

基于对策论的 Multi-Agent 多边协商机制研究

张孟资, 徐国明

(陆军军官学院 计算中心, 安徽 合肥 230031)

摘要:针对决策支持系统中智能化程度低和协作困难的问题,特别是对多层次、多目标的决策困难问题,提出了基于对策论的 Multi-Agent 多边协商机制完成决策支持任务;探讨了基于对策论的多边协商机制,给出了 Agent 协商联盟的构成条件,提出了一个基于对策论的 Multi-Agent 多边协商机制,设计了基于 Multi-Agent 多边协商联盟的构成算法。该算法利用 Multi-Agent 的多边协商解决了多层次、多目标、多属性的竞争决策问题。最后通过算法验证实例证明了协商机制能更好地帮助用户进行决策,提高了决策系统的灵活性和准确性。

关键词:对策论;多 Agent;多边协商机制;决策支持系统

中图分类号:TP18

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)10-0051-04

Research on Multi-Agent Negotiating Mechanism Based on Game-theory

ZHANG Meng-zi, XU Guo-ming

(Computing Center of Army Officer Academy, Hefei 230031, China)

Abstract:To resolve the issues of the low level of artificial intelligence and the difficulty of collaboration in the decision support system, especially in multi-level, multi-objective decision-making, put forward the game-theory based Multi-Agent negotiation mechanism to accomplish the decision support task; Investigate multilateral consultative mechanism based on game theory, given Agent-Espace constitutes a game-theory based, design construction algorithm based on Multi-Agent multilateral consultative union. The algorithm uses the Multi-Agent multilateral negotiated settlement of the multi-level, multi-objective, multi-attribute competitive decision-making problem, and eventually testifies that by simulation experiment, the negotiation mechanism can better help users to make decisions.

Key words: game-theory; Multi-Agent; multilateral consultative mechanism; decision support system

0 引言

近年来,基于 Multi-Agent 的智能群决策支持系统(Intelligent Group Decision Supported System, IG-DSS)已成为当前决策支持系统研究的热点问题。通过利用人工智能中的 Agent 技术,提高决策的智能化程度,无论是军队还是企业的指挥决策的自动化、智能化都离不开 Multi-Agent 间的多边协作交互。

Rosenschein^[1]在对策论的基础上,提出了 Multi-Agent 多边协商的目标不一致情况的交互问题,给出了 Multi-Agent 的多边协商模型。为了应用多 Agent 体系的任务求解功能使得 Multi-Agent 自动结盟, Kraus^[2]等人基于对策论提出了联盟概念。

近几年国内外对基于对策论的 Agent 协商机制的研究,主要集中在各 Agent 是平等关系上的研究,Multi-Agent 处于相同层上,但是对多层次多目标的决策问题,基于 Multi-Agent 的平等关系不能很好解决该问题。文中提出了一个基于对策论的 Multi-Agent 多边协商机制,并设计了 Multi-Agent 多边协商联盟的构成算法。该算法利用 Multi-Agent 的多边协商解决了多层次、多目标、多属性的竞争决策问题。

基于对策论的 Multi-Agent 多边协商的成功与否,以发挥每个 Agent 的最大效益为基础,这也正是 Multi-Agent 多边协商所要达到的目的。而近几年研究也较多地关注诸如双边协商等几种协商方法,都是仅仅从系统的整体角度进行研究,利用 Multi-Agent 进行协商,没有从 Agent 个体和系统的整体协商角度去研究问题,而基于 Multi-Agent 的多边协商是充分利用 Agent 个体和 Agent 之间的协商,从而达到协商的最大效益,因而近几年国内外的研究热点逐渐转向

收稿日期:2012-01-25;修回日期:2012-04-27

基金项目:军内基金资助项目(pbx-2011-042)

作者简介:张孟资(1973-),男,副教授,研究方向为智能软件、计算机技术应用。

了研究基于对策论的 Multi-Agent 多边协商。

1 基于对策论的 Agent 协商机制

在传统的基于对策论的 Multi-Agent 协商机制中,多是采用多目标综合分优评判方法及零和二人对策方法。在 Multi-Agent 多边协商过程中,参与协商的各个 Agent 为了寻求自身的最优值或最大效益,相互之间是一个竞争的关系,该协商过程就是竞争与协作的互赢过程,对于参与的各 Agent 来说,它不是一个零和结果^[3]。

把参与协商的 Multi-Agent 所具有的多层次、多目标、多属性所组成的 Agent 集合称之为基于对策论的多边协商联盟 U,当然,组成联盟的 Agent 是随机的,对于联盟 $U = \{1, 2, \dots, n\}$ 中的每个 Agent,每一个联盟的形成方式是不同的。Agent 参加某个联盟是基于自己的利益,它根据自己的最大利益来决定参加哪个联盟。

在对策论的基础上,定义多 Agent 系统的协商机制 (Negotiating Mechanism Based on Game Theory, NMBGT)^[4]。该协商机制是一个面向多层次、多目标问题的协商机制。NMBGT 的某个协商过程一般是由不确定的 Agent 发起的,该 Agent 与一个或多个 Agent 协商线程的集合。将协商机制 NMBGT 定义为一个由 8 个属性组成的集合: { TD, PT, TA, AA, UA, TM, LA, OA, CA }。每个属性的定义见表 1。

表 1 NMBGT 协商机制属性表

属性	定 义
TD	Agent 协商线程
PT	基于对策论的 Multi-Agent 协商协议
TA	参与协商问题的协商主题的集合
AA	Agent 在协商中效用值的集合
UA	参与多层次、多目标协商过程的 Agent 集合
TM	以顺序排列的自然数表示的 GA 中各 Agent 参与协商的系统时钟
LA	协商主题的范畴集合,是参与协商 Agent 间的公共知识
OA	协商 Agent 集合 UA 中各 Agent 所属协商问题中的目标群体。由于 NMBGT 是研究多目标的群决策问题,因此每一个 Agent 都属于的一个研究的目标群体中
CA	协商 Agent 集合 UA 中各 Agent 所属协商问题中的层次级别。同 OA 一样,在 NMBGT 所研究的问题中,每一个 Agent 都属于所研究问题的层次划分中,因此每一个 Agent 都有自己的层次级别,它是其参与多 Agent 协商的一个重要属性

不同层次、不同属性的目标的某 Agent 可以就某个需协商的问题向其他 Agent 发出协商请求,该消息以广播的形式在 UA 中向每个 Agent 发送,对该协商问题感兴趣的 Agent 就接收请求,形成联盟 U,参与协商

的每个 Agent 在协商时提出对协商问题的期望值,各 Agent 在相互讨论和协商过程中给出自己的期望效益,并根据联盟所能给出的最大效益值来达到协商所能达到的共同认可的效益值,在这个过程中,Agent 相互妥协和协商,如不能达到共同认可的效益值,则协商过程结束。

NMBGT 协商过程如图 1 所示:

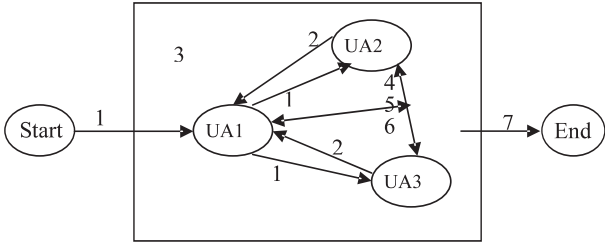


图 1 NMBGT 协商过程

图 1 中的 1~7 描述了协商的过程,其意义如表 2 所示:

表 2 NMBGT 协商过程序号含义

协商序号	意 义
1	某 Agent 提出协商主题,并向系统内所有的 Agent 广播这个信息
2	系统内某一 Agent 接收到广播信息,首先给出自己的期望效用值;并表明自己有参加该协商主题的意见
3	所有表明愿意参加该协商主题的 Agents 形成一个协商联盟 A,并同时获得该协商联盟 A 内所有 Agent 的初始期望效用值,在相互比较前给出对此协商主题的协商联盟内每一 Agent 的最低效用值
4	参与协商的 Agents 之间交换初始效用值,并获取此时的效用函数
5	协商联盟内 Agent 各自给出自己对该协商主题的对策
6	协商联盟内各 Agent 将就自己给出的对策来展开谈判出价,知道双方同意而接受获得一个该协商主题的对策
7	协商联盟内 Agent 之间难以得到相互的妥协,该协商联盟解除

在 NMBGT 协商过程中,第 i 个 Agent 通过与联盟中其他 Agent 交换对策及效用值进行协商,用三元组 (EN, VL, STM) 描述 Agent i 的协商结构:

EN: Agent 自身所包含的属性和及其所处环境。

VL: 参与该协商联盟的 Multi-Agent 在该协商情况下的效用值集。设协商联盟 U 中 $N = (1, 2, \dots, n)$, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 则 v_1 为协商联盟中 Agent 1 所具有的在该对策下的效用值。

STM: 协商策略模型用于表示各 Agent 在协商过程中的竞争和妥协。

基于对策论的 Multi-Agent 的多边协商过程就是

联盟中各 Agent 根据自身利益相互交流和妥协的过程,在此过程中,各 Agent 按照一定策略来响应来自其他 Agent 反馈回来的效益值,并根据自身的最大效益反馈给其他 Agent 一个对策,Multi-Agent 参与协商的过程也是一个连续决策的过程,因而最终形成的协商结果也是决策的最优解。

2 Multi-Agent 协商联盟的建立

Multi-Agent 协商的结果如何,源自于联盟的建立效果,也是 Agent 协商的必要条件。这里采用基于对策论的多边协商算法来建立多 Agent 系统的协商联盟^[5,6]。

在基于 Multi-Agent 的智能群决策支持系统中出现多目标、多层次、多属性的任务时,把需要参与决策的任务和属性组成一个联盟,然后利用 Multi-Agent 多边协商机制来求最优决策方案,把参与决策的任务和属性组成的群体称为 Multi-Agent 协商联盟^[7,8]。该 Multi-Agent 协商联盟的形式化描述如下:

对多目标、多层次、多属性组成的任务 T,将 n 个 Agent 组成的联盟称之为集合 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$,把 c_i ($c_i > 0$) 记做联盟中某个 Agent i 在参与任务 T 中的损耗量,得到的效益为 r_i ($r_i > 0$),得到一个损耗向量 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$,效益向量 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$,定义效益向量为:

$$p = R - C = \{r_1 - c_1, r_2 - c_2, \dots, r_n - c_n\} = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$$

把 A_m 记做 Agent 协商联盟的子集,则有 $A_m \subseteq A$,则所应有的效益向量为:

$p_m = \{p_{1m}, p_{2m}, \dots, p_{nm}\}$
其中: $p_i > 0$ ($a_i \in A_m$)
 $p_i = 0$ ($a_i \in A$, 且 $a_i \notin A_m$)
对于 $\forall a_i \in A$, a_i 所期望的协商联盟 A_k 应该满足:

$$p_{ik} = \max_{m_i} p_{im}$$

Multi-Agent 的智能群决策支持系统中参与任务的各 Agent 如何在多边协商和妥协下建立协商联盟,也正是 IGDSS 中寻求最优决策的问题。

3 基于多边协商算法联盟的建立

在文献[2]中,Kraus 引入了双边特征值的概念,并给出了双方结成联盟问题的算法,但该算法仅能处理双方联盟的问题。以 Kraus 提出的双边特征值为基

础,设计了一个在 IGDSS 中解决多目标、多层次、多属性的 Multi-Agent 联盟多边协商算法。

算法思想如下:当 IGDSS 需要完成一个任务 T 时,参与完成任务的各 Agent 组成一个多目标、多属性的联盟,该联盟由来自不同层次的多目标组成,目的是为了相互协商共同完成一个任务,但参与协商的各个 Agent 要根据自身的效益值和损耗值给出策略。任务发起者接收到来自不同层次和目标集所反馈回来的期望效益值和损耗值,根据任务策略,任务发起者将在限定的期限内向其他 Agent 反馈信息,并将所有参与协商任务的 Agent 按照层次和属性的不同分别组成联盟,记做集合 A_1, A_2, \dots, A_m 。组成联盟的各 Agent 根据任务发起者传递来的信息进行协商,联盟的建立与是否需要通过各 Agent 的多边协商加以确定,如果可以组成协商联盟,就发送给联盟中各个 Agent 可以建立的确切信息。各 Agent 收到联盟建立的信息后,将发送愿意参加建立联盟的回复给任务发起者,则该联盟建立,否则该联盟取消^[9]。将参与协商集合 A_i 中 Agent 的属性和层次的个数记做: $type(A_i)$, $|A_i|$ 记做 A_i 中 Agent 的个数。

基于多边协商算法的协商联盟形成过程如图 2 所示^[10,11],算法主要由以下几步完成:

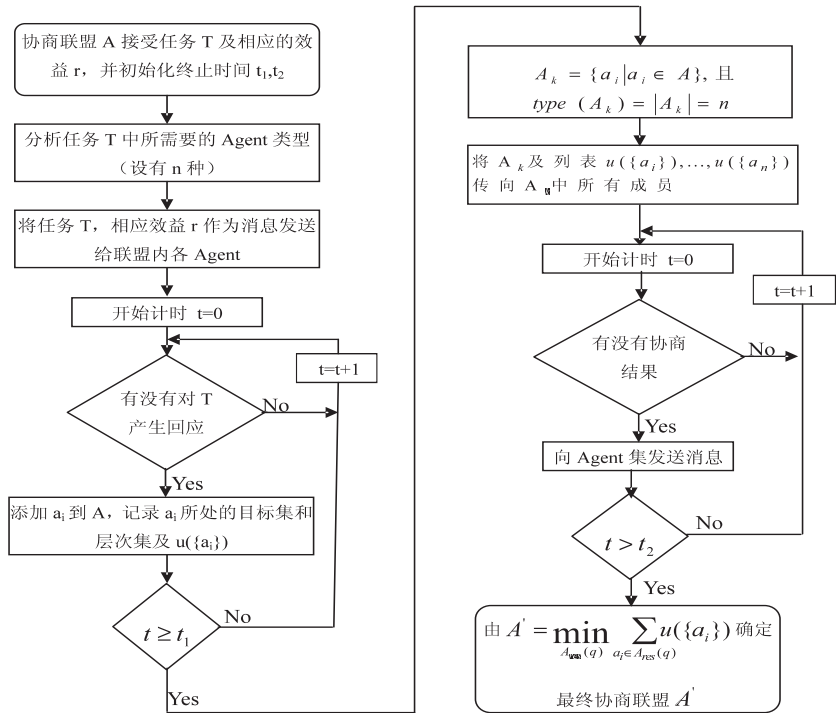


图 2 基于多边协商算法的协商联盟形成过程

(a) 协商联盟接收来自某个 Agent 的任务,以及给定的效益值 r,分析有目标 Agent 和属性 Agent 的个数 n;通过 Agent 系统通信,向系统中所有的 Agent 通知任务 T 和效益 r。

(b) 参与任务的 Agent 在限定时间内会主动收听

其他 Agent 的回应信息,并在限定的时间内进入步骤(c)。

(c)协商算法根据参与任务的联盟中回应的 Agent 个数进行组合,将组合后的 Agent 构成联盟,记做集合 A_1, A_2, \dots, A_m , 其中任何一个集合 A_k 都应当满足如下公式给定的条件:

$$A_k = \{a_i \mid a_i \in A\}, \text{ 且 } \text{type}(A_k) = |A_k| = n$$

即参与建立联盟的 Agent 类型数目与 Agent 的个数相等。

(d)将联盟中参与协商的所有 Agent 的给定效益集合 $u(\{a_1\}), u(\{a_2\}), \dots, u(\{a_n\})$, 以及集合 $A_k \{k = 1, 2, \dots, m\}$ 中的成员数目等信息反馈给每个属性 $a_i(a_i \in A_k)$ 。

(e)参与协商的各 Agent 等待联盟的多边协商结果 $A_k^{(i)}$, 把协商的最终结果分别记做 $A_{res}(1), A_{res}(2), \dots, A_{res}(n)$ 。在时间 t_2 内,把协商消息($A_{res}(q)$)($q = 1, 2, \dots, n$) 发送给所有参与协商的 Agent。

(f) 最终协商联盟通过公式 $A' = \min_{A_m(q)} \cdot \sum_{a_i \in A_m(q)} u(\{a_i\})$ 来选择,并将协商结果通知联盟的所有 Agent 成员。

4 算法验证实例与分析

以一个连 9 门 152 加榴炮拦阻敌方 4 辆坦克、4 辆步战车、3 辆反坦克导弹车对我前沿部队攻击进行战术决策的算法仿真研究^[12]。由敌方坦克、步战车、反坦克导弹车前进速度、火力类型及攻击远近等对我前沿部队威胁程度的不同,根据火力毁伤概率有以下指数定义(见表 3):

表 3 敌方火力单位对我前沿部队的威胁指数

目标 前沿部队	坦克	步战车	反坦克导弹车
1 连+3 辆坦克	0.68	0.46	0.82
2 连 3 排	0.54	0.62	0.52
3 连+5 套反坦克系统	0.56	0.58	0.56

根据敌方火力单位对我方不同单位的毁伤效率及其效用价值,可以确定其目标价值(设陆上目标最大价值量为 10),有表 4:

表 4 目标价值及我方阻击的最大火力单位

目标	坦克	步战车	反坦克导弹车
目标价值量	9.6	7.8	8.6
最大火力阻击单位	7	5	7

根据炮兵火力对敌方不同作战单位的弹药消耗量经验值(即弹药期望消耗值)有表 5:

表 5 弹药消耗量经验值

目标	1 辆坦克	1 辆步战车	1 辆反坦克导弹车
弹药消耗经验值(发)	34	22	23

由上表可知,击伤、击毁目标单位所需消耗的弹药总量为 293 发。我方 9 门火炮、敌方 4 辆坦克、4 辆步战车、3 辆反坦克导弹车为 Agent 集合,记为: A_1, A_2, \dots, A_m , 火炮发射的时间间隔、最大火力阻击单位、炮弹对敌方作战单位的毁伤概率、目标价值量、目标前进的速度、目标据我前沿阵地的距离等作为 Agent 属性,记为属性集: E_1, E_2, \dots, E_m , 以最少弹药消耗量为期望回报值 r , 在 Matlab 中模拟多边协商算法,得到的最优火力分配方式、弹药消耗量及最大效益值见表 6(设对敌目标击伤、击毁弹药消耗量经验效益值为 1)。

表 6 多边协商火力分配及弹药消耗量结果

目标	坦克	步战车	反坦克导弹车
火炮分配(/门)	4	2	3
弹药消耗量(发)	81	38	62
最大效益值	r=1.64		

由表 6 得到的协商结果可知,击毁目标单位所需消耗的弹药总量为 181 发,获得的弹药销毁量最大效益值为 1.64。

通过算法的实验结果来看,9 门火炮采用多边协商击毁目标单位所消耗的弹药量为 181 发,而按照火力集中射击方案则需要消耗 293 发炮弹,协商后弹药消耗量减少了约 38%。减少弹药消耗并不是唯一的目标,按照火炮发射的规程,一般而言火炮发射的速度为每分钟 6~8 发,协商前需发射 293 发炮弹,9 门火炮,则每门火炮平均耗时 279 秒;协商后需发射 181 发炮弹,则每门火炮平均耗时 172 秒,通过对比可看出,击毁敌方目标所需时间大大的缩短了,从而减少了敌方火力单位对我前沿部队的冲击和威胁。

5 结束语

无论在军事作战指挥决策系统还是商业谈判中,对于多层次、多目标的决策问题,都存在着不同层次、不同目标的 Agent 之间的协商。基于 Multi-Agent 的智能群决策支持系统中的决策任务通过 Agent 多边协作来完成,决策指挥系统性能的提高依赖于参与协商的 Agent 之间的协作,协作充分并能达到最优可以大大提高系统的灵活性和准确性。这也是基于 Multi-Agent 的智能群决策支持系统区别于其他非智能决策指挥系统的重要特征之一。

为验证 Agent 多边协商在战术决策支持系统的性能,文中对 9 门火炮阻击 11 个目标进行了验证分析,通过与经验值对比,实验结果验证了该算法在决策支持系统中的有效性和准确性。

(下转第 58 页)

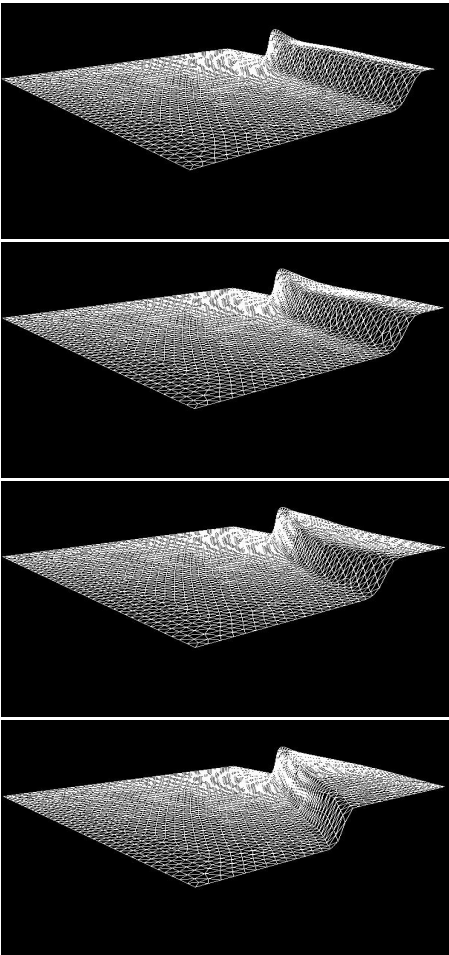


图 3 斜水跃问题数值模拟结果截图

4 结束语

文中建立的可求解二维浅水方程的新的分辨率有限体积法克服了传统方法处理间断问题时出现的离散精度和计算稳定性的矛盾。该方法既有较高的计算精度又避免了高频的数值震荡。从算例的数值模拟的结果来看,文中采用的数值实验方法模拟超临界流斜

水跃问题具有很好的非震荡性。

参考文献:

- [1] 李艳红,周华君,时 钟. 山区河流平面二维流场的数值模拟[J]. 水科学进展,2003,14(3):424-429.
- [2] Aizinger V, Dawson C. A discontinuous Galerkin method for two-dimensional flow and transport in shallow water[J]. Advances in Water Resources,2002,25(1):67-84.
- [3] 潘存鸿,林炳尧,毛献众. 一维浅水流动方程的 Godunov 格式求解[J]. 水科学进展,2003,14(4):430-436.
- [4] Benkhaldoun F, Elmahi I, Seaid M. A new finite volume method for flux-gradient and source-term balancing in shallow water equations[J]. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 2010,199(49-52):3324-3335.
- [5] 张姝慧. 求解浅水方程的光滑粒子流体动力学法[D]. 合肥:安徽大学,2007.
- [6] 汪继文,刘儒勋. 间断解问题的有限体积法[J]. 计算物理,2001,18(2):97-105.
- [7] Benkhaldoun F, Elmahi I, Seaid M. Well-balanced finite volume schemes for pollutant transport by shallow water equations on unstructured meshes[J]. J. Comput. Phys,2007,226(1):180-203.
- [8] Benkhaldoun F, Seaid M. A simple finite volume method for the shallow water equations[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics,2010,234(1):58-72.
- [9] 王志力,耿艳芬,金 生. 具有复杂计算域和地形的二维浅水流动数值模拟[J]. 水利学报,2005,36(4):439-444.
- [10] 刘 刚,金 生. 基于修正 Roe 格式的有限体积法求解二维浅水方程[J]. 水利水运工程学报,2009(3):29-33.
- [11] Jawahar P, Kamath H. A High-resolution Procedure for Euler and Navier-Stokes Computations on Unstructured Grids[J]. Journal of Computational Physics,2000,164(1):165-203.
- [12] 窦 红,汪继文. 求解二维浅水方程的一种高分辨率有限体积法[J]. 应用数学和计算数学学报,2006,20(2):83-88.

(上接第 54 页)

参考文献:

- [1] Rosenschein J S. Rational Interaction: Cooperation Among Intelligent Agents[D]. Stanford:Stanford University,2002.
- [2] Kraus S, Wilkenfeld J, Zlotkin G. Multi-agent Negotiation under Time Constraints[J]. Artificial Intelligence,2004,72(2):297-345.
- [3] Yen J, Yan Yonghe, Contreras J. Multi-agent approach to the planning of power transmission expansion[J]. Decision Support Systems,2004,28(3):279-290.
- [4] 张 虹,邱玉辉. 一种基于对策论的协商模型[J]. 南京大学学报(自然科学),2001,37(2):159-164.
- [5] 史慧敏,陈哲强,王文杰,等. 多 Agent 通信与合作机制研究[J]. 微电子学与计算机,2007,24(5):30-33.
- [6] 申 静,姚军财. 基于多 Agent 协商的决策支持系统的研究[J]. 微电子学与计算机,2009,26(5):76-78.
- [7] 周 清,林 拉. 基于 Agent 技术的在线测试系统研究与设计[J]. 计算机技术与发展,2007,17(10):184-188.
- [8] 许精明. Agent 通信及多 Agent 系统(MAS 协作机制的研究)[J]. 微型电脑应用,2006(7):76-78.
- [9] 林 琳,刘 锋. 基于改进合同网协议的多 Agent 协作模型[J]. 计算机技术与发展,2010,20(3):71-75.
- [10] 李 立,邹 华,杨放春. 一种基于 Agent 技术的安全能力自动协商机制[J]. 计算机工程,2007,33(10):126-128.
- [11] 刘 俊,曹 斌,谭丹丹. 基于拍卖机制的改进合同网协商策略[J]. 计算机应用,2007,27(2):494-496.
- [12] 张胜民. 陆军战役战术火力毁伤作战部队标准化计算研究[D]. 宣化:炮兵指挥学院,2006.

基于对策论的Multi-Agent多边协商机制研究

作者: [张孟资](#), [徐国明](#)
作者单位: [陆军军官学院 计算中心, 安徽 合肥 230031](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2012(10)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201210015.aspx