

有人-无人作战智能体任务联盟形成策略方法

万路军¹, 姚佩阳¹, 孙鹏¹, 邓长来², 税冬东¹

(1. 空军工程大学信息与导航学院, 陕西西安, 710077; 2. 93307部队, 辽宁沈阳, 110141)

摘要 为解决有人-无人作战智能体协同执行任务形成联盟问题, 采取先任务分组后进行智能体到任务组匹配的联盟形成策略, 即利用任务间相关程度具有传递性的特点, 引入任务距离概念, 设计了任务能力需求一致的任务分组策略, 并给出基于可达矩阵变换的分组求解方法。针对联盟形成是分布式能力聚合过程的特点, 在考虑智能体到任务组的匹配程度优先级和作战智能体能力利用效率的基础上, 设计一种基于拍卖机制的作战智能体到任务组的匹配策略。通过案例计算, 得到离岛突击想定下的任务联盟形成方案, 分析所形成联盟的资源冗余性, 验证了所提联盟形成策略和方法的有效性。

关键词 任务联盟; 能力匹配; 任务距离; 拍卖机制; 资源冗余

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.03.003

中图分类号 V37; TP391.9 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)03-0010-05

Strategy of Manned-unmanned Combat Agents Task Coalition Formation

WAN Lu-jun¹, YAO Pei-yang¹, SUN Peng¹, DENG Chang-lai², SHUI Dong-dong¹

(1. Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Unit of 93307, Shenyang 110141, China)

Abstract: To solve the manned-unmanned combat agents coalition formation problem in task enforcement, a method of the coalition formation strategy of task grouping first and the agents-group matching is adopted. The concept of task distance is introduced in order to make best use of the correlation transitivity between tasks. Then the tasks grouping strategy of coincident task requirement is designed and the grouping solution-finding method based on reachable matrix transform is presented. Considering the match degree priority and agent capability utilization efficiency in combat agents and task groups, the combat agent and task group match strategy based on auction mechanism is designed. A task coalition formation project under a given scenario is achieved by calculating, the resource redundancy of the formed task coalition is analyzed, which shows that the proposed coalition formation strategy and method are effective.

Key words: task coalition; capability matching; task distance; auction mechanism; resource redundancy

未来网络中心作战体系下强调聚力前沿, 突出战术层作战力量的自主决策和自同步作战能力, 将有人作战智能体(Manned Combat Agents, MCA)

和无人作战智能体(Unmanned Combat Agents, UCA)形成任务联盟(Task Coalition)协同执行战斗任务, 可以发挥二者优势互补的综合效能, 是实现自

收稿日期: 2012-11-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70771157, 61273048); 空军工程大学信息与导航学院博士创新基金资助项目(KDY2011002)

基金项目: 万路军(1986-), 男, 江苏连云港人, 博士生, 主要从事指挥控制智能体建模仿真研究。

E-mail: pandawlj@126.com

同步作战的重要途径之一。近年美军在实施网络中心战的进程中提出组建利益共同体 (Community of interest, COI) 以应对信息全域部署的挑战^[1], 任务联盟是体现 COI 理念的动态兵力编组新模式。近年, 网络化防空领域也提出拦截联盟的概念, 并对“目标-火力节点-制导节点”为一体的拦截联盟形成方法进行研究^[2]。在智能计算领域, 国内外学者针对 MAS 中的 Agent 联盟形成问题进行了系列研究, 从联盟结构^[3]、智能算法^[4-5]、聚类^[6]等角度为计算 Agent 联盟生成问题探索出可靠的理论技术基础。虚拟计算时, 通过将联盟形成问题模型视为组合优化, 智能优化算法可以求解得到一致性较好的联盟形成方案, 能力资源可以任意互补调配, 几乎没有条件约束。但 MCA 与 UCA 形成联盟是面向作战应用的, 必须考虑智能体广域分布、相互协作对链路通信要求极高的特点^[7], 要突出智能体的能力矢量的独立性。面对未来动态不确定战场环境, 形成的任务联盟不能是能力-需求完全一致的, 而应该具有一定的鲁棒性, 即只有在匹配过程中具备一定的能力冗余度, 才能在面对突发、不确定事件时进行有效调整。目前国内对兵力形成任务联盟问题的研究仍处于探索阶段, 本文以有人/无人作战智能体协同作战为背景, 设计一种合理适用的任务联盟形成策略, 确保形成的联盟能与所需完成的任务有效匹配。

1 问题解决思路及要素定义

1.1 MCA/UCA 任务联盟形成问题描述

分布式网络化作战条件下, 若干个 MCA 和多个 UCA 形成的任务联盟, 其具体数量配置由所需完成的任务需求决定。联盟形成问题主要是分析确定联盟中各作战智能体的数量, 使形成的任务联盟能力与任务需求可以有效匹配。若直接进行智能体到各任务的一致性优化匹配, 组合空间将随任务数和智能体数的增加而急剧扩展, 造成任务执行时成员对部分能力资源的恶性竞争, 将增加任务协作的负担。此外, 任务能力需求相近的任务之间存在相同子任务的可能性较大, 其所需要的平台类型相似的概率较高, 分组后再进行能力匹配可以降低匹配的组合空间, 也能使形成的联盟增加能力冗余度, 提高联盟执行任务的鲁棒性。故可根据任务的相关程度先将任务划分为多个任务组, 然后为每个任务组分配总能力大于该任务组能力需求的作战智能体, 最后合并匹配至各任务组的智能体形成最后联盟。

1.2 相关算子、要素定义与角色说明

定义下列算子: $G(a)$ 为获取作战智能体能力向量的算子, $N(T)$ 算子用于获取任务 T 的能力需求; $|\cdot|$ 算子用以求取向量的长度, \equiv 算子用以度量两种能力项是否为同一能力项。

定义 1 MCA 是认知决策能力的载体, UCA 是资源能力的载体。MCA 的数据属性包括: 集合 $B = \{b_m\} (m=1, 2, \dots, M)$, M 表示参与匹配的 MCA 数量, 只考虑 MCA 的认知决策能力值 $G(b_m) = w_m$; UCA 的数据属性包括: UCA 集合 $A = \{a\} (i=1, 2, \dots, N)$, N 表示参与攻击的 UCA 数量; 任意 $a \in A$ 在联盟形成前都有一个资源能力向量 $G(a) = ([G_i^{(1)}, V_i^{(1)}], [G_i^{(2)}, V_i^{(2)}], \dots, [G_i^{(|G(a)|)}, V_i^{(|G(a)|)}])$, 其中 $G_i^{(l)}$ 表示 a 具备的第 l 个资源能力项, $V_i^{(l)}$ 表示 a 具备的第 l 个资源能力的大小或程度, $|G(a)|$ 表示 a 具备的不同能力项数目。

定义 2 作战任务: 是作战任务目标的总和, 任务目标集合为 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_J\}$, J 为任务目标数量, 某任务目标 T_j 的认知决策能力需求值为 $N'(T_j) = W_j$, 资源能力需求向量为 $N(T_j) = ([N_j^{(1)}, R_j^{(1)}], [N_j^{(2)}, R_j^{(2)}], \dots, [N_j^{(|N(T_j)|)}, R_j^{(|N(T_j)|)}])$, $N_j^{(k)}$ 为 T_j 需要的第 k 个资源能力项, $R_j^{(k)}$ 为 T_j 所需的第 k 个资源能力的大小或程度, $|N(T_j)|$ 为 T_j 需要的不同资源能力项数。

定义 3 智能体对任务的资源匹配优先级系数: 智能体 a 在向作战任务 T_j 能力聚合时, 既要保证智能体的能力项尽可能满足作战任务, 还应使智能体的资源利用率尽可能高。若对于 $\forall N_j^{(k)}$, 满足 $N_j^{(k)} \equiv G_i^{(l)}$ 的 $G_i^{(l)}$ 数量 $N_a^{(i)}$, 则匹配优先级系数

$$p(a, T_j) = \left(\frac{N_a^{(i)}}{|N(T_j)|} \right) \left(\frac{N_a^{(i)}}{|G(a)|} \right)。$$

角色是具有某种能力集合的过程参与者或执行者的抽象, 任务联盟形成过程中, 会出现以下角色: ①中心作战智能体: 其承担者唯一, 通常直接由空中预警指挥作战智能体直接予以承担; ②战术决策与规划智能体: 主要由 MCA 承担, 提供任务的认知决策能力; ③战术执行作战智能体: 主要由 UCA 承担, 必要时也可由具有一定资源能力的 MCA 充当。

2 任务联盟形成策略与方法

2.1 基本策略

针对任务目标集合 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_J\}$, 先通过计算各任务资源能力需求间的差异程度, 将使命任务集中包含的众多任务目标分为多个簇内相似度高、簇间相关性低的独立任务组。各个任务组采用能力需求申请的思想, 将组内任务需求发布出去, 各

作战智能体根据自身能力及一定的能力-任务判断准则,确定承担相应任务,挑选出匹配各任务组的作战智能体簇,合并为最终的任务联盟。

2.2 任务分组策略

若任务集合 T 分组得到 N_T 个任务组 $C_T^{(1)}, C_T^{(2)}, \dots, C_T^{(N_C)}$, 即 $\{C_T^{(1)}, C_T^{(2)}, \dots, C_T^{(N_C)}\} = \langle T, R \rangle$, 且 $C_T^{(1)} \cup C_T^{(2)} \cup \dots \cup C_T^{(N_C)} = T, \forall C_T^{(k)}, C_T^{(k')},$ 有 $C_T^{(k)} \cap C_T^{(k')} = \emptyset$, 令:

$$S = |N(T_1) \cup N(T_2) \cup \dots \cup N(T_I)|,$$

若 S 为任务集合 T 需要的总能力项数, 可得 J 个任务目标与 S 个功能的任务资源能力需求矩阵 R 。由于任务资源能力需求矩阵 R 中每一列的功能具有不同的特征, 对其值应进行一定处理以避免对计算结果带来影响, 因此按式(1)对矩阵 R 作无量纲化处理。对于 $\forall i \in \{1, 2, \dots, I\}, \forall s \in \{1, 2, \dots, S\}$ 有:

$$\tilde{R}_{is} = (R_{is} - \min_{i=1}^I R_{is}) / (\max_{i=1}^I R_{is} - \min_{i=1}^I R_{is}) \quad (1)$$

设任务 T_u 和 T_v 的资源能力需求向量分别为 $R_u = (R_{u1}, R_{u2}, \dots, R_{uS}), R_v = (R_{v1}, R_{v2}, \dots, R_{vS})$ 。其中, $u, v = 1, 2, \dots, I,$ 且 $u \neq v$ 。 R_u, R_v 为 R 的第 u 行和第 v 行的行向量。对 R_u, R_v 的任意资源能力值作无量纲化处理分别得到 $\tilde{R}_{us}, \tilde{R}_{vs}$, 则规范化为 $\tilde{R}_u = (R_{u1}, R_{u2}, \dots, R_{uS}), \tilde{R}_v = (R_{v1}, R_{v2}, \dots, R_{vS})$ 。

为有效判断任务 T_u 和 T_v 是否可以归入同一个任务组, 特引入任务距离。以 2 个任务的规范化任务资源能力需求向量差值的 2-范数度量, 根据 \tilde{R}_u 和 \tilde{R}_v 计算 T_u 和 T_v 间的任务距离 d_{uv} 公式为:

$$d_{uv} = d(T_u, T_v) = \begin{cases} \frac{\sqrt{\sum_{s=1}^S (\tilde{R}_{us} - \tilde{R}_{vs})^2}}{\sqrt{S}}, & u \neq v \\ 0, & u = v \end{cases} \quad (2)$$

式中由 $\tilde{R}_{us}, \tilde{R}_{vs} \in [0, 1] \Rightarrow (\tilde{R}_{us} - \tilde{R}_{vs})^2 \in [0, 1] \Rightarrow \sqrt{\sum_{s=1}^S (\tilde{R}_{us} - \tilde{R}_{vs})^2} \in [0, \sqrt{S}]$, 可推证任务 $d_{uv} \in [0, 1]$, 且 $d_{uu} = d_{vv} = 0$ 。

按式(2)可以获得任务集合中任意 2 个任务之间的距离尺度, 构成任务距离矩阵 D 。给定阈值 ϵ , 如果满足 2 个任务距离 $d_{uv} \leq \epsilon$, 则判定任务 T_u 和 T_v 属于同一个任务组。

对 $\forall b_{ij}$, 满足: 若 $d_{ij} \leq \epsilon$, 则 $b_{ij} = 1$; 若 $d_{ij} > \epsilon$ 则 $b_{ij} = 0$, 将任务距离矩阵 D 转换为相邻矩阵 B , 公式 $Q = B + B^2 + \dots + B^I$ 计算得到可达矩阵 Q , 进行一系列的行列变换 F , 使得变换后的矩阵 $Q' = F \cdot Q$ 满足主对角线上构成一系列值都为 1 的分块矩阵, 其它位置值为 0。每个值为 1 的分块对应一个联通分图, 即一个任务组, 该块中的元素在可达矩阵 Q 中的

位置的行号即为任务序号。

2.3 任务分组一致性指标分析

对于任务集合 T 中任务组 $C_T^{(k)}$, 定义该任务组的一致性指标 ρ_k 如下:

$$\rho_k = \sum_{T_{k_1}, T_{k_2} \in C_T^{(k)}, k_1 > k_2} (1 - d(T_{k_1}, T_{k_2})) / C_{n_k}^2 \quad (3)$$

式中: $n_k = |C_T^{(k)}|$ 为任务组 $C_T^{(k)}$ 中的任务数目; $C_{n_k}^2 = n_k(n_k - 1)/2$ 。

各任务组包含的任务通常超过一个, 任何只含有一个任务的任务组 $C_T^{(k)}$ 的一致性指标 ρ_k 等于 1。在一致性意义下, 当任务组 $C_T^{(k)}$ 中所有任务的资源能力需求向量完全一样时, ρ_k 也等于 1。

2.4 基于拍卖机制的智能体-任务匹配策略

1) 任务组 $C_T^{(k)}$ 向作战智能体集合 $B = \{b_m\}$ 和 $A = \{a_i\}$ 发布认知决策能力需求值 $W_{C_T^{(k)}}$ 和资源能力需求向量值 $\{N(C_T^{(1)}), N(C_T^{(2)}), \dots, N(C_T^{(k)}), \dots, N(C_T^{(N_C)})\}$

2) 有人作战智能体 $b_m \in B$ 根据任务认知决策能力需求值 $W_{C_T^{(k)}}$ 及自身能力值 w_m , 取能力需求最佳匹配且需要 b_m 个数最少的组合 $U_{C_T^{(k)}} = \arg\left(\min\left(\sum_U w_m - W_{C_T^{(k)}}\right) \cap \min(\text{size}(U))\right)$, $\text{size}(\cdot)$ 为计算组合 U 中智能体数量的算子, $\sum_S w_m - W_{C_T^{(k)}} \geq 0$

3) 无人作战智能体 $a_i (a_i \in A)$ 根据各任务组资源需求能力项 $N_{C_T^{(k)}}^{(n)}$ 及自身能力项 $G_i^{(n)}$, 判断对 $\forall N_{C_T^{(k)}}^{(n)}$, 计算其对各任务组的资源匹配系数 $p(a_i, C_T^{(k)})$, 选择资源匹配系数最高的任务组 $C_T^{(k)}$ 向其发送回执信息申请参与该任务组匹配, 并不再对其它任务组进行匹配;

4) 参与任务组 $C_T^{(k)}$ 资源匹配的作战智能体 a_i 依次累加匹配, 直到对于 $\forall N_{C_T^{(k)}}^{(n)}$ 均满足 $R_{C_T^{(k)}}^{(n)} \leq \sum_{a_i} V_i^{(n)}$, 标识出匹配成功的所有无人智能体, 释放剩余作战智能体;

5) 判断所有任务组是否均完成智能体-任务匹配, 计算剩余任务需求能力值, 并向剩余作战智能体发布, 返回 2), 继续对任务组进行匹配;

6) 若所有任务组完成匹配, 合并所有参与匹配的 MCA 和 UCA, 计算联盟的冗余资源能力指标值, 综合形成最终任务联盟。

2.5 智能体-任务匹配的资源能力冗余度

基于拍卖机制的联盟形成策略, 采用先分组后匹配的流程, 会形成较高的资源能力冗余。定义任务组 $C_T^{(k)}$ 的平均资源能力冗余度 η_k 如下:

$$\eta = \frac{1}{|N(C_T^{(k)})|} \sum_{\forall N(C_T^{(k)})=C_i^{(n)}} \left(\frac{\sum_{a_i} V_i^{(n)} - R_{C_T^{(k)}}^{(m_k)}}{R_{C_T^{(k)}}^{(m_k)}} \right) \quad (4)$$

式中 $|N(C_T^{(k)})|$ 为任务组 $C_T^{(k)}$ 中的任务能力项数。

任务联盟的平均资源能力冗余度指标定义为:

$$\eta = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \left(\sum_{i=1}^{N_c} V_i^{(s)} - \sum_{j=1}^J R_j^{(s)} / \sum_{j=1}^J R_j^{(s)} \right) \quad (5)$$

式中 N_c 为联盟智能体 a_i 的个数。

3 案例计算分析

以空中联合突击离岛任务为例,假设根据使命环境和行动过程设计需要,联盟的任务需求分解为任务集 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_{18}\}$,对执行该作战任务可资利用的 MCA 集 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_9\}$ 和 UCA 集 $A = \{a, \alpha, \dots, a_{10}\}$,任务能力需求属性数据和作战智能体能力属性数据见表 1~3。

表 1 作战任务和作战智能体的认知决策能力属性

Tab. 1 The cognitive decision making capability attribute of combat task and combat agents

T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
2	2	1	1	1.5	0.5	0.5	0.5	1
T_{10}	T_{11}	T_{12}	T_{13}	T_{14}	T_{15}	T_{16}	T_{17}	T_{18}
1	1.5	1.5	1	1	0.5	0.5	1	0.5
b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9
4	4	4	3	3	3	2	2	2

表 2 作战任务的资源能力属性

Tab. 2 The resource capability attribute of combat task

属性	任务能力需求向量							
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
T_1	5	0	6	0	0	8	0	6
...
T_3	0	8	0	0	0	0	5	0
...
T_5	0	8	2	0	0	0	10	0
T_6	0	0	0	10	12	8	0	0
...
T_9	10	4	0	0	0	0	5	0
...
T_{11}	0	0	0	0	0	10	5	0
...
T_{13}	0	0	0	0	0	8	0	5
...
T_{15}	0	0	0	12	10	4	0	0
...
T_{17}	0	0	0	0	0	8	0	10
T_{18}	0	10	10	0	0	0	4	0

表 3 作战智能体的资源能力属性

Tab. 3 The resource capability attribute of combat agents

属性	任务能力需求向量							
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8
a	5	5	0	0	0	4	4	0
...
a_2	0	5	3	0	4	0	4	0
...
a_3	2	0	4	0	0	4	0	0
...
a_7	2	0	0	6	6	4	0	0
...
a_7	2	0	0	2	0	4	0	5
...
a_3	0	4	0	0	0	5	2	4
...

设置阈值 $\epsilon = 0.3$,基于任务距离对任务集先进行分组,在任务分组基础上采用基于拍卖机制的智能体-任务匹配策略得到的匹配结果见表 4。

从表中结果看,基于任务距离的任务组划分策略利用了任务间相关性的传递效应,所划分的任务组具有较高的聚集一致性。任务组划分的数量受阈值大小的影响,理论上当 $\epsilon \leq 0.1$ 时,任务组划分高度一致, $\rho = 1$,所给的想定案例任务集最多可分为 9 个任务组。在任务分组基础上,形成的任务联盟方案的平均资源冗余度为 0.511,这种资源配置下的任务联盟能够在保持一定个体资源独立性的同时具备灵活的资源机动配置权限。若任务集不分组,直接进行智能体到任务的匹配,得到的最佳资源冗余联盟方案为:

$$\left\{ a, \alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta, \eta, \theta, \iota, \kappa, \lambda, \mu, \nu, \xi, \omicron, \pi, \rho, \sigma, \tau, \upsilon, \phi, \chi, \psi, \omega, \varnothing \right\}$$

该联盟方案下的 η 为 0.203,在面临突发新增 3~4 个任务,或 1/3 的任务增加 40% 的资源需求量时将难以有效应对。特别是在动态不确定战场环境下,占任务集 1/3 以上的任务出现资源能力需求变化将是较大概率事件,此时需确保 η 大于 0.35。

从计算结果来看,任务联盟的 η 与任务组的个数呈显著正相关,任务组个数与任务组划分一致性指标值 ρ 也呈正相关。 ρ 直接由阈值 ϵ 的取值大小决定,为此,采用蒙特卡洛方法随机产生 1 000 个实例,阈值 ϵ 从 0~1 取值,数据间隔为 0.01,总共有 101 个阈值,则所有实例的任务组划分一致性指标的均值的变化情况见图 1。

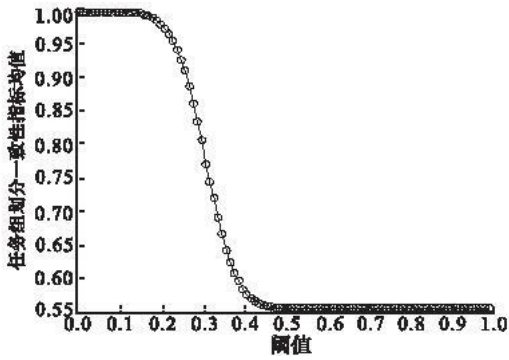


图1 阈值大小对任务组划分一致性指标的影响关系

Fig.1 The relationship that thresholds effect the coincidence indicator of task grouping

表4 智能体到任务组的匹配结果

Tab.4 The matching result of task group with combat agent

任务组序号	1	2	3	4	5
任务序号	1, 2	3, 4, 9, 10	5, 18	6, 7, 8, 15, 16	11, 12, 13, 14, 17
一致性指标	1	0.887 2	1	1	0.826 1
MCA 匹配结果	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5, b_6
UCA 匹配结果	a_3, a_4, a_5 a_6, a_7, a_8 a_9	a, a, a a, a	a, a a, a	a_7, a_8, a_9 a_0, a_1, a_2 a_3, a_4, a_5 a_6	a_3, a_4, a_5 a_6, a_7, a_8 a_9, a_0, a_0

4 结语

多作战智能体形成任务联盟快速准确决策并随即执行打击将是应对分布式网络化挑战的一条探索途径。本文考虑联盟形成的分布式特点,基于有人作战智能体提供认知决策能力、无人作战智能体提供资源能力的假设,设计一种先任务分组后智能体向任务组匹配的任务联盟形成策略。案例计算结果表明,本文提出的联盟形成策略和方法可有效应用于多智能体向多任务的能力聚合问题,且所形成的联盟具有较好的资源冗余能力。有人/无人作战智能体协同作战是一种新颖的作战样式,期望本文的理论探索能为未来多作战智能体分布式任务规划研究提供一定的借鉴。

参考文献(References):

- [1] The department of defense chief information officer. Communities of interest in the net-centric DoD frequently asked questions (FAQ) version 1.0 [R]. Washington, DC:Department of defense, 2004.
- [2] 唐苏妍,朱一凡,葛伟,等.网络化防空导弹体系集中式拦截联盟形成方法[J].系统工程理论与实践, 2011, 31(2):357-363.
TANG Suyan, ZHU Yifan, GE Wei, et al. Centralized interception coalition formation method in networked air defense missile systems [J]. Systems engineering-theory & practice, 2011, 31(2):357-363. (in Chinese)
- [3] 尹翔,蒋建国,夏娜,等.多任务多联盟并行生成:模型与求解[J].系统工程理论与实践, 2008, 28(4):90-95.

从图1中可以看出, ϵ 取值比较小时, ρ 在1附近,说明任务的一致性较强,任务在小阈值下任务组内部的任务之间相关性高;随着 ϵ 继续增大, ρ 开始变小,当 ϵ 在0.2~0.4, ρ 快速变小,而后趋于稳定。为使得 η 适中,需要任务组尽可能一致又不能完全一致,取 $0.15 < \epsilon < 0.3$ 对应的 ρ 在0.8~1。可采用一种自适应阈值设置方法^[8],将任务距离矩阵每一列的非零最小值的平均值作为自适应阈值 ϵ ,从而确保任务组划分保持较好的一致性:

$$\epsilon = \sum_{v=1}^I \left(\min_{u=1, d_{uv} \neq 0}^I d_{uv} \right) / I \quad (7)$$

- [4] YIN Xiang, JIANG Jianguo, XIA Na, et al. Multi-task multi-coalition generation problem: model and algorithm [J]. Systems engineering-theory & practice, 2008, 28(4):90-95. (in Chinese)
- [4] Kiam T S, Kwang M S, Shane Y C K. Coalition formation for resource collocation using BDI assignment agents [J]. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part C: applications and reviews, 2007, 37(4):682-693.
- [5] Suvasri M, Xu H, Krishna R P, et al. Agent-based distributed framework for collaborative planning [C]//Proceedings of the 15th international command and control research and technology symposium. Santa Monica, ICCRTS, 2010: 1-25.
- [6] Kashef R, Kamel M S. Cooperative clustering [J]. Pattern recognition, 2010, 43(6):2315-2329.
- [7] 万路军,姚佩阳,孙鹏.有人/无人作战智能体分布式任务分配方法[J].系统工程与电子技术, 2013, 35(2):310-316.
WAN Lujun, YAO Peiyang, SUN Peng. Distributed task allocation method of manned/unmanned combat agents [J]. Systems engineering and electronics, 2013, 35(2):310-316. (in Chinese)
- [8] 周翔翔,姚佩阳,王欣,等.基于图论的作战指挥决策群组划分算法[J].系统工程与电子技术, 2011, 33(3):575-580.
ZHOU Xiangxiang, YAO Peiyang, WANG Xin, et al. Algorithm of combat command decision group partition based on graph theory [J]. Systems engineering and electronics, 2011, 33(3):575-580. (in Chinese)

(编辑:徐敏)