

# 一种基于奖励机制的 agent 联盟形成策略

李 剑<sup>1</sup>, 景 博<sup>2</sup>, 杨义先<sup>1</sup>

(1. 北京邮电大学灾备技术国家工程实验室, 北京 100876; 2. 北京应用气象研究所计算机室, 北京 100029)

**摘 要:** 为了解决多智能体系统中 agent 在形成联盟的时候不能同时保持系统全局优化解和联盟的稳定性问题, 提出了一种联盟形成时的奖励策略, 对于在联盟中执行任务的 agent 给以适当奖励, 从而使得联盟在达到全局最优化解的同时保持稳定. 在实验中, 以 Postman 问题作为例子, 对三种联盟形成策略即 Shapley 值策略、均分策略和奖励策略进行了比较. 数据表明 Shapley 值策略和均分策略的时效性差, 并且不能保证联盟的稳定性. 相反, 奖励策略是最有效的, 它可以使得联盟达到全局最优化解的同时保持稳定, 并且时效性好. 最后对奖励策略进行了性能分析, 从理论上证明了奖励策略的优越性.

**关键词:** 多智能体; 联盟; 奖励策略

**中图分类号:** TP301 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2008) 12A207-05

## A Strategy to Form Agent Coalition Based on Encouragement

LI Jian<sup>1</sup>, JING Bo<sup>2</sup>, YANG Yixian<sup>1</sup>

(1. National Engineering Laboratory for Disaster Backup and Recovery, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China; 2. Department of Computer, Beijing Institute of Meteorology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** An encouragement strategy which can achieve global optimal and stable solution simultaneously is presented. In the experiment, the postman problem is selected as the example, and the three strategies which include Shapley value strategy, average share strategy and encouragement strategy are used to compare with. The experimental data show that the Shapley value strategy and average share strategy are very inefficient, and can not ensure the stability of the coalition. However the encouragement strategy is very efficient and can achieve global optimal and stable solution simultaneously. In the end, the superiority of the strategy is analyzed.

**Key words:** multi-agent; coalition; encouragement strategy

## 1 引言

在多智能体系统(MAS, Multi-Agent Systems)中, 自治的 agent 为了提高整体求解效率, 可以组成联盟<sup>[1]</sup>, 以优化求解方案, 并划分联盟的额外效用<sup>[2]</sup>. 根据 agent 的 BDI 理论, agent 可以在运行时, 自愿组成联盟, 而不是在系统运行前定义好联盟的结构<sup>[3,4]</sup>. 近年已经有若干关于联盟形成的研究, 主要着眼于如何在联盟内 agent 间划分联盟额外效用, 使 agent 在决策时愿意形成全局最优的联盟. 多数划分方案是根据 Shapley 值. 但它计算复杂, 与联盟中 agent 个数成指数关系, 且不能保证达到全局最优; 有时达到了全局最优了, 但是不能保证联盟系统的稳定性.

本文提出一种形成联盟的奖励策略, 可以使 agent 形成全局最优联盟并且保持稳定, 适合于动态、开放环境中 agent 协作求解. 文中首先分析了有效的联盟形成

机制所应有的特性, 给出了 Shapley 值策略和均分策略等方法不足, 随后提出一种基于奖励策略的联盟形成方法, 并从理论和实验两方面证明了它的优越性.

## 2 相关工作

### 2.1 联盟效用

在 MAS 系统中, 为鼓励 agent 形成联盟<sup>[5]</sup>, 必须指定一种合适的效用划分规则, 经常采用 Shapley 值的方法<sup>[6]</sup>, 规定一个 agent 应得的效用值等于它在联盟随机所形成次序中贡献的效用增量与此次序的概率的加权平均值.

### 2.2 Zlotkin 提出的联盟形成机制

Zlotkin 引用 Rosenschein 对 agent 交互机制提出的若干特性来作为对联盟形成机制(效用划分方法)的要求:

(1) 有效性: 各方分享所有共同效用.  $v(c)$  代表结成联盟  $c$  可以获得的总效用,  $u(a_i)$  代表 agent  $a_i$  从联盟

中获得的效用,则有

$$\sum_{a_i \in c} u(a_i) = v(c) \quad (1)$$

(2) 稳定性:

(a) 个体: 形成联盟后不会有 agent 单独退出而获得更大效用.

(b) 群体 (Pareto 最优): 增大联盟内某些 agent 的效用就会损害其他 agent.

(c) 联盟: 部分 agent 退出联盟而组成新的联盟时不会获得更大效用.

(3) 简单性: 交互过程的计算、通信开销小.

(4) 分布性: 不需要中央决策.

(5) 对称性: 对称的 agent 在联盟形成时应该获得相等的效用. 对称指两个 agent 对所有可能联盟的贡献相同. 从交互的角度看, 就是 agent 没有特殊的角色.

### 213 联盟形成机制应该具有的性质

对一种稳定、高效和优化的联盟形成机制, 以上特性并不充分, 而对称性也不是必要的. 对称性损害了交互的稳定性. 如图 1 中所示的三个 agent 的 Postman 问题中:

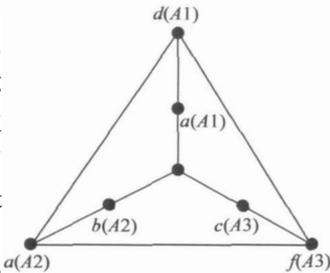


图1 三个Agent的Postman问题

图 1 中邮局 (Post Office) 位于中心, 每条弧的

长度为 1, 三个 agent 的线路分别为 ( $T1 = \{POy a y d y a y P0\}$ ,  $T2 = \{POy b y e y b y P0\}$ ,  $T3 = \{POy c y f y c y P0\}$ ). 每一个 agent 用于发信的花费分别为 4. 如果任何两个 agent 合作, 则用于发信的总花费将是 5 (如 agent 1 和 agent 2 合作, agent 1 走:  $POy a y d y e y b y P0$ ; agent 3 走:  $POy c y f y c y P0$ ). 此时总体效用为 2.  $5 - 3 = 2$ . 如果三个 agent 都合作, 则用于发信的总花费将是 8 (如 agent 1 走:  $POy a y d y e y b y e y f y c y P0$ ). 此时总体效用为  $(3 * 4) - 8 = 4$ . 这样的话, 盈利向量  $(u_1, u_2, u_3)$  就满足下面的条件:

- 1  $\sum_{i \in I} u_i + v(\{i\}) = 0$ ;
- 2  $\sum_{i, j \in I} u_i + u_j + v(\{i, j\}) = 3$ ;
- 3  $u_1 + u_2 + u_3 + v(\{1, 2, 3\}) = 4$ .

用对称性的 Shapley 值法分配使  $a_1$  在全局最优解  $\{a_1, a_2, a_3\}$  中只有效用  $4/3$ , 比局部最优解  $\{a_1, a_2\}$  中的效用  $3/2$  少, 使  $\{a_1, a_2, a_3\}$  联盟无法稳定, 总有两个 agent 可以通过形成子联盟而获得更高效用.

其次以上特性未涉及联盟生成过程中的速度, agent 可能会等其他 agent 先形成联盟后再加入. 假设有 3 个 agent 结成联盟的效用为:

$$v(\{a_i\} | i = 1, 2, 3) = 0,$$

$$v(\{a_i, a_j\} | i \neq j) = 2,$$

$$v(\{a_1, a_2, a_3\}) = 5.$$

此时若效用分配采取由加入联盟  $c$  的  $a_i$  获得所有效用增量  $v(\{a_i\} | Gc) - v(c)$  的方法, 那么首先形成联盟者只得效用 1, 而最后参加者则可以获得效用 3. 于是所有 agent 都会等待其它两个 agent 形成联盟后再加入, 形成一种死锁.

罗翊等在文献[7]中采用新增效用平均分配的方法来解决, 但是它体现不出 agent 对联盟的贡献, 所以时效性差. 同时, 这种方法也存在 agent 在局部最优中所获得利益大于全局最优的情况, 因此联盟不稳定.

## 3 奖励机制的联盟形成方案

### 311 形成联盟的性质

(1) 时效性. 有效的交互协作机制必需防止类似现象出现, 满足时效性: 当 agent 有与其他 agent 形成联盟的可能时, 越早加入联盟, 其效用越高. 时效性可以促进 agent 积极、及时合作.

(2) 局部 Pareto 解就是全局最优解. MAS 中根据局部效用优化做出的决策一般只能达到 Pareto 最优解, 并不是全局最优解. 可选择特定的 agent 交互机制和交互规则, 使局部 Pareto 解就是全局最优解, 来实现 MAS 全局优化的最终目的.

(3) 效用非减性. 在动态开放环境中的联盟形成是逐渐构成的, 不能依赖于预先决策选出最优方案. 在这种条件下, 联盟形成, 应满足非减性: 每个 agent 在联盟形成与调整过程中, 不能减少已获得效用或联盟协议中所分配的效用.

综上所述, 联盟形成过程中的交互机制, 特别是效用分配机制追求全局最优、稳定、简单、分布、非减、时效性. 从这些性质看, Shapley 值方法<sup>[6]</sup>不能保证全局最优, 计算复杂, 联盟扩展会减少某些 agent 的效用, 导致联盟不稳定; agent 在联盟中的收益与其加入先后无关, 不能鼓励 agent 及时形成联盟, 时效性差. 新增效用均分的策略<sup>[7]</sup>时效性差, 不能鼓励 agent 早日加入联盟.

### 312 形成联盟的奖励策略

本文 agent 形成联盟的效用分配方法与以下三个因素有关系:

(1) 联盟中 agent 的个数. 联盟中的 agent 都应该得到效用分配, 但是根据联盟中 agent 所完成的工作不同, 应该给以不同的奖励策略, 以鼓励 agent 形成联盟.

(2) 联盟合作所取得的效用. 鼓励联盟中更多的 agent 合作形成效用更高的联盟.

(3) 联盟形成之前系统的费用. 联盟所取得的效用与联盟形成之前的费用之比越大, 说明该联盟更有效.

设联盟形成之前系统费用为  $h$ , 联盟中 agent 的个

数为  $n$ , 联盟合作所取得的效用  $v$ . 本文基于奖励方法的联盟效用分配策略如下:

(1)  $n$  个 agent 同时形成联盟的策略

$n$  个 agent 同时形成联盟, 其新增效用奖励分配, 具体策略如下:

**Step 1** 将联盟形成的效用  $v$  按照比例  $(v^* n) : h$  分为两部分, 前一部分体现了  $n$  个 agent 形成联盟时对联盟的贡献, 这一部分将按照 agent 对联盟的贡献进行分配; 后一部分体现了联盟原有的费用, 所以进行平均分配. 具体来说:

**Step 2** 计算前一部分:  $u_w = v @ (v @ n) / (v @ n + h)$ . 对于这一部分, 进行奖励分配. 方法如下: 设在联盟

形成之后 agent  $i$  对联盟的贡献为  $\$v_i$ , 则有  $v = \sum_{i=1}^n \$v_i$ ,

这时 agent  $i$  所应该获得的奖励为  $u_i^w = u_w @ (\$v_i) / v$ ;

**Step 3** 计算后一部分:  $u_l = v @ (h) / (v @ n + h)$ , 这一部分进行平均分配即 agent  $i$  的在这一部分的效用为:  $u_i^l = (u_l) / n$ .

**Step 4** 计算系统中每个 agent  $i$  自己获得的效用:  $u_i = u_i^l + u_i^w$ ;

(2) 已有联盟多个联盟合并成新的联盟的策略

已经有的两个联盟  $\{a_i | i [ n]$  和  $\{b_j | j [ m]$  在形成新的联盟  $\{a_i\} G \{b_j\}$  时, 所增加的效用依然按照奖励分配的原则进行分配, 不同的是这里可以把原有联盟看成是一个整体, 进行效用分配. 具体分配方法这里不再赘述.

(3) 单个 agent 的行为策略

单个 agent 的行为策略为: 寻找新的联盟形式; 计算每种联盟形式中自己可获得的效用; 加入效用最大的联盟.

#### 4 agent 联盟实验

以上契约法则、效用分配策略和单个 agent 行为策略组成本文联盟形成的机制. 在此机制下以 Postman 问题为例子, 对三种联盟形成策略即 Shaply 方法、新增效用平均分配方法<sup>[7]</sup>和本文的分配方法进行不同条件下比较, 过程如下:

##### 4.1.1 实验 1: 两个 agent 形成联盟

**实验结果:** 当 agent 1 和 agent 2 两个 agent 组成联盟时, 设 agent 1 执行了任务, 则三种效用分配策略如表 1.

表 1 两个 agent 形成联盟时的效用分配

策 略	U1	U2
Shaply	3/2	3/2
均分策略	3/2	3/2
本文策略	15/7	6/7

**结果分析:**  $U_i$  表示 agent  $i$  的效用. 当两个 agent 形

成联盟的时候, 本文采用奖励策略对于执行任务的 agent 1 智能体给予了更多的效用, 而对于没有执行任务的 agent 2 给以较少的效用, 这样的方法可以鼓励 agent 来执行任务. 而在 Shapley 和文献[7]中均分分配方法时效性差, 因为无论那个 agent 来完成任务, 它们所得到的效用是一样的.

##### 4.1.2 实验 2: 三个 agent 形成联盟

**实验结果:** 当 agent 1、agent 2 和 agent 3 三个 agent 组成联盟时, 设 agent 1 执行了任务, 则三种效用分配策略如表 2 所示.

表 2 三个 agent 形成联盟时的效用分配

策 略	U1	U2	U3
Shapley	4/3	4/3	4/3
均分策略	4/3	4/3	4/3
本文策略	8/3	2/3	2/3

**结果分析:** 从实验结果可以看出, 本文的策略比 Shapley 和文献[7]中采用的分配方法时效性要好一些, 因为执行任务的 agent 1 会获得更多的效用. 另外, 使用本文策略, agent 1 在形成三个 agent 联盟的时候获得的效用(8/3)要比两个 agent 联盟的时候获得效用(15/7)要多, 所以 agent 1 更愿意组成三个 agent 的联盟, 而不愿意组成两个 agent 的联盟, 从而局部最优也就是全局最优. 反之, 如果使用 Shapley 和文献[7]中的均分策略, agent 1 在形成三个 agent 联盟的时候获得的效用(4/3)要比两个 agent 联盟的时候获得效用(3/2)要少, 所以 agent 1 会不愿意形成三个 agent 的联盟, 这就达不到整体最优的效果.

##### 4.1.3 实验 3: 当 agent 1 和 agent 2 已经形成联盟, a2 agent 3 要加入这个联盟

**实验结果:** 当 agent 1、agent 2 已经组成联盟, agent 3 要加入这个联盟时, 设 agent 1 执行了任务, 则三种效用分配策略如表 3 所示.

表 3 agent 3 加入已经形成联盟时的效用分配

策 略	U1	U2	U3
Shapley	4/3	4/3	4/3
均分策略	11/6	11/6	1/3
本文策略	274/105	118/105	4/15

**结果分析:** 在形成联盟  $c = \{agent 1, agent 2\}$  后, 对于 agent 3 有三种策略: ' 加入联盟; ° 拉拢 agent 1, a2 agent 2 中的某一个与自己结盟; » 保持独立. 策略» 显然不能增加 agent 3 自己的效用. 策略° 也不会使 agent 3 获得正效用: 设 agent 3 要使 agent 1 与自己组成联盟  $cc$ , 则应有  $uc(agent 1) > u(agent 1) = 15/7$ ; 由我们的机制,  $cc$  需要向 agent 2 支付效用损失 15/7. 所以在 (agent 1, agent 3) 联盟中 agent 3 只能获得效用  $uc(\{agent 1, a2 agent 3\}) - uc(agent 1) - u(agent 2)$ , 而这个结果是小于 0

的,所以 agent 3 只能采取策略<sup>1</sup>. 同样,如果设 agent 3 要使 agent 2 与自己组成联盟,则 agent 3 所获得的效用也小于零. 形成联盟 {agent 1, agent 2, agent 3} 后, agent 3 要退出联盟的补偿代价更高 (11/15), 所以即使 agent 3 不满足于劣势的 (4/15) 效用, 也无法影响联盟的稳定. 所有 agent 的最佳策略就是维持此联盟全局最优解.

## 5 策略的性能分析

Zlotkin 提出面向任务的领域 TOD (Task oriented Do2 main) 理论<sup>[8]</sup>. TOD 中, 对任意两个任务集  $T_1, T_2$ , 设  $v^*(T_1)$  和  $v^*(T_2)$  分别是最小执行总代价, 有  $T_1 \text{ AT}_2 \mid v^*(T_1) \mid v^*(T_2)$ . 次加性是指对于任意两个任务集  $T_1, T_2$ , 有  $v^*(T_1 \text{ GT}_2) \mid v^*(T_1) + v^*(T_2)$ . 对  $n$  个任务集  $\{T_i\}$ , 显然在它们全部组成一个联盟时具有最小代价和最大效用. TOD 的例子有 Postman 问题、搬砖问题<sup>[9]</sup>等. Zlotkin 指出 Shapley 值方法在次加性中不具有联盟稳定性.

以下将证明, 在次加性 TOD 中, 本文所提出的策略满足交互机制性质.

### (1) 全局最优性:

**命题 1** 设有  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , 某一时刻的一个联盟  $c_i = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ , 它的效用函数为  $v(c_i)$ , 在行为规范机制下,  $A$  中 agent 最终形成联盟分布状态的联盟效用函数值将达到最优, 即  $\sum_{i=1}^n v(c_i) = v(A)$ .

**证明** 设某时刻  $A$  处于联盟分布  $\{c_i = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \mid i = 1, \dots, l\}$ . 若  $\sum_{i=1}^n v(c_i) < v(A)$ , 则必有两个联盟  $c_1, c_2$ , 合并后的增量  $v(c_1 \text{ G} c_2) - v(c_1) - v(c_2) > 0$ . 若不然, 由于次加性 TOD 中  $v(c_1 \text{ G} c_2) - v(c_1) - v(c_2) \leq 0$ , 则任意两个联盟都有  $v(c_1 \text{ G} c_2) - v(c_1) - v(c_2) = 0$ , 则有  $\sum_{i=1}^n v(c_i) = v(A)$ , 已经处于最优解中.

在未达到最优时刻, 必有  $k$  个联盟能根据行为规范机制提出要结盟 ( $k \geq 1$ ), 设  $B = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ , 可证明  $B$  中的任一元素在提出一个最优结盟情况下, 必然有两个联盟  $c_i, c_j (i \neq j)$  会互相提出与对方结盟. 说明如下:

假定  $c_1$  提出与  $c_2$  结盟,  $c_2$  有两种选择: 或者与  $c_1$  结盟或者与  $B - \{c_1, c_2\}$  中的元素结盟. 如果选择前者, 命题得证. 否则假定选择  $c_3$ , 此时  $c_3$  也有两种选择, 如选  $c_2$ , 命题也得证. 否则只能从  $B - \{c_1, c_2, c_3\}$  中选择, 这里强调  $c_3$  不能提出与  $c_1$  结盟, 如此直到  $c_{k-1}$  时会提出与  $c_k$  结盟, 而  $c_k$  只能有一种选择, 即与  $c_{k-1}$  结盟. 类似可以证明每个联盟提出与多个联盟结盟的情形.

### (2) 稳定性:

**命题 2** 在次加性 TOD 中, 任意联盟不会发生分解, 包括个体脱离和子联盟脱离.

**证明** 若有某联盟  $c = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  发生分解, 不失一般性, 假设分解出子联盟  $\alpha = \{a_1, \dots, a_m \mid m < n\}$ . 设  $c$  的效用分配矢量为  $(u_1, u_2, \dots, u_n)$ , 则应有  $\sum_{i=1}^m u_i < \sum_{i=1}^m u_{c_i}$ ,  $u_{c_i}$  是分解后效用. 按本文规则,  $\alpha$  要向  $c$  中其余 agent 支付效用损失为  $\sum_{i=m+1}^n u_i - u(\{a_{m+1}, \dots, a_n\})$ , 于是  $\alpha$  的效用为

$$u(\{a_1, \dots, a_m\}) = \sum_{i=1}^m u_{c_i} + \left[ \sum_{i=m+1}^n u_i - u(\{a_{m+1}, \dots, a_n\}) \right] > u(c) - u(\{a_{m+1}, \dots, a_n\}) \quad (2)$$

有  $u(\alpha) + u(c - \alpha) > u(c)$ . 这与次加性 TOD 的定义矛盾. 因此联盟  $c$  不会分解.

(3) 简单性: 效用分配是对参与者进行奖励分配, 其计算量是常量.

(4) 分布性: 本文中的机制是由 agent 作局部决策, 而联盟决策也与局部决策相符, 可以分布进行.

(5) 非减性: 由效用分配原则保证.

(6) 时效性: 可以证明, 若联盟  $c_1$  在某决策点可与另一联盟  $c_2$  合并, 那么在本文机制下, 立即进行合并所获得的效用高于等待  $c_2$  与其他联盟  $c_3$  合并后再与它们合并所获得的效用. 证明略. 除此之外, 若 agent 1 与 agent 2 形成联盟, 则哪个 agent 对联盟的贡献大, 它所得到的效用就多, 这一点也增加了时效性.

(7) 对称性: 本文的机制是不对称的. 采用奖励的策略, 对联盟贡献大的 agent 得到的奖励也越大, 这一点增加了联盟的时效性.

## 6 总结与进一步工作

为了解决多智能体系统中 agent 在形成联盟的时候不能同时保持系统全局优化解和联盟的稳定性问题, 提出了一种联盟形成时的奖励策略, 对于在联盟中执行任务的 agent 给以适当奖励, 从而使得联盟在达到全局最优化解的同时保持稳定. 本文的求解方法有如下特点:

- (1) 不需要中央控制;
- (2) 策略鼓励 agent 合作;
- (3) 策略增加了系统的时效性;
- (4) 计算简单, 计算量为常量;
- (5) 反映出了 agent 对联盟贡献的差异性;
- (6) 策略所形成的联盟稳定性好.

另外, 在 Shapley 值策略和文献 [7] 中的策略中, agent 不愿意形成全局最优联盟, 而只愿意形成局部最优联盟, 因为在局部联盟当中, agent 所获得的效用要多

一些.而在本文的奖励策略下,agent 愿意形成全局最优,而不愿意形成局部最优.

本文提出的联盟机制可以较好地满足全局优化、稳定、分布、简单、时效性等要求,优于 Shapley 值的方法,也优于平均分配的原则.表 4 中为相关策略性能的比较.在进一步的研究当中将继续研究把策略应用于电子商务当中的联盟形成<sup>[10]</sup>.

表 4 相关机制性能的比较

策略 \ 性能	全局最优性	稳定性	难易度	分布性	非减性	时效性	对称性
Shapley 策略	不好	差	复杂	好	差	较好	好
均分策略	不好	较好	简单	好	好	差	较好
奖励策略	好	好	简单	好	好	好	差

参考文献:

[1] 蒋建国,尹翔,夏娜,苏兆品.基于历史行为的 agent 联盟策略[J].电子学报,2007,35(8):1485-1489.  
Jiang Jian2guo, Yin Xiang, Xia Na, Su Zha2pin. Strategy of a2gent coalition based on historic behavior[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(8): 1485- 1489. (in Chinese)

[2] 孙海燕,王晓东,周斌,贾焰,王怀民,邹鹏.基于存储联盟的双层动态副本创建策略) SADDRES[J].电子学报,2005,33(7):1222-1226.  
Sun Ha2yan, Wang Xia2dong, Zhou Bin, Jia Yan, Wang Hua2min, Zou Peng. The storage alliance based double2layer dynam2ic replica creation strategy SADDRES[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(7): 1222- 1226. (in Chinese)

[3] 蒋建国,夏娜,齐美彬,木春梅.一种基于蚁群算法的多任务联盟串行生成算法[J].电子学报,2005,33(12):2178-2182.  
Jiang Jian2guo, Xia Na, Qi Me2bin, Mu Chun2mei. An ant colony algorithm based multi2task coalition serial generation a2gorithm[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(7): 1222 - 1226. (in Chinese)

[4] Jiang Jian2guo, Su Zha2pin, Zhang Gu2fu, Qi Me2bin. Multi2task coalition parallel formation strategy based on reinforcement learning[J]. Acta Automation Sinica, 2008, 34(3): 349- 352.

[5] Yang Jin2gan, Luo Zheng2hu. Coalition formation mechanism in multi2agent systems based on genetic algorithms[J]. Applied Soft Computing Journal, 2007, 7(2): 561- 568.

[6] Shapley L. S. A value for n2person games[A]. Roth A. E. The Shapley Value[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 8. 31- 40.

[7] 罗翊,石纯一. Agent 协作求解中形成联盟的行为策略[J].计算机学报,1997 20(11):961- 965.  
Luo Yi, Shi Chun2yi. The behavior strategy to form coalition in agent cooperative problem solving[J]. Journal of Computer, 1997, 20(11): 961- 965. (in Chinese)

[8] Zotkin G, Rosenschein J. S. A domain theory for task oriented negation[A]. Proc IJCAI93[C]. Chambéry, France, 1993. 416 - 422.

[9] Zlotkin G, Rosenschein J. S. Coalition, cryptography, and stability: Mechanisms for coalition formation in task oriented domains [A]. Proc AAAI94[C]. Seattle, USA, 1994. 432- 437.

[10] 蒋建国,夏娜,于春华.基于能力向量发挥率和拍卖的联盟形成策略[J].电子学报.2004,32(12A):215- 217.  
Jiang Jian2guo, Xia Na, Yu Chun2hua. The coalition formation strategy based on capability vector contribution2rate and au2tion[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(12A): 215- 217. (in Chinese)

作者简介:



李 剑 男,1976 年出生于陕西西安市,博士,副教授.目前在北京邮电大学灾备技术国家工程实验室工作.已发表论文 50 多篇,出版著作 10 余部,申请 3 项国家专利,参与国家 863 计划和国家自然科学基金等重大项目的研究.主要研究领域包括信息安全、电子商务、人工智能等.  
E2mail: lijian@bupt. edu. cn

景 博 女,1980 年出生于四川省绵阳市,北京应用气象研究所计算机室工程师.研究方向为软件测评、信息安全及电子商务.

杨义先 男,1961 年出生于四川省绵阳市,北京邮电大学教授、博士生导师、长江学者奖励计划特聘教授,研究方向为信息安全、密码学、电子商务等.