基于忠诚度的多智能体联盟效用分配策略

曹义亲¹ 张 贞¹ 黄晓生²

(华东交通大学软件学院 南昌 330013)¹ (华东交通大学信息工程学院 南昌 330013)²

摘 要 为增强多智能体系统中联盟成员效用划分的合理性,促使 agent 形成稳定的全局最优联盟,提出了一种基于忠诚度的多智能体联盟效用分配策略。新策略引入 agent 忠诚度的概念,根据 agent 每次参与联盟后是否服务到任务结束来对 agent 忠诚度进行评价,从而表示各 agent 的忠诚度大小,将忠诚度与各 agent 完成任务的能力相结合,共同决定联盟内各 agent 效用如何划分。理论分析和实验表明,新策略提高了对联盟效用分配的合理性,较好地满足了联盟形成机制的全局最优性、强稳定性、时效性、简单性等要求。

关键词 多智能体系统,联盟,效用分配,忠诚度

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Multi-agent System Coalition Utility Allocation Strategy Based on Loyalty

CAO Yi-qin¹ ZHANG Zhen¹ HUANG Xiao-sheng²

(School of Software, East China Jiao Tong University, Nanchang 330013, China)¹

(School of Information Engineering, East China Jiao Tong University, Nanchang 330013, China)²

Abstract In order to enhance the rationality about the coalition utility allocation among agents and the stability about forming the global optimal coalition in multi-agent system, this paper proposed a coalition formation strategy based on loyalty. The new strategy introduces the conception of agent's loyalty, determines if one agent leaves the coalition before finishing the task or not during agent taking part in a coalition every time, and consequently evaluates the agent's loyalty. At the same time, the new strategy decides the coalition utility allocation by means of combining each agent's loyalty and their ability to finish the task. Theoretical analysis and experiment results show that the novel strategy can improve the justice of allocation for utility and achieve a global optimal solution, which is stable, speedy and simple.

Keywords Multi-agent system (MAS), Coalition, Utility allocation, Loyalty

多 agent 系统(multi-agent system, MAS)中,单个 agent 通常能力有限,需部分 agent 形成联盟相互协作完成任务^[1-3]。好的效用分配策略不但能将各 agent 参与联盟后所得的效用进行合理划分,还可以确保生成联盟的稳定性、简单性,并鼓励 agent 形成全局最优联盟以获得更多效用。因此,采取合理的多智能体联盟效用分配策略,对研究联盟形成问题显得很重要。

目前有很多学者对于效用分配问题进行研究。常用效用分配策略为 Shapley 值法^[4],但 Shapley 值法计算复杂且其过分注意效用的分配平等,忽略了联盟形成过程中各 agent 的能力差异,导致联盟扩展后新联盟整体效用增大而原联盟成员效用下降,降低联盟稳定性。此外 Shapley 值法并未考虑 agent 加入联盟的速度,造成各 agent 因相互等待其他成员完成任务而形成死锁,时效性低。文献[5]采取非减性效用分配原则,通过均分法分配效用,具有简单、时效等优点,优于 Shapley 值方法,但过分追求计算简单,对效用的平均分配未

反映出各 agent 完成联盟任务的能力的差异。文献[6]在一定程度上体现了按劳分配的思想,但未交待各 agent 在任务求解过程中的贡献大小,容易产生死锁。此外,对额外效用的拍卖分配需要 agent 不停交互,增加 agent 通信开销。文献[7]提出一种基于利益均衡的联盟形成策略,在非减性效用分配等原则的基础上,提高了对额外效用分配的合理性,但对于已有效用的平均分配仍未反映出联盟各 agent 对联盟的贡献大小,致使联盟不稳定。文献[8]提出一种通过拍卖机制快速分解任务、基于合同机制分配效用的策略,它反映出各 agent 能力区别,对已有效用分配合理,但其基于拍卖的任务分解会增加 agent 通信开销。文献[9]提出一种基于奖励机制的效用分配策略,提高了联盟形成的时效性,但仅依赖契约法^[5]则并不能更好地保证联盟稳定性。文献[10]基于信用和名誉模型^[11]提出了一种基于信用度的效用分配策略,对退出联盟现象进行有效的控制,但对信用度的评定过程复杂且需要 agent 之间不停交互,增加了 agent 通信开销。

到稿日期:2013-07-24 返修日期:2013-10-18 本文受江西省教育厅科技项目(GJJ12305, GJJ12306),江西省科技支撑计划项目(20123BBE50093),江西省研究生创新专项资金项目(YC2012-X018),国家自然科学基金项目(61365008, 61163056)资助。

曹义亲(1964—),男,硕士,教授,主要研究方向为智能计算、模式识别与人工智能, E-mail: yqcao@ecjtu. jx. cn.; 张 贞(1988—),女,硕士生,主要研究方向为多智能体联盟形成算法、智能计算, E-mail: zhen1989zz@foxmail. com(通信作者); 黄晓生(1972—),男,博士,副教授,主要研究方向为图像处理、机器视觉。

上述论文提出的策略从保证 agent 分配效用非减、反映 agent 完成任务能力差异等方面对 agent 联盟效用分配问题加以改进,以保证生成联盟的全局最优性、稳定性、时效性。但这些策略均未考虑将 agent 能否为联盟服务到任务结束的情况进行分析和利用。而这些情况可在很大程度上反映出各 agent 参与联盟后完成任务的素养。若将此素养用以影响联盟效用分配,可提高联盟形成的稳定性、时效性。本文以此为入手点引入忠诚度的概念,提出一种基于忠诚度的联盟效用分配新策略。新策略以 agent 忠诚度大小及完成任务的能力强弱为依据,对联盟中各 agent 进行效用分配,并根据 agent 每次加入联盟后是否服务到任务结束来对各 agent 的忠诚度进行更新。新策略在保证联盟的全局最优以及低通信效用的同时,提高了联盟的稳定性、时效性,使 agent 效用分配更加公平合理。

1 问题描述

设有 n 个 agent 的集合: $N = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, agent a_i 完成任务的能力由向量 $B_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ir})$ 表示,其中 $b_{ik} \geq 0 (1 \leq k \leq r, 1 \leq i \leq n)$ 。设任务集 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$,用 d_k 表示完成任务 t_j 第 k 维应具备的能力大小,则完成任务 t_j 需要的能力向量 $B_{T_j} = (d_{1j}, d_{2j}, \dots, d_{rj}), d_{kj} \geq 0 (1 \leq j \leq m, 1 \leq k \leq r)$ 。联盟 C_i 为 N 的非空子集,其能力向量 $B_{C_i} = (b_{1i}^{C_i}, b_{2i}^{C_i}, \dots, b_{ri}^{C_i})$,其中 $B_{C_i} = \sum_{a_i \in C_i} B_i$,即 $b_{ki}^{C_i}$ 表示联盟 C_i 所有成员在 B_{C_i} 第 k 维的能力总和。则联盟 C_i 可完成任务 t_j 的必要条件为: $b_{ki}^{C_i} \geq d_{kj}, k=1, 2, \dots, r$,即联盟成员各维的总能力值不小于完成任务所需的各维能力值。若 C_i 完成任务即可获得效用 $V(C_i)$, $u(a_i)$ 表示 C_i 中 agent a_i 分得的效用。对任意两个联盟 $C_1, C_2 \subseteq N, C_1 \cap C_2 = \emptyset$,有 $V(C_1 \cup C_2) \geq V(C_1) + V(C_2)$, C_1, C_2 合并所带来的额外效用 $\Delta V = V(C_1 \cup C_2) - V(C_1) - V(C_2)$ 。

Zoltkin 和 Rosenschein^[12] 提出联盟效用分配方法的要求:

1) 有效性:各方分享所有共同效用,即 $\sum_{a_i \in C_i} u(a_i) = V(C_i)$ 。

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 的效用会损害其他 agent;

(c) 联盟:部分 agent 退出联盟而组成新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 在联盟效用划分时应获得相等的效用。对称指两个 agent 对所有可能联盟的贡献相同。从交叉角度看,就是 agent 无特殊角色。

其中,有效性、稳定性、简单性等为联盟效用分配所需考虑的重要性质。此外,进行合理的联盟效用分配时还需考虑以下性质:

1) 时效性:保证 agent 在可能与其他 agent 形成联盟时,越早加入联盟其效用越高。这样可促使 agent 积极、及时合作。

2) 效用非减性:在动态开放的环境下,各 agent 在联盟形成过程中的行为也是动态变化的,因此不能根据原始判断确定最优方案。联盟形成与变化过程中,应保证已获效用或分配协议中所确定划分的效用非减。

2 忠诚度

2.1 忠诚度定义

每个 agent 在参与某联盟完成任务后,还会加入到其他新联盟中完成任务。契约法则^[5]让中途退出联盟的 agent 向联盟其他成员付出了一定的代价,但并未给背叛联盟的 agent 留下“污点”,也未使忠于联盟的 agent 获得奖励,在一定程度上影响了 agent 下次参与联盟的积极性。若能保留契约法则同时客观反映出 agent 忠于联盟完成任务的素养高低,并以此影响 agent 的效用分配,则各 agent 加入联盟完成任务的目的将不仅仅局限于获得一时的最大效用。各 agent 为获得更多的长远效用,将更倾向于积极参与联盟并为联盟服务到任务结束,从而增强生成联盟的稳定性、时效性。

因此,本文将 agent 服务到任务结束才离开联盟的素养定义为忠诚度,并根据 agent 每次是否为联盟服务到任务完成来对 agent 的忠诚度进行更新。

2.2 联盟效用分配中忠诚度的确定

为对 agent 的忠诚度进行定量评价,引入变量 *loyalty* 来表示 agent 的忠诚度。根据 agent 是否在任务完成后离开联盟,对 *loyalty* 进行相应更新:agent a_i 在第 t 次参加联盟完成任务时,若其忠于联盟一直服务到任务完成,由式(1)对其忠诚行为进行奖励,以鼓励 agent 通过参与联盟完成任务增加其忠诚度;若其任务未完成就退出联盟,则由式(2)对其背叛行为做出惩罚留下“污点”,以此避免联盟中 agent 轻易退出联盟,保证联盟的稳定性。

$$loyalty_i^{t+1} = loyalty_i^t + p_i \quad (1)$$

$$loyalty_i^{t+1} = loyalty_i^t - p_i \quad (2)$$

其中, p_i 为 agent a_i 完成任务分得效用在总效用中所占比例(具体计算见式(3))。 *loyalty_i* 取值范围为 $[0, 1]$,其初始值为 0.5,表示 a_i 在未参与任何联盟时其忠诚度一般,随着 a_i 参与联盟次数的增长 *loyalty_i* 也会随之变化,若 *loyalty_i* = 0 代表 a_i 的忠诚度极低, *loyalty_i* = 1 表示 a_i 的忠诚度很高。

3 基于忠诚度的联盟效用分配策略

完成不同任务对 agent 的能力和忠诚度的重视程度有区别。例如一些不允许失败的任务将很看重 agent 的忠诚度,在保证任务能顺利完成的前提下,联盟中能力相同的几个 agent 中,忠诚度高的 agent 将分得更多效用;相反,对于一些需要立即完成的任务则更看重各 agent 完成任务的能力,在确保任务顺利完成前提下,联盟中忠诚度相同的几个 agent 中,能力强的 agent 将分得更多效用。据此,在确保任务完成的前提下,本文将 agent 完成任务的能力及其忠诚度结合,由它们共同决定分给 agent 的联盟效用。设 agent a_i 与其他 agent 形成的联盟 C_i 有 n 个成员, a_i 完成任务 T 分得的效用在联盟总效用中所占比例为 p_i 。 p_i 由 a_i 参与本次任务所付出的能力 B_i 与完成任务所需能力 B_T 之比、 a_i 的 *loyalty_i* 及联盟中所有成员在本次任务付出的能力 $B_k (k=1, 2, \dots, n)$ 与完成任务所需能力 B_T 之比、其各自的 *loyalty_k* ($k=1, 2, \dots,$

n)共同决定。对 p_i 的更新如式(3)所示:

$$p_i = \frac{\omega_1 \text{loyalty}_i + \omega_2 \frac{B_i}{B_T}}{\sum_{k=1}^n (\omega_1 \text{loyalty}_k + \omega_2 \frac{B_k}{B_T})} \quad (3)$$

其中 ω_1 为忠诚度权重,表示划分任务效用时对 agent 忠诚度的重视程度; ω_2 为按劳分配权重,表示对 agent 能力大小的重视程度,其中 $\omega_1 + \omega_2 = 1$, ω_1 和 ω_2 根据实际情况确定(通常情况下 $\omega_1 = \omega_2 = \frac{1}{2}$,即对忠诚度和完成任务的能力同样重视)。

1) n 个 agent 同时形成联盟 C_i 效用分配策略

Step 1 由式(3)计算 agent a_i 完成任务所得效用在联盟总效用中所占比例 p_i ;

Step 2 计算联盟中每个 agent a_i 完成此次任务所得效用 $u(a_i) = V(C_i) \times p_i$;

Step 3 若某 agent a_i 未完成任务便退出联盟,按式(1)进行更新 loyalty_i ,若 $\text{loyalty}_i < 0$,则令 $\text{loyalty}_i = 0$;

Step 4 若某 agent a_i 为联盟服务到任务完成,按式(2)更新 loyalty_i ,若 $\text{loyalty}_i > 1$,则令 $\text{loyalty}_i = 1$ 。

2) 已有多个联盟合并为新的联盟的策略

两个联盟 $C_1 = \{a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n}\}$ 和 $C_2 = \{a_{j_1}, a_{j_2}, \dots, a_{j_m}\}$ 在形成新联盟 $C_1 \cup C_2$ 时,额外效用 $\Delta V = V(C_1 \cup C_2) - V(C_1) - V(C_2)$ 。 a_i 因联盟合并后的新增效用 $\Delta u(a_i)$ 根据忠诚度按 $\Delta u(a_i) = \Delta V \times p_i$ 进行分配($\omega_1 = 1, \omega_2 = 0$)。

3) 单个 agent 的行为策略

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 理论分析

1) 全局最优性

命题 1 在 TOD(Task Oriented Domain)理论^[12]成立的条件下, $N = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 中 agent 最终形成联盟将满足 $\sum_i V(C_i) = V(N)$,即其分布状态的效用函数值达到最优。

证明:该命题与文献[5]中命题 1 需要证明的问题相同。基于忠诚度的效用分配策略仍满足 $V(C_1 \cup C_2) - V(C_1) - V(C_2) \geq 0$,并可保证 agent 效用分配非减,这符合文献[5]中证明命题 1 所具备的条件,因此该命题得证。

2) 强稳定性

命题 2 在满足 TOD 理论的基础上,任何子联盟都不能够通过脱离联盟获得更大的效用。

证明:该命题与文献[5]中命题 2 需要证明的问题相同。基于忠诚度的效用分配策略依然采用契约法则,要求突然退出联盟的 agent 向联盟中其余 agent 支付效用损失,这符合文献[5]中证明命题 2 所具备的条件,因此该命题得证。

命题 3 基于忠诚度的效用分配能够达到强稳定性,即保证个体或子联盟不愿中途退出联盟。

证明:假设 a_i 试图中途退出联盟 $C = \{a_1, \dots, a_n\}$, a_i 忠诚度为 loyalty_i ,完成原联盟任务后分得效用在联盟总效用中所占比例为 p_i ;退出联盟后的忠诚度为 $\text{loyalty}_i'$,加入新联盟分得效用在联盟总效用中所占比例为 p_i' 。根据效用分配策略, a_i 突然退出联盟后其忠诚度 $\text{loyalty}_i'$ 满足 $\text{loyalty}_i' \leq \text{loyalty}_i$,其中 $\text{loyalty}_i \geq 0$ 。设 $\Delta = \text{loyalty}_i - \text{loyalty}_i' \geq 0$,由于 $0 < p_i < 1$,则有下式:

$$p_i' = \frac{\omega_1 \text{loyalty}_i' + \omega_2 \frac{B_i}{B_T}}{(\sum_{k=1, k \neq i}^n (\omega_1 \text{loyalty}_k + \omega_2 \frac{B_k}{B_T}) + \omega_1 \text{loyalty}_i') + \omega_2 \frac{B_i}{B_T}}$$

$$= \frac{\omega_1 \text{loyalty}_i + \omega_2 \frac{B_i}{B_T} - \omega_1 \Delta}{\sum_{k=1}^n (\omega_1 \text{loyalty}_k + \omega_2 \frac{B_k}{B_T}) - \omega_1 \Delta}$$

$$\leq \frac{\omega_1 \text{loyalty}_i + \omega_2 \frac{B_i}{B_T}}{\sum_{k=1}^n (\omega_1 \text{loyalty}_k + \omega_2 \frac{B_k}{B_T})} = p_i \quad (4)$$

式(4)的等号仅在 $\text{loyalty}_i = 0$,即 a_i 忠诚度已降为最低点的条件下满足。在此情况下若 a_i 仍不忠于联盟,则其在参与新联盟完成任务后会因 $\text{loyalty}_i = 0$ 而降低竞争力,处于效用分配的劣势位置。所以 agent 个体为不降低以后所得效用,不愿在中途轻易退出联盟。同理,若有任何子联盟中途退出联盟,这个子联盟内的所有成员均会受到相应的忠诚度惩罚,从而导致整个子联盟在参与新活动时可得效用减少,所以子联盟也不会中途轻易脱离联盟。综上所述,命题得证。

3) 非减性:由效用分配策略保证。

4) 时效性:若联盟 C_1 在某决策点可与另一个联盟 C_2 合并,那么在本文策略下,立即进行合并所获得的效用高于等待 C_2 与其他联盟合并后再与它们合并所获得的效用。此外,若 agent a_1 与 agent a_2 形成联盟后,对 loyalty_i 的更新措施可鼓励 agent 形成联盟提高忠诚度,从而增加时效性。

5) 简单性

(a) 计算难易度:效用通过参与者的忠诚度和任务完成能力大小分配,计算简单。

(b) 通信开销:agent 的忠诚度仅通过变量 loyalty 评判,无需 agent 额外沟通,通信开销低。

5 种策略的相关性能比较如表 1 所列。

表 1 相关性能比较

策略	全局最优	简单性				时效性
		稳定性	计算难易度	通信开销	非减性	
Shapley 值方法	差	差	复杂	低	差	差
文献[5]策略	好	较好	简单	低	好	差
文献[7]策略	好	较好	简单	高	好	差
文献[8]策略	好	较好	简单	高	好	好
本文策略	好	好	简单	低	好	好

5 Agent 效用分配实验

根据新的效用分配策略以及单个 agent 的行为策略组成联盟形成的新机制,以经典的 3 个 agent 的 postman 问题^[12]为例说明此机制求解过程:

任务 T 的能力向量 $B_T = \langle 3, 3, 3 \rangle$, $\omega_1 = \omega_2 = \frac{1}{2}$, agent a_1 、agent a_2 、agent a_3 的能力向量分别为 $B_1 = \langle 2, 2, 2 \rangle$, $B_2 = \langle 1, 1, 1 \rangle$, $B_3 = \langle 2, 2, 2 \rangle$; $V(\{a_i\} | i=1, 2, 3) = 0$, $V(\{a_1, a_2\}) = 3$, $V(\{a_1, a_2, a_3\}) = 4$ 。

1) 当 $\text{loyalty}_1 = \text{loyalty}_2 = \text{loyalty}_3 = 0.5$ 时

(a) 形成联盟 $C_1 = \{a_1, a_2\}$ 时,效用划分为

$$u(a_1) = 3 \times (\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{2}{3}) / (\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{3}) = \frac{7}{4}$$

$$u(a_2) = 3 \times (\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{3}) / (\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{3}) = \frac{5}{4}$$

$$\therefore \text{loyalty}_1 = \frac{1}{2} + \frac{7}{4} / 3 = \frac{13}{12} > 1$$

$$\therefore \text{loyalty}_1 = 1, \text{loyalty}_2 = \frac{1}{2} + \frac{5}{12} = \frac{11}{12}$$

(b) 联盟 $C_1 = \{a_1, a_2\}$ 加入 a_3 形成新联盟 $C_2 = \{a_1, a_2, a_3\}$ 时, 额外效用 $\Delta V = 4 - 3 = 1, \Delta u(a_1) = \Delta u(a_2) = \Delta u(a_3) = 1 \times (\frac{1}{2}) / (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = \frac{1}{3}$,

$$u(a_1) = \frac{7}{4} + \frac{1}{3} = \frac{25}{12}, u(a_2) = \frac{5}{4} + \frac{1}{3} = \frac{19}{12}, u(a_3) = 0 + \frac{1}{3} = \frac{1}{3}$$

$$\therefore \text{loyalty}_1 = \frac{1}{2} + \frac{25}{12} / 4 = \frac{49}{48} \therefore \text{loyalty}_1 = 1, \text{loyalty}_2 = \frac{1}{2} + \frac{19}{12} / 4 = \frac{43}{48}, \text{loyalty}_3 = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} / 4 = \frac{7}{12}$$

2) 当 $\text{loyalty}_1 = 0.4, \text{loyalty}_2 = 1, \text{loyalty}_3 = 0.8$ 时

(a) 形成联盟 $C_1 = \{a_1, a_2\}$ 时, 效用划分为 $u(a_1) = \frac{4}{3}, u(a_2) = \frac{5}{3}, \text{loyalty}_1 = \frac{38}{45}, \text{loyalty}_2 = 1$ 。

(b) 联盟 $C_1 = \{a_1, a_2\}$ 加入 a_3 形成新联盟 $C_2 = \{a_1, a_2, a_3\}$ 时, 额外效用 $\Delta V = 4 - 3 = 1, \Delta u(a_1) = \frac{2}{11}, \Delta u(a_2) = \frac{5}{11}, \Delta u(a_3) = \frac{4}{11}, u(a_1) = \frac{50}{33}, u(a_2) = \frac{70}{33}, u(a_3) = \frac{4}{11}, \text{loyalty}_1 = \frac{257}{330}, \text{loyalty}_2 = 1, \text{loyalty}_3 = \frac{49}{55}$ 。

在决策点 $a \rightarrow b, a_3$ 可选择加入联盟, 拉拢 a_2 组成新联盟或者不加入联盟。若 a_3 加入联盟, 根据 loyalty_3 参与 ΔV 分配, 任务完成后可获得相应效用以及 loyalty_3 的增大, 而较高 loyalty_3 可使其在下次加入新联盟后分得更多效用; 若 a_3 拉拢 a_2 组成新联盟 C_2' , 则应保证 $u(a_2)' > u(a_2)$, 同时因契约法则 C_2' 需向 a_1 支付效用损失, 因此在新联盟 C_2' 中 a_3 获得效用 $u'(\{a_3, a_2\}) - u'(a_2) - u(a_1) < 0$, 且因脱离联盟 a_2 的 loyalty_2 会因惩罚而减小; 若 a_3 拒绝加入联盟, 它将得不到任何效用, 同时它的忠诚度也不会增加, 在加入新联盟后 loyalty_3 将不能为 a_3 参与效用分配起促进作用。因此, a_3 选择加入联盟。

表 2 列出了 Shapley 值方法^[4]、文献[5, 7, 8]的策略和本文策略的求解过程。

Shapley 值方法在效用划分时并未突出各 agent 的能力不同, 致使此策略因缺乏公平性而影响联盟的稳定性。另外 a_3 加入联盟会减少其他成员所分效用, 使得联盟成员将偏向选择对自己有利的局部最优解。文献[5]、文献[7]及文献[8]的方法保证了联盟的效用非减, 但文献[5]、文献[7]策略未体现出 agent 完成联盟任务的能力大小; 文献[8]策略反映出了各 agent 的完成联盟任务的能力差别, 但与其他策略一样均未对忠诚于联盟的 agent 进行肯定, 可能会影响 agent 的工

作积极性。相对于其他方法, 新策略在保证 agent 效用非减的前提下, 根据各 agent 忠诚度及其对联盟的贡献, 更加公平有效地对联盟效用进行分配。

表 2 5 种策略求解过程比较

策略	{a ₁ }	{a ₁ , a ₂ }	{a ₁ , a ₂ , a ₃ }
	u(a ₁)	u(a ₁), u(a ₂)	u(a ₁), u(a ₂), u(a ₃)
Shapley 值方法	0	3/2, 3/2	4/3, 4/3, 3/4
文献[5]策略	0	3/2, 3/2	11/6, 11/6, 1/3
文献[7]策略	0	3/2, 3/2	7/4, 7/4, 1/2
文献[8]策略	0	3/2, 3/2	5/3, 5/3, 2/3
本文策略	loyalty ₁ = loyalty ₂ = loyalty ₃ = 0.5	0	7/4, 5/4, 25/12, 19/12, 1/3
	loyalty ₁ = 0.4, loyalty ₂ = 1, loyalty ₃ = 0.8	0	4/3, 5/3, 50/33, 70/33, 4/11

结束语 本文提出了一种基于忠诚度的多智能体联盟效用分配策略, 该策略有效地体现了忠诚度和 agent 完成联盟任务能力在分配效用时的重要性, 使得联盟中各 agent 效用划分更为公平、合理。对 agent 忠诚度的增减措施在一定程度上加强了联盟的稳定性, 同时也鼓励 agent 尽快参加联盟。总之, 新策略保证了联盟形成的全局最优性、强稳定性、简单性以及时效性。

参考文献

- [1] 胡立山, 石纯一, 李少芳. 给定限界的势结构分组与联盟结构生成[J]. 计算机学报, 2012, 35(12): 2618-2624
- [2] 刘惊雷, 张伟, 董向荣, 等. 一种 $O(2.983n)$ 时间复杂度的最优联盟结构生成算法[J]. 软件学报, 2011, 22(5): 938-950
- [3] 裘杭萍, 覃焱, 胡纳, 等. 多 Agent 系统中基于改进合同网模型的任务分配研究[J]. 计算机科学, 2012, 39(6A): 279-281
- [4] Shapley L S. A value for n-person games[M] // Roth A E. The Shapley Value Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 31-40
- [5] 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
- [6] 蒋建国, 夏娜, 于春华, 等. 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
- [7] 夏娜, 蒋建国, 于春华, 等. 一种基于利益均衡的联盟形成策略[J]. 控制与决策, 2005, 20(12): 71-75
- [8] 张国富. 基于群体智能的复杂联盟机制研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008: 51-66
- [9] 李剑, 景博, 杨义先. 一种基于奖励机制的 agent 联盟形成策略[J]. 电子学报, 2008, 37(12A): 71-75
- [10] 问翠梅. 多 Agent 系统中联盟形成问题的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2009: 34-38
- [11] Huynh T D, Jennings N R, Shadbolt N R. FIRE: An integrated trust and reputation model for open multi-agent systems[C] // Proc. 16th European Conference on Artificial Intelligence. Valencia, Spain, 2004: 18-22
- [12] Zoltkin G, Rosenschein J S. Coalition, Cryptography and Stability: Mechanisms for Coalition Formation in Task Oriented Domains[C] // Proc of the National Conf on Artificial Intelligence. Seattle: AAAI Press, 1994: 432-437