

一种基于理性 Agent 的任务求解 联盟形成策略

蒋建国^{1,2} 张国富^{1,2} 夏娜^{1,2} 苏兆品^{1,2}

摘要 联盟形成是多 agent 系统中的一个关键问题, 主要着眼于如何在联盟内 agent 间划分联盟的效用. 但已有策略无法摆脱搭便车问题, 尤其是额外效用的分配没有确切反映出各 agent 对于联盟贡献的差异性, 导致联盟潜在的不稳定. 本文给出了一种新的联盟形成的行为策略, 在公平分配原则和无妒忌原则的基础上, 提高了对额外效用分配的合理性, 在具有超加性的面向任务的领域中可以形成全局最优联盟, 并具有 Nash 均衡意义下的稳定性.

关键词 联盟形成, 理性 agent, 搭便车问题, Nash 均衡
中图分类号 TP18

A Task Oriented Coalition Formation Strategy Based on Rational Agents

JIANG Jian-Guo^{1,2} ZHANG Guo-Fu^{1,2} XIA Na^{1,2}
SU Zhao-Pin^{1,2}

Abstract Coalition formation is a key topic in multi-agent systems. It mainly deals with the coalition's utility distribution among agents according to their preferences. Existing strategies have an inextricable free-rider problem, which can not clearly distinguish each agent's contribution and may result in coalition's potential instability. In order to tackle the shortage above, a novel coalition formation strategy based on rational agents is presented, which is restricted by the principle of impartial distribution and non-jealous standard, and improves the justice of allocation for additional utility. In superadditive task oriented domains, the proposed strategy can reach a global-optimal coalition, which is stable with Nash equilibrium.

Key words Coalition formation, rational agents, free-rider problem, Nash equilibrium

在多 agent 系统 (Multi-agent systems, MAS) 中, agent 不是孤立存在的, agent 的资源和能力也是有限的, 因而 agent 的行为必须满足某些理性, 不能为所欲为. 理性就是 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. 一般认为, 理性 agent 具有理性化的思维能力但同时也是贪婪自私、唯利是图的, 以最大化自身效用为目标^[1-2]. 因而理性 agent 间更倾向于组成联盟, 从而提高整体求解效率, 获得更多的报酬.

近年来, 联盟形成已成为 MAS 研究的一个重要方面, 其基本理论是 n 人合作对策理论^[3], 主要考虑如何在联盟内

agent 间划分联盟的额外效用, 使 agent 在决策时愿意形成全局更优的联盟. 联盟中, agent 所获的效用可以作为 MAS 中 agent 进化的量化依据, agent 根据获得效用多少申请相应的等级进化, 从而在不同的等级间迁移, 获得效用越多等级提升越大, 例如对于分布式智能控制系统 (Distributed intelligent control system), 可以表现为设备中断优先级提高, 通信带宽加大等.

设 MAS 中 agent 集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 对效用分配集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, u_i 为 a_i 所获得的效用 ($i = 1, 2, \dots, n$). $\forall a_i \in A$ 具有能力向量 $B_i = [b_i^1, b_i^2, \dots, b_i^r]$ ($b_i^j \geq 0, j = 1, 2, \dots, r, r \in \mathbf{N}$), 表示 a_i 执行某种特定动作的能力大小. 任务 T 具有能力需求 $D_T = [d_1, d_2, \dots, d_r]$ ($d_j \geq 0$), d_j 对应能力权重 w_j ($\sum_j w_j = 1$), 表示各维能力在此任务中的相对重要程度.

联盟 $C \subseteq A$ ($C \neq \emptyset$) 具有能力向量 $B_C = [b_C^1, b_C^2, \dots, b_C^r]$, B_C 是 C 中所有 agent 的能力总和, 即 $b_C^j = \sum_{a_i \in C} b_i^j$. 联盟 C 可以完成任务 T 的必要条件是: $\forall j \in \{1, 2, \dots, r\}, b_C^j \geq d_j$. 根据协作博弈理论^[3], 联盟 C 的效用由特征函数 v 给出, $v(C) \geq 0$ 且约定 $v(\emptyset) = 0$. 联盟 C 中的各 agent 会分享所有共同效用, 即 $\sum_{a_i \in C} u_i = v(C)$. 为了鼓励 agent 倾向于促进联盟形成, 将联盟限于超加性环境中, 对 $\forall C_1, C_2 \subseteq A$, 若 $C_1 \cap C_2 = \emptyset$, 则 $v(C_1) + v(C_2) \leq v(C_1 \cup C_2)$.

当联盟形成后, 联盟所得效用如何分配给其中的各个 agent 是形成策略的核心问题. 已有的多数效用划分方案是根据 Shapley 值^[4-5], 规定一个 agent 应得的效用值等于它在联盟随机的所有形成次序中贡献的效用增量与此次序的概率的加权平均, 即 $u_i = \sum_{C \subseteq A, i \notin C} \frac{(n-|C|-1)! \cdot |C|!}{n!} (v(C \cup \{i\}) - v(C))$. Shapley 值方法计算复杂, 与联盟中 agent 数成指数关系 ($O(2^n)$), 而且不保证全局最优, 忽视了在具体联盟形成过程中各 agent 行为的不同, 导致整体效用增加时原联盟成员的效用下降, 联盟不稳定.

罗翊等^[6] 承认联盟形成历史所产生的效用不平衡, 采取非减性效用分配原则, 鼓励 agent 扩大联盟来获取更大的整体和个人利益, 具有简单、高效等优点, 优于 Shapley 值的方法, 但过分追求计算简单性, 对效用的平均分配没有反映出 agent 对于联盟贡献的差异性, 且其对 Postman 问题^[7] 中的振荡采取契约法则, 把不满意劣势效用的 agent 强制在联盟中, 在一定程度上打击了其他 agent 加入已有联盟的兴趣.

蒋建国等^[8] 提出基于能力向量发挥率和拍卖的联盟形成策略, 在一定程度上体现了按劳分配的思想, 但文中没有交待各 agent 在任务求解过程中具体贡献多少, 容易导致联盟死锁, 其对于额外效用采取拍卖分配方式, 同样没有反映出后加入 agent 对于联盟的贡献, 且其拍卖方式需要 agent 不停地交互, 通信开销较大.

效用分配合理与否会反馈到 agent 协作执行任务的积极性, 从而影响联盟的稳定和任务的进一步完成, 然而上述研究都存在一个共同的问题, 即联盟的效用分配不能完全区分联盟中各 agent 的贡献. 这时会导致怠工现象, 即搭便车 (Free-rider problem) 行为的产生. 以经典的三个 agent 的 Postman 问题^[7] 为例: 已组成联盟的 a_1, a_2 可能会把大部分任务分配给后加入的 a_3 去执行, 一方面 a_1, a_2 只承担少量的任务却占据先前已有的全部效用和 a_3 带来的额外效用的一部分, 另一方面 a_3 承担了大部分任务却只得到额外效用的一小部分, 甚至于 a_1, a_2 会把全部任务都分给 a_3 承担,

收稿日期 2006-11-17 收修稿日期 2007-05-27

Received November 17, 2006; in revised form May 27, 2007

国家自然科学基金 (60474035), 国家教育部博士点基金 (20060359004), 安徽省自然科学基金 (070412035) 资助

Supported by National Natural Science Foundation of China (60474035), National Research Foundation for the Doctoral Program of Higher Education of China (20060359004), and Natural Science Foundation of Anhui Province of China (070412035)

1. 合肥工业大学计算机与信息学院 合肥 230009 2. 安全关键工业测控技术教育部工程研究中心 合肥 230009

1. School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009 2. Engineering Research Center of Safety Critical Industrial Measurement and Control Technology, Ministry of Education, Hefei 230009

DOI: 10.3724/SP.J.1004.2008.00478

不劳而获. 这种分配的严重不公平会极大地打击后加入的 a_3 执行任务的积极性, a_3 很可能会因极度的心理不平衡而退出联盟, 导致联盟无法稳定, 而且一旦 a_3 退出联盟又会损害到 a_1, a_2 的利益, 显然这是一种双向道德危害 (Double moral hazard).

针对以上问题, 本文提出一种新的联盟形成策略, 采用拍卖机制对任务进行快速和有效分解, 基于合同机制对联盟效用以及额外效用进行合理分配, 旨在动态开放环境中, 可以使得 agent 追求自身效用最大化的行为会受到一定原则的限制而产生最有利于联盟稳定的结果, 并使 agent 的决策具有一定的理性化和客观性, 从而形成全局最优联盟.

1 相关基本概念

定义 1. Pareto 最优^[3] (Pareto optimality) 是指效用分配的一种状态, 在联盟内任何 agent 效用不降低的情况下, 不可能使某些 agent 的效用增加, 即增大联盟内某些 agent 的效用就会损害其他 agent.

定义 2. Pareto 改进^[3] (Pareto improvement) 是指一种变化, 在没有任何 agent 效用降低的前提下, 可以使得至少某一 agent 的效用增加.

定义 3. Nash 均衡^[9] (Nash equilibrium) 是指在知道联盟内其他 agent 采取的策略后, 每个 agent 的策略是最好的, 此时没有 agent 愿意先改变或主动改变自己的策略, 如果某 agent 改变策略, 则其效用将会降低. 在 Nash 均衡点上, 理性的 agent 都不会有单独改变策略的冲动, Nash 均衡是一种稳定解.

2 联盟形成策略

2.1 公平分配原则

“不患贫, 而患不均”, 公平分配是各 agent 追求的目标. 然而作为理性的 agent, 每个 agent 都想多分配一点, 所以要想体现真正的公平, 应该遵循“按劳分配”的原则, 即 agent 获得的效用与其在联盟中的贡献相匹配. agent 完成任务越多, 其获得的效用应该越多, 反之越少, 这样可以激励 agent 积极、及时合作, 提高任务求解的效率.

定义 4. 单位效用因子 $\alpha_j = [w_j \cdot v(C)]/d_j$, 表示任务 T 的第 j 维能力需求中单位能力所对应的报酬.

agent 实际完成任务多少就是 agent 对于所属任务求解联盟的实际贡献, 据此可以把联盟 C 的效用 $v(C)$ 平摊到任务 T 的能力需求上, 以期作为效用分配的价格标准. 例如 a_i 完成任务量 $[s_1^i, s_2^i, \dots, s_r^i]$, 则其将获得效用 $u_i = \sum_j \alpha_j \cdot s_j^i$, a_i 可以依据 u_i 申请等级进化, 从而在系统的不同等级间迁移.

2.2 无妒忌原则

约定理性 agent 都遵循无妒忌原则, 即在公平分配原则下, 当联盟中各 agent 的贫富差距较大时, 处于劣势效用的 agent 承认其劣势效用是其贡献少所致, 并寄希望于其节省下来的能力会在后续联盟中获取效用, 每个理性的 agent 仍旧会积极地、迅速地、高效地完成的任务, 而不会因妒忌心理 (Green-eyed mind) 退出联盟.

2.3 基于拍卖的任务分解

当联盟 $C = \{a_1, a_2, \dots, a_k\} (k < n)$ 已经能够承担任务 T 时, 就需要对 T 进行分解, 以便交由 $\forall a_i \in C (i = 1, 2, \dots, k)$ 去执行. 对 T 的分解可以采取拍卖的方式, 具体

描述如下:

对 T 进行拍卖, a_i 根据自身实际能力采取一次报价形式申请任务量 $[e_1^i, e_2^i, \dots, e_r^i]$, 因为效用遵循“按劳分配”, 故每个理性的 agent 均想多承担一些任务能力, 在报价时会尽量选择贡献其全部能力. 所以 a_i 的报价会满足:

$$e_j^i = \begin{cases} b_j^i, & b_j^i < d_j \\ d_j, & b_j^i \geq d_j \end{cases}, \quad j = 1, 2, \dots, r$$

此时, 有可能 $\exists j \in \{1, 2, \dots, r\}$, 使得 $\sum_i e_j^i > d_j$, 则把 e_j^i 调整为 $s_j^i = e_j^i - 1/k \cdot (\sum_i e_j^i - d_j)$, 但如果 a_i 能力的第 j 维分量 b_j^i 太小, 则有可能出现 $s_j^i < 0$, 即 a_i 没有参与第 j 维任务的求解, 这是 a_i 不希望看到的, 所以这时规定分配给 a_i 的第 j 维任务量即 b_j^i , 第 j 维剩下的任务量 $(d_j - b_j^i)$ 再由联盟中的其他 agent 通过二次拍卖分解. 最后, $[s_1^i, s_2^i, \dots, s_r^i]$ 就是分派给 a_i 的实际任务量, 并且满足 $\forall j \in \{1, 2, \dots, r\}, \sum_i s_j^i = d_j$.

此方法简单、快速, 为联盟内的各 agent 提供了平等参与任务的机会, 而且能力强的 agent 总是比能力弱的 agent 分派的任务量多, 在一定程度上体现了“能者多劳”的思想.

2.4 基于合同的效用分配

已知分派给 $\forall a_i \in C$ 的任务量是 $[s_1^i, s_2^i, \dots, s_r^i]$. $\{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ 签订合同如下:

1) 若直到 T 被完成也没有新的 agent 加入 C , 则 $v(C)$ 将严格按照 a_i 的效用 $u_i = \sum_j \alpha_j \cdot s_j^i$ 进行分配.

2) 若中途有某 agent 退出联盟, 则其执行任务所耗费的能力不仅会损失, 而且其对应的报酬也会丧失.

3) 若中途有 a_{k+1} 加入联盟 C , 并带来额外效用 v_a , 此时 $\forall a_i \in C (i = 1, 2, \dots, k)$ 已经完成任务量 $[g_1^i, g_2^i, \dots, g_r^i]$, 则

a) 终止 $\{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ 的合同, 分配效用

$$u_i^* = \sum_j \alpha_j \cdot g_j^i \quad (1)$$

给 a_i ;

b) 更新 a_i 的能力 $[b_1^i, b_2^i, \dots, b_r^i]$, 满足对 $\forall j \in \{1, 2, \dots, r\}$, 有

$$b_j^i = b_j^i - g_j^i \quad (2)$$

c) 更新 T 的能力需求 $[d_1', d_2', \dots, d_r']$, 满足对 $\forall j \in \{1, 2, \dots, r\}$, 有

$$d_j' = d_j - \sum_i g_j^i \quad (3)$$

d) 更新联盟效用 $v(C^*) = v(C) + v_a - \sum_i u_i^*$;

e) 更新单位效用因子 α_j^* ,

$$\alpha_j^* = \frac{w_j \cdot v(C^*)}{d_j'} \quad (4)$$

f) $\{a_1, a_2, \dots, a_k, a_{k+1}\}$ 根据第 2.3 节重新分派任务量, 并签订新的合同.

2.5 实例分析

以经典的三个 agent 的 Postman 问题^[7] 为例来说明本文的联盟形成策略的求解过程.

T 的能力需求 $[3, 3, 3]$, 能力权重 $\left\{\frac{1}{6}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}\right\}$; a_1, a_2, a_3 的能力 $\mathbf{B}_1 = \mathbf{B}_2 = \mathbf{B}_3 = [2, 2, 2]$; 联盟契约效用

为: $v(\{a_i\} | i = 1, 2, 3) = 0$, $v(\{a_i, a_j\} | i \neq j) = 3$, $v(\{a_1, a_2, a_3\}) = 4$.

形成联盟 $C = \{a_1, a_2\}$, 联盟效用为 3, 根据定义 4 可求得单位效用因子为 $\left\{\frac{1}{6}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}\right\}$. a_1, a_2 均申请任务量 $[2, 2, 2]$, 由于总和超出了任务的能力需求, 故 a_1, a_2 的任务量被调整为 $\left[\frac{3}{2}, \frac{3}{2}, \frac{3}{2}\right]$. $\{a_1, a_2\}$ 签订合同, 在合同中规定任务完成后各自的契约效用为 $u_1 = u_2 = \frac{3}{2} \times \frac{1}{6} + \frac{3}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{3}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{3}{2}$.

某时刻 a_3 加入, 带来额外效用 1.

若 a_3 加入时, a_1, a_2 均完成任务量 $[1, 1, 1]$, 则

1) 首先根据式 (1) 分配效用 $u_1^* = u_2^* = 1 \times \frac{1}{6} + 1 \times \frac{1}{2} + 1 \times \frac{1}{3} = 1$;

2) 然后根据式 (3) 更新 T 的能力需求 $[1, 1, 1]$;

3) 由式 (2) 可得 a_1, a_2 均剩有能力 $[1, 1, 1]$;

4) 联盟效用变为 $v(C^*) = 3 - 1 - 1 + 1 = 2$, 根据式 (4)

计算新的单位效用因子 $\left\{\frac{1}{3}, 1, \frac{2}{3}\right\}$;

5) a_1, a_2, a_3 均申请任务量 $[1, 1, 1]$, 由于总和超出了任务的能力需求, 故 a_1, a_2, a_3 的任务量被调整为 $\left[\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}\right]$;

6) $\{a_1, a_2, a_3\}$ 签订新合同, 在新合同中规定任务完成后各自的契约效用为 $u_1' = u_2' = u_3' = \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \times 1 + \frac{1}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{2}{3}$.

在联盟总效用增加的情况下, a_1, a_2 的效用与 a_3 加入前旧合同中规定的效用相比得到了一定的提高, a_1, a_2 会积极与 a_3 合作, 在完成 T 后, 最后各自获得效用 $u_1 = u_2 = 1 + \frac{2}{3} = \frac{5}{3} > \frac{3}{2}$, $u_3 = \frac{2}{3}$.

若 a_3 加入时, a_1, a_2 均完成任务量 $\left[\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right]$, 则

1) 首先根据式 (1) 分配效用 $u_1^* = u_2^* = \frac{1}{2} \times \frac{1}{6} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{2}$;

2) 然后根据式 (3) 更新 T 的能力需求 $[2, 2, 2]$;

3) 由式 (2) 可得 a_1, a_2 均剩有能力 $\left[\frac{3}{2}, \frac{3}{2}, \frac{3}{2}\right]$;

4) 联盟效用变为 $v(C^*) = 3 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} + 1 = 3$, 根据式

(4) 计算新的单位效用因子 $\left\{\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{2}\right\}$;

5) a_1, a_2 均申请任务量 $\left[\frac{3}{2}, \frac{3}{2}, \frac{3}{2}\right]$, a_3 申请任务量 $[2, 2, 2]$, 由于总和超出了任务的能力需求, 故 a_1, a_2 的任务量被调整为 $\left[\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right]$, a_3 的任务量被调整为 $[1, 1, 1]$;

6) $\{a_1, a_2, a_3\}$ 签订新合同, 在新合同中规定任务完成后各自的契约效用为 $u_1' = u_2' = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \times \frac{3}{4} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$, $u_3' = 1 \times \frac{1}{4} + 1 \times \frac{3}{4} + 1 \times \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$.

在联盟总效用增加的情况下, a_1, a_2 的效用与 a_3 加入前旧合同中规定的效用相比反而降低了一点, 由于无妒忌原则的作用, a_1, a_2 承认其效用减少是其贡献减少所致, 并寄希望于其节省下来的能力会在后续联盟中获取效用, 所以 a_1, a_2 不会对 a_3 产生不满, 仍然积极与 a_3 合作, 在完成 T 后最后

各自获得效用 $u_1 = u_2 = \frac{1}{2} + \frac{3}{4} = \frac{5}{4} < \frac{3}{2}$, $u_3 = \frac{3}{2}$.

3 联盟形成策略的性能分析

3.1 全局最优

设某时刻 MAS 中的联盟分布状态为 $\{C_i = \{a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_k}\} | i = 1, 2, \dots, l\}$, 则必然存在最优时刻, 使得 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 $\sum_i v(C_i) = v(A)$. 因为只要系统还未达到全局最优时刻, 则 $\sum_i v(C_i) < v(A)$, 即系统中还有部分效用可图, 由超加性可以保证必然存在两个联盟 C_j, C_k , 使得 $v(C_j \cup C_k) > v(C_j) + v(C_k)$, 所以 C_j, C_k 必然会提出与对方结盟, 如此下去直到系统中毫无效用可图, 即 $\sum_i v(C_i) = v(A)$, 系统必将会达到最优时刻.

3.2 Nash 均衡

在第 3.1 节的全局最优状态下, $\forall a_j \in C_i$ 具有策略: 1) 退出 C_i 并加入其他已有联盟; 2) 拉拢其他 agent 与自己结盟; 3) 执行任务.

若 a_j 采取策略 1), 不仅其已经做出的努力会付之东流 ($u_j' < u_j$), 而且此时联盟分布已达全局最优, a_j 不能给其他任何已有联盟带来任何额外效用 ($v_{a_j} = v(A) - \sum_i v(C_i) = 0$), 所以 a_j 会被其他已有联盟拒之门外.

若 a_j 采取策略 2), 如果其拉拢 C_i 内部的若干 agent, 由于联盟总效用会下降 ($v_{C_i}' < v_{C_i}$), 将导致联盟中的各 agent 效用随之减少, 所以不会有任何 agent 响应 a_j , 如果其拉拢 C_i 外部的若干 agent 组成新联盟, 由于联盟分布已达全局最优, 此时超加性下的任意两个联盟 C_j, C_k 满足 $v(C_j \cup C_k) = v(C_j) + v(C_k)$, 即系统中没有任何效用可图, 所以也不会有任何 agent 响应 a_j .

a_j 只能选择策略 3), 所有 agent 的最佳策略就是维持全局最优状态, 每一个理性的 agent 都会自觉地执行任务直到任务完成, 而不会有单独改变策略的冲动. 依据定义 3 可知, 任务求解联盟 C_i 将处于 Nash 均衡状态直到任务完成, C_i 具有 Nash 均衡意义下的稳定性.

3.3 简单性和时效性

效用分配是根据各 agent 的实际贡献实行按劳分配, 与 Shapley 值^[4-5] 相比计算量是常量, 较容易实现. 当某 agent 有与其他 agent 形成联盟的可能时, 该 agent 越早加入联盟, 它分派的任务量就越多, 因为此时 $\forall a_i \in C$ 已经完成的任务量 $[g_1^i, g_2^i, \dots, g_r^i]$ 必然较少, 而剩余的任务量 $[d_1^i, d_2^i, \dots, d_r^i]$ 较多, 新加入的 a_{k+1} 分派到的任务量就越多, 相应地其获得的效用必然就越高, 而且多劳多得的思想也在一定程度上增加了时效性.

3.4 与相关方法的对比

基于第 2.5 节中的实例, 表 1 给出了 Shapley 值方法^[4-5]、文献 [6] 的方法、文献 [8] 的方法以及本文方法的求解过程, 表 2 给出了相关的性能比较.

表 1 四种方法求解过程比较
Table 1 Comparison of four methods' solving

方法	$\{a_1\}$	$\{a_1, a_2\}$	$\{a_1, a_2, a_3\}$
	u_1	u_1, u_2	u_1, u_2, u_3
Shapley 值方法	0	$\frac{3}{2}, \frac{3}{2}$	$\frac{4}{3}, \frac{4}{3}, \frac{4}{3}$
文献 [6] 的方法	0	$\frac{3}{2}, \frac{3}{2}$	$\frac{11}{6}, \frac{11}{6}, \frac{1}{3}$
文献 [8] 的方法	0	-, -	-, -, -
本文方法	0	$\frac{3}{2}, \frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}, \frac{5}{3}, \frac{2}{3}$

表 2 相关的性能比较
Table 2 Comparison of interrelated performance

方法	全局最优	Nash 均衡	计算	非减	时效
Shapley 值方法	较好	差	复杂	差	较好
文献 [6] 的方法	好	较好	简单	好	较好
文献 [8] 的方法	较好	差	简单	好	差
本文方法	好	好	简单	较好	好

从表 1 和表 2 可以看出, 前三种方法没有确切反映出 agent 对联盟贡献的差异性, 因此会形成大家都吃大锅饭的情况, 总有一些 agent 劳动的多却获得的少, 而另一些 agent 劳动的少却得到的多, 从而影响了联盟的时效性, 因为对于某些 agent 来说, 做与不做结果是一样的. 特别是文献 [8] 的方法, 在形成联盟 $\{a_1, a_2\}$ 时, 效用分配为 $u_1 = u_2 = 2$, 而实际的联盟契约效用为 $v(\{a_1, a_2\}) = 3 < (2 + 2) = 4$, 导致联盟死锁, 效用分配失败. 与前三种方法相比, 本文方法能够较好地满足全局最优、Nash 均衡、简单、时效等要求, 但效用非减性一般.

4 总结与讨论

本文针对联盟形成策略中存在的搭便车问题, 给出了一种基于理性 agent 的任务求解联盟形成的行为策略, 其基于拍卖的任务分解为联盟内各 agent 提供了平等参与任务求解的机会, 其基于合同的效用分配严格遵循按劳分配的原则, 充分反映了各 agent 对于联盟贡献的差异性, 同时该策略能较好地满足全局最优、Nash 均衡、简单、时效等要求, 优于 Shapley 值^[4-5]的方法和文献 [6, 8] 提出的策略.

但本文也存在着一定局限, 主要是 agent 加入已有联盟的时机具有主观性、盲目性和随机性, 导致联盟总效用增加时原联盟成员的效用有可能出现下降, 虽然有无私原则保证联盟的稳定性, 但这种约束具有强制性, 会打击其他 agent 加入已有联盟的兴趣, 解决的办法就是找出一个确切的时间点 t , 只要让 agent 在时间点 t 之后加入已有联盟, 就能做到既严格遵循按劳分配又能完全保证原联盟成员效用非减, 这将是下一步的研究重点.

References

- 1 Klusch M, Shehory O. Coalition formation among rational information agents. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 1996, **1038**: 204–217
- 2 Klusch M, Gerber A. Dynamic coalition formation among rational agents. *IEEE Journal on Intelligent Systems*, 2002, **17**(3): 42–47
- 3 Fudenberg D, Tirole J. *Game Theory*. Cambridge: MIT Press, 1991

- 4 Shehory O, Kraus S. Formation of overlapping coalitions for precedence-ordered task-execution among autonomous agents. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Multi-agent Systems*. Kyoto, Japan: AAAI Press, 1996. 330–337
- 5 Conitzer V, Sandholm T. Computing shapely values, manipulating value division schemes, and checking core membership in multi-issue domains. In: *Proceedings of the 19th National Conference on Artificial Intelligence*. California, USA: AAAI Press, 2004. 219–225
- 6 Luo Yi, Shi Chun-Yi. The behavior strategy to form coalition in agent cooperative problem-solving. *Chinese Journal of Computers*, 1997, **20**(11): 961–965
(罗翊, 石纯一. Agent 协作求解中形成联盟的行为策略. *计算机学报*, 1997, **20**(11): 961–965)
- 7 Zoltnik G, Rosenschein J S. Coalition, cryptography, and stability: mechanisms for coalition formation in task oriented domains. In: *Proceedings of the 12th National Conference on Artificial Intelligence*. Seattle, USA: AAAI Press, 1994. 432–437
- 8 Jiang Jian-Guo, Xia Na, Yu Chun-Hua. The coalition formation strategy based on capability vector contribution-rate and auction. *Acta Electronica Sinica*, 2004, **32** (12A): 215–217
(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. *电子学报*, 2004, **32**(12A): 215–217)
- 9 Nash J. Equilibrium points in n -person games. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. USA, 1950, **36**(1): 48–49

蒋建国 合肥工业大学计算机与信息学院教授. 主要研究方向为传感与智能控制, 信号与信息处理. E-mail: jgg@ah165.net

(JIANG Jian-Guo Professor at School of Computer and Information, Hefei University of Technology. His research interest covers sensor and intelligent control, signal and information processing.)

张国富 博士研究生, 主要研究方向为分布式人工智能, 进化计算. 本文通信作者. E-mail: zhang197933@163.com

(ZHANG Guo-Fu Ph.D. candidate. His research interest covers distributed artificial intelligence, evolving computing. Corresponding author of this paper.)

夏娜 合肥工业大学计算机与信息学院副教授, 于 2005 年在该院获得博士学位, 主要研究方向为分布式人工智能, 无线传感器网络. E-mail: xiananawo@hfut.edu.cn

(XIA Na Associate professor at School of Computer and Information, Hefei University of Technology, where he received his Ph.D. degree in 2005. His research interest covers distributed artificial intelligence, wireless sensor networks.)

苏兆品 博士研究生, 主要研究方向为免疫算法, agent 理论.

E-mail: szhpin@163.com

(SU Zhao-Pin Ph.D. candidate. Her research interest covers immune algorithm, agent theory.)