MUMMN

的通信代价高于 MMN,MMN 方法在 150 个回合(所有企业智能体与市场智能体的协商回合之和)的协商后能取得图 2 的效果,但是 MUMMN 方法在 2000 个回合后取得图 2 的效用。减小协商通信量的方法是改变 MUMMN 方法中“一个单位”的定义,在协商初始阶段使用较大的资源量作为“一个单位”,而在协商后期使用较小的资源量。

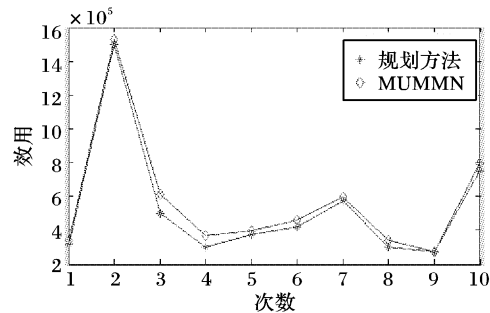


图 2 Agent1 在规划方法和 MUMMN 下的利润对比

4 结语

多智能体系统的协商可以分为一对多和一对一协商两种类型,一对一的协商更强调智能体的推理能力和协商能力,在智能体数目较多时,一对一协商实现也较为复杂。与一对一的协商求解机制相比,一对多的协商问题求解更强调机制上的智能,即具有局部目标的智能体通过一个交互机制能够得到较满意的全局求解结果。结合具有一般研究意义的电子市场原料分配问题,为适合分布式环境下智能体的信息私密性要求,本文在文献[8]工作的基础上提出并验证了基于边际效用的多智能体协商方法。但本文提出的方法通信开销较大,今后主要的工作是研究降低通信开销的方法。

致谢 感谢华东师范大学研究生院给予本文的资助和王成道教授对本文的指导。

参考文献:

- [1] 刘际明. 多智能体原理与技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003. 10 - 11.
- [2] DAVIS SR. Negotiation as a metaphor for distributed problem solving[J]. Artificial Intelligence, 1983, 20(1): 63 - 109.
- [3] FATIMA S, WOOLDRIDGE M, JENNINGS NR. Sequential auctions for objects with common and private values[A]. Proceedings of 4th Int Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems[C]. Utrecht, Netherlands, 2005. 635 - 642.
- [4] WURMAN PR, WALSH WE, WELLMAN MP. Flexible double auctions for electronic commerce: Theory and implementation[J]. Decision Support Systems, 1998, 24(1): 17 - 27.
- [5] CONRY SE, MEYER RA, LESSER VR. Multistage negotiation in distributed planning[A]. Readings in Distributed Artificial Intelligence[C]. California: Morgan Kaufmann Publishers, 1998. 367 - 388.
- [6] KRAUS S, SCHECHTER O. Strategic-negotiation for sharing a resource between two agents[J]. Computational Intelligence, 2003, 19(1): 9 - 41.
- [7] 韩伟. 电子市场环境下的多智能体学习与协商[D]. 博士, 华东师范大学, 2006.
- [8] 韩伟. 基于多智能体协商的电子市场原料配置模型[J]. 计算机应用, 2006, 26(12).
- [9] MAKOTO YOKOO, KOUTAROU SUZUKI, KATSUTOSHI HIRAYAMA. Secure distributed constraint satisfaction: reaching agreement without revealing private information[J]. Artificial Intelligence, 2005, 161(1 - 2): 229 - 245.