

文章编号: 1000-6788(2007)05-0106-07

兵力编成裁剪算法研究: 决策结点裁剪

刘宏芳¹, 阳东升², 刘忠¹, 张维明¹

(1. 国防科技大学 信息系统与管理学院, 长沙 410073; 2. 海军兵种指挥学院, 广州 510431)

摘要: 由于决策实体控制战场作战平台资源实体, 通过平台资源实体执行作战任务, 作战平台资源实体在任务上的聚集导致决策实体间需要复杂的交互协作与交流, 兵力编成需要为任务的执行创造良好的交互结构. 基于任务执行的兵力编成包括两方面的内容: 一是指控决策结点间的协作关系; 二是指控决策结点间的指挥关系. 本文通过决策实体对平台控制的矢量以及矢量距离的定义, 提出了指控决策结点间协作关系优化设计的聚类算法, 在聚类过程中通过设置不同的决策实体数量、决策实体能力以及内部协作与外部协作权值, 分析比较了不同设置情况下所产生的兵力编成的协作关系与决策者的协作负载.

关键词: 任务; 决策实体; 裁剪; 兵力编成

中图分类号: C394 **文献标志码:** A

Research on Algorithms of Tailoring Military Force:
Tailoring Nodes of Decision-Making

LIU Hong-fang¹, YANG Dong-sheng², LIU zhong¹, ZHANG Wei-ming¹

(1.College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China; 2.College of Naval Arms Command, Guangzhou 510431, China)

Abstract: There exit lots of complex interdependence and communications among decision-making entities because of combat resource entities clustering on task and commander controlling those resource entities to complete combat tasks. Excellent structure of military force should be required to accomplish missions. And constructing excellent military force based on tasks is composed of two parts: one is collaboration among decision-making nodes of command and control; another is hierarchy relationship of command among commander. In this paper, we define control vector for decisionmaker-platform and distance between two vectors, on which cluster algorithm is advanced to optimize collaboration among decision-makers. And the collaboration net and load of collaboration among decisionmakers are analyzed and compared under different variable conditions. And these variables include number and capabilities of decisionmaker, the weights of inter- and intra decision-makers.

Key words: task; decision-making entity; tailoring; military force

0 引言

兵力编成是依据作战资源在作战任务上的分派(什么作战平台在什么时间什么地点执行什么任务)构建作战资源间的关系, 这种关系包括信息结构关系和指挥与控制结构关系, 这种关系在很大程度上决定了任务执行的效率, 是兵力编成设计的主要目标参数之一^[1,2]. 基于传统组织理论, 在确定的使命环境下这两种关系的设计期望做到作战资源实体间的合理分工, 责任明确; 而在不确定的环境下, 期望设计的编成在一定程度上能适应环境的变化, 能够处理意外事件的发生, 即兵力编成具备健壮性和灵活性^[3], 这就使得冗余的关系成为必要. 对于明确使命环境, 可以通过优化设计的途径达到提高完成任务的效率, 甚至在大幅度减少作战资源的情况下仍然优于传统的兵力编成模式. 这一点已经得到实验的验证^[4~7].

在指挥与控制关系的设计上,有两种截然不同的影响:一方面这种层次结构关系平衡了决策个体间的工作负载,使得分工不同的成员个体在任务的协作处理上获得较高的整体效能;而另一方面多层次结构也使得交互协作复杂、成员个体间的信息交流延迟、过载甚至信息的“扭曲”,从而使得执行使命的效能下降.为优化裁剪基于任务的编成结构,提高执行任务的效率,众多学者都提出了不同的方法和思路.从目前的研究文献看其方法包括四种途径:一是以决策个体、资源和任务来描述一个兵力编成,通过三种基本元素之间关系来设计任务组织,如 PCANS 模型^[8];二是在编成的不同结构模式(如矩阵编成、功能性组织模式、区域性组织模式和扁平组织模式等)之间进行分析选择^[9];三是建立任务图与编成结构图,通过任务流程图与结构图之间的匹配来设计最佳的编成模式^[10~12];四是建立单人决策模型或多人决策模型,通过组织决策过程来优化编成的层次结构^[13].这一方法在设计军事指控系统上得到广泛的使用.

本文通过决策实体对平台控制的矢量以及矢量距离的定义,提出了指控决策结点间协作关系优化设计的聚类算法,在聚类过程中通过设置不同的决策实体数量、决策实体能力以及内部协作与外部协作权值,分析比较了不同设置情况下所产生的兵力编成的协作关系与决策者的协作负载.

1 决策实体建模

兵力编成中的决策实体是作战实体资源的控制者,是作战任务的直接负责人,是指挥与控制关系中的结点,从指挥与控制关系上看决策实体就是战场指挥官.其职责包括两个部分:一是对所控制的作战资源的管理,如对所负责任务进一步的分解,分派作战资源,拟定执行计划,协调行动,等等;二是所接收信息的处理,所接收的信息包括源于所控制平台资源的感知和上级命令与同级的共享信息.

决策实体的职责模型如图 1 所示.

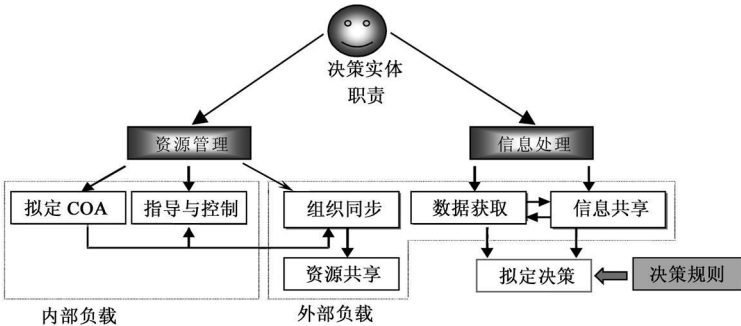


图 1 决策实体的职责模型

决策实体的能力包括四个方面:一是每个决策能同时控制多少资源实体,或者说作战平台,这种能力约束称之为内部协作能力约束.二是任意两个需要处理同一作战任务的决策实体必须在同一结构层次上建立链接关系,即建立对等的链接关系.这一约束是决策实体间的协作约束,称之为外部的协作结构约束.三是任意决策实体在同一时刻能同时处理的任务数,即决策实体在某一时刻工作负载的约束,在本文中假设决策实体的工作负载约束为 3,即任意决策实体在同一时刻能同时处理三个任务.

决策实体的能力约束模型如图 2 所示.

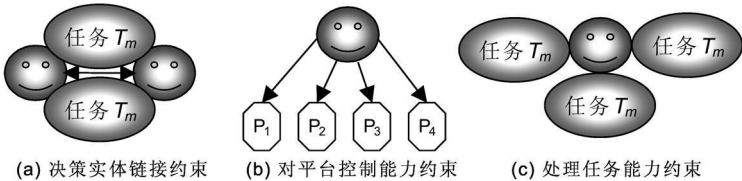


图 2 决策实体能力约束模型

2 兵力编成协作的基本概念

定义 1 决策实体是组成编成的决策个体.决策实体通过对平台的控制来执行任务.记 S_{DM} 是编成中

决策实体集合, $S_{DM} = \{DM_1, DM_2, \dots, DM_D\}$ (D 是编成中 DM 的数量).

定义 2 平台是决策实体执行任务的凭借. 平台具备功能, 决策实体通过平台功能的执行来完成任
务. 记编成中的平台集合为 S_P , $S_P = \{P_1, P_2, \dots, P_K\}$, K 是编成中平台的数量.

定义 3 任务是执行其使命的具体行动. 任务的数据信息有任务集 S_T 、任务自身属性 T_A 和任务间的
顺序关系 G_T . 记任务集 $S_T = \{T_1, T_2, \dots, T_N\}$, N 是任务总数量. G_T 定性描述任务之间的依赖关系, 如任务
的优先顺序、数据流程以及任务间的输入输出关系等. 一般采用图来描述任务的顺序关系.

一个兵力编成内决策实体、平台与任务三者间的关系如图 3 所示.

定义 4 决策实体内部协作是决策实体对平台资源的管理控制. 记决策实体 DM_n 的内部协作量(i_n)
为所控制的平台数量, 则 $i_n = \sum_{m=1}^K dp_{nm}$ (dp_{nm} 表示平台 P_m 与决策实体 DM_n 的隶属关系, P_m 属于 DM_n 则
 $dp_{nm}=1$, 否则 $dp_{nm}=0$).

决策实体对平台的管理控制能力即内部协作能力是有限的, 记 B^I 为决策实体的最大内部协作量, 则
 $i_n \leq B^I$.

定义 5 DM_n 和 DM_z 之间的协作量 c_{nz} 为 DM_n 和 DM_z 必须协作完成的任务数, $c_{nz} = \sum_{i=1}^N ddt_{nzi}$
 $= \sum_{i=1}^N \min(dt_{ni}, dt_{zi})$ (ddt 为决策实体间在任务上的协作, 如果 DM_n 与 DM_z 必须在任务上 T_i 协作, 则 ddt_{nzi}
 $=1$; 否则 $ddt_{nzi}=0$; dt 为决策实体与任务间的关系, 如果 DM_n 通过所控制的平台执行任务 T_i , 则 $dt_{ni}=1$;
否则 $dt_{ni}=0$).

定义 6 决策实体直接外部协作是决策实体之间在任务上的协作. 决策实体 DM_n 在编成中的直接外
部协作量是与所有其它决策实体之间的协作总量. 记决策实体 DM_n 在编成中的外部协作量为 e_n , 则 e_n
 $= \sum_{z=1, z \neq n}^D c_{nz}$.

决策实体的外部协作能力是有限的, 记 B^E 所允许的外部协作量, 则 $e_n \leq B^E$.

定义 7 决策实体工作负载包括内部协作和外部协作, 工作负载是内部协作量与外部协作量的加
权和. 记决策实体 DM_n 工作负载为 w_n , 则 $w_n = W^I \cdot i_n + W^E \cdot e_n$ (W^I 内部工作负载权值; W^E 外部工作负载权
值).

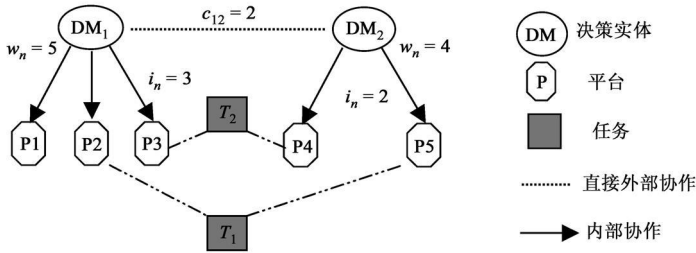


图 3 兵力编成的协作关系 ($W^I=1, W^E=1$)

以一个两人编成为例(还包括 2 个任务和 5 个平台), 编成内的协作关系网(内部协作和直接外部协
作)以及决策实体工作负载如图 3 所示.

3 编成实例分析

假设有如图 4 所示的决策实体、平台资源与任务间的分配关系, 则对于此次编成决策实体的内部协作
负载可以表示为

$$I = [i_1, i_2, i_3, i_4, i_5] = [5, 4, 4, 5, 2].$$

编成内决策实体间的直接外部协作可以表示为

$$[D(i,j)]=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

对每一个决策实体的外部协作量可以表示为

$$E=[e_1,e_2,e_3,e_4,e_5]=[2,1,3,2,2].$$

在 $w^I=1, w^E=1$ 条件下,编成的协作负载为

$$CW=[w_1,w_2,w_3,w_4,w_5]=I+E=[7,5,7,7,4].$$

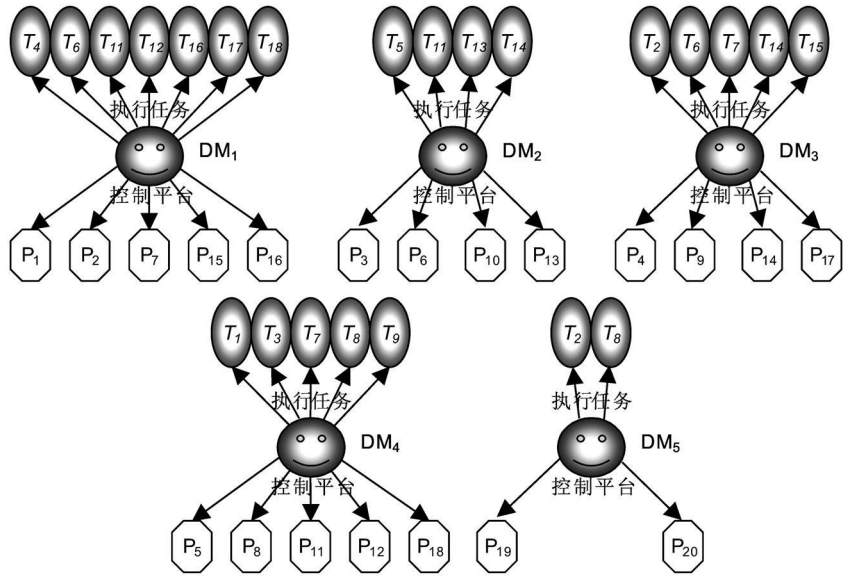


图 4 决策实体、平台资源与任务间的分配关系

4 兵力编成决策实体裁剪的数学描述

兵力编成中决策实体的裁剪是通过平台资源的聚类形成不同的平台组,每一个平台组由一个决策实体控制,平台组的数量就是兵力编成中所需的决策实体数量.平台资源的聚类(平台组的形成)是依据平台组与平台组之间的协作关系来合并,是兵力编成内协作关系的设计.

兵力编成协作关系的设计是在各决策实体能力所及范围内建立最佳决策实体内部协作关系(对平台控制)、外部协作关系(决策实体之间在任务上的协作),使得组织各决策结点的工作负载尽可能地小.决策实体能力包括任务处理能力、内部协作能力和直接外部协作能力等等.

任务处理能力为决策实体在任务执行流程中所处理的任務数量.记决策实体的任务处理能力约束为 B^T ,则对决策实体 DM_n 的处理任务(ct_n)可描述如下:

$$ct_n=\sum_{i=1}^N dt_{ni} \leqslant B^T, \tag{1}$$

(1)式中 dt_{ni} 表示决策实体 DM_n 与任务 T_i 间的关系. DM_n 通过所控制的平台执行任务 T_i ,则 $dt_{ni}=1$;否则 $dt_{ni}=0$.

根据定义 4,决策实体 DM_n 的内部协作可描述如下式:

$$i_n=\sum_{m=1}^K dp_{nm} \leqslant B^I, \tag{2}$$

(2)式中 B^I 为决策实体的内部协作能力约束限制.

根据定义 5,决策实体 DM_n 的外部协作可描述如下式:

$$e_n = \sum_{z=1, z \neq n}^D c_{nz} = \sum_{z=1, z \neq n}^D \sum_{i=1}^N \min(dt_{ni}, dt_{zi}) \leq B^E, \tag{3}$$

(3)式中 B^E 为决策实体的外部协作能力约束限制.

记所有决策实体中最大工作负载为 C_{\max} , 则根据定义 7 决策实体最大工作可以描述如下式:

$$\begin{aligned} C_{\max} &= \max_{n=1, \dots, D} W^I \cdot i_n + W^E \cdot e_n \\ &= \max_{n=1, \dots, D} W^I \cdot \sum_{m=1}^K dp_{nm} + W^E \cdot \sum_{z=1, z \neq n}^D c_{nz} \\ &= \max_{n=1, \dots, D} W^I \cdot \sum_{m=1}^K dp_{nm} + W^E \cdot \sum_{z=1, z \neq n}^D \sum_{i=1}^N \min(dt_{ni}, dt_{zi}). \end{aligned} \tag{4}$$

根据(1)~(4)式, 组织协作网的求解即最小化决策实体的最大工作负载可以进行数学描述如下式:

$$\min C_{\max} \quad \left\{ \begin{aligned} &dt_{ni} = pt_{mi} \cdot dp_{nm} \\ &\sum_{i=1}^N dt_{ni} \leq B^T, \sum_{m=1}^K dp_{nm} \leq B^I, \sum_{z=1, z \neq n}^D \sum_{i=1}^N \min(dt_{ni}, dt_{zi}) \leq B^E \\ &C_{\max} = \max_{n=1, \dots, D} W^I \cdot \sum_{m=1}^K dp_{nm} + W^E \cdot \sum_{z=1, z \neq n}^D \sum_{i=1}^N \min(dt_{ni}, dt_{zi}) \\ &m = 1, 2, \dots, K; n = 1, 2, \dots, D; i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \right., \tag{5}$$

(5)式是一个二元线性规划问题, 其变量的结构关系使得这一问题的求解优化算法更简单, 如动态规划和分解算法都可运用于此问题中, 在下一节中采用了层次聚类法来求解这一问题.

5 兵力编成决策实体裁剪算法

假设两个决策者 DM_n 和 DM_m 各自分配有两个平台集 $C_1 = \{n_1, n_2, \dots, n_u\}$ 和 $C_1 = \{m_1, m_2, \dots, m_v\}$, 对每个决策者 DM_n 定义分配矢量 $Q_n = [q_n, I_{n1}, I_{n2}, \dots, I_{nN}]$, 式中 q_n 为分配给 DM_n 的平台数量, 如果 DM_n 被分配执行任务 T_i , 则变量 $I_{ni} = 1$. 这里 $I_{ni} = dt_{ni}$, $U = q_n$, $V = q_m$, 并且 DM_n 和 DM_m 的外部协作为 $\sum_{i=1}^N \max(I_{ni}, I_{mi})$.

显然, 平台的聚合会减少必须的 DM , 从而减少协作, 且越相近或相同其协作量减少越多. 然而, 两个平台合并后的平台数量(也就是合并后的内部协作)为两个平台集的平台数量之和. 因此, 在合并时需要在任务矢量的相似度和最小化平台集的大小之间权衡, 这种权衡是减少外部协作和减少内部之间的矛盾, 为此, 定义两个分配矢量之间的距离:

$$d(C_1, C_2) = d([q_n, I_{n1}, \dots, I_{nN}], [q_m, I_{m1}, \dots, I_{mN}]) = W^I (q_n + q_m) - W^E \sum_{i=1}^N \min\{I_{ni}, I_{mi}\}. \tag{6}$$

编成决策实体裁剪聚类算法的基本思想是: 通过不断合并距离相近的聚类, 以获取新的聚类, 当形成的聚类数与可获取的 DM 正好相等时算法终止. 算法输出即变量 dp_{nm} , 确立平台与决策实体的关系. 其算法如下:

第一步: 把每一个平台都分配到不同的类(或者平台集), 即每个平台被认为是一个平台集, 对每个聚类 $m = 1, \dots, K$ 定义分配矢量 $Q_m = [1, pt_{m1}, pt_{m2}, \dots, pt_{mN}]$ (平台-任务分配变量 pt 定义见第一节), 任意两聚类之间的距离定义由(6)可知.

第二步: 选择两个距离最小的聚类合并为一个, 重新定义其分配矢量和距离矩阵. 如果两个聚类 $(Q_n = [q_n, I_{n1}, \dots, I_{nN}]$ 和 $Q_m = [q_m, I_{m1}, \dots, I_{mN}])$ 合并, 则合并后所得到的新聚类为: $Q_G = [q_n + q_m, \max(I_{n1}, I_{m1}), \dots, \max(I_{nN}, I_{mN})]$.

第三步: 在不断合并过程中如果合成的聚类数正好与可获取的决策实体总数量相等则算法终止.

6 算法实例分析

假设存在如图 5 所示的聚类(6 个聚类或平台组),聚类需要合并得到的聚类.聚类的合并过程如图 5 所示,图示为聚类 4 和聚类 5(或者说决策实体四和决策实体五控制的平台组)的合并,合并后得到新的聚类(或平台组) G .

两个聚类(m 与 n)间的协作负载可以表示为:

$$D(m,n)=\sum_{i=1}^N\min(I_{mi},I_{ni}),$$

某一聚类(或平台资源组) m 的外部负载可以表示为:

$$E(m)=\sum_{\substack{n=1\\n\neq m}}^ND(m,n).$$

假设聚类 m 与聚类 n 合并得到新聚类(平台资源组) G ,则新聚类 G 与任何其他聚类间的直接外部协作及内部可以表示为:

$$D(h,G)=D(h,m)+D(h,n)-\sum_{i=1}^N\min(\min(I_{mi},I_{ni}),I_{hi})(h\neq m,n),\quad i_G=i_m+i_n,\tag{7}$$

由此,得到的新聚类 G 总的外部协作可以表示为:

$$e_G=\sum_{i=1}^N\left[\max(I_{mi},I_{ni})\cdot\sum_{h=1,z\neq m,n}^DI_{hi}\right],\tag{8}$$

聚类编成中其它平台组的外部协作可以表示为:

$$e_h=e'_h-(D(h,m)+D(h,n))+D(h,G)(h\neq m,n),\tag{9}$$

式中 e'_h 为合并前聚类 h 在编成中的外部协作.

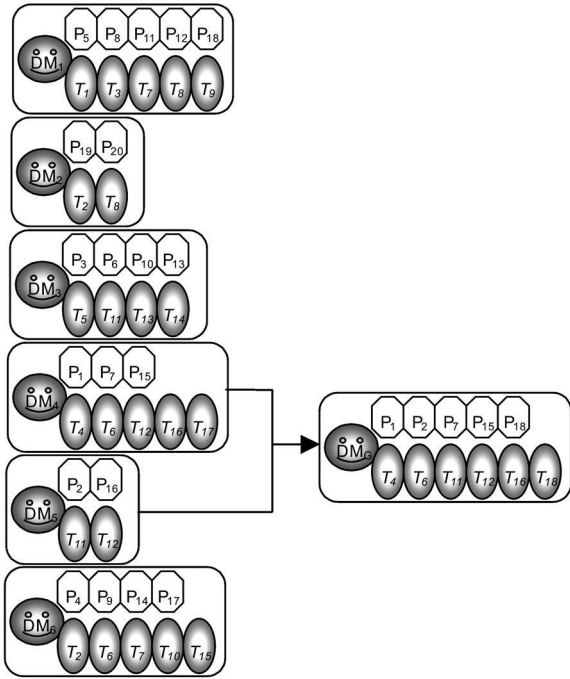


图 5 聚类(决策实体控制的平台组)的合并过程

在图 5 中,聚类 4 与聚类 5(或平台组 4 与 5)合并得到新的聚类(平台组) G ,这一过程可以解释为删除一个聚类,将该聚类合并到另一个聚类中,以图 5 中的聚类为例,这一过程所导致的聚类与聚类间协作关系的变化如下式描述:

$$[D(i, j)] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{删除聚类 5}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{聚类 5 合并到聚类 4}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

协作关系的计算可以表示如下

$$\begin{aligned} D(h, G) = & [D'(1, 4), D'(2, 4), D'(3, 4), D'(4, 4), D'(5, 6)] + \\ & [D'(1, 5), D'(2, 5), D'(3, 5), D'(5, 5), D'(5, 6)] - \\ & \left[\sum_{i=1}^N \min(\min(I_{4i}, I_{5i}), I_{1i}), \sum_{i=1}^N \min(\min(I_{mi}, I_{ni}), I_{2i}), \right. \\ & \left. \sum_{i=1}^N \min(\min(I_{mi}, I_{ni}), I_{3i}), 0, \sum_{i=1}^N \min(\min(I_{mi}, I_{ni}), I_{6i}) \right] \\ = & [0, 0, 0, 0, 1] + [0, 0, 1, 0, 0] - [0, 0, 0, 0, 0] = [0, 0, 1, 0, 1], \end{aligned}$$

式中 $D'(m, n)$ 为合并前两个聚类 m 与 n 间的外部协作.

合并后的内部协作为

$$\begin{aligned} I = [i_1, i_2, i_3, i_4, i_5] = & [pt'(1), pt'(2), pt'(3), pt'(4) + pt'(5), pt'(6)] \\ = & [5, 2, 4, 3 + 2, 4] = [5, 2, 4, 5, 4], \end{aligned}$$

式中 pt' 为合并前聚类同平台资源的包含关系.

聚类合并后得到新的编成, 编成的外部协作可以由下面计算过程获得:

$$\begin{aligned} e_G = & \sum_{i=1}^{18} \left(\max(I_{4i}, I_{5i}) \cdot \sum_{h=1, z \neq 4, 5}^6 I_{hi} \right) = 2, \\ E = [e_1, e_2, e_3, e_4, e_5] = & [e'_1, e'_2, e'_3, e_G, e'_6] = [2, 2, 1, 2, 3]. \end{aligned}$$

7 结论与未来研究

本文在兵力编成描述的基础上, 对兵力编成决策结点的裁剪问题进行了数学描述, 对决策结点问题的求解结合编成内协作工作负载的定义提出了求解算法, 并对算法求解进行了实例分析. 兵力编成内决策实体的工作负载不仅仅体现任务的协作上, 还包括指挥层次结构导致的决策负载、信息处理的工作负载以及实体间交流与沟通的负载, 考虑这些因素带给编成结构的影响是进一步深入研究兵力编成设计的主要方向. 在未来的研究中我们将主要考虑编成层次结构设计.

参考文献:

[1] Levchuk G M, Kleinman D L, Ruan Sui, Krishna R Pattipati. Congruence of Human Organizations and Missions: Theory versus Data [C]//International Command and Control Research and Technology Symposium, Washington, DC, June, 2003.

[2] Entin E, Diedrich F, Kleinman D, et al. When Do Organizations Need to Change — Part II: Incongruence in Action [C]//International Command and Control Research and Technology Symposium, Washington, DC, June, 2003.

[3] Diedrich F, Entin E, Hutchins S, et al. When Do Organizations Need to Change — Part I: Coping with Organizational Incongruence [C]//International Command and Control Research and Technology Symposium, Washington, DC, June, 2003.

[4] Levchuk Y, Pattipati K R, Kleinman D L. Analytic model driven organizational design and experimentation in adaptive command and control[J]. Systems Engineering, 1999, 2(2).

[5] Hollenbeck John R, et al. West, et al. Structural contingency theory and individual differences: examination of external and internal person-team Fit [J]. Journal of Applied Psychology, 2002, 87(3)599—606.

(下转第 157 页)

-
- [6] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory[M]. New York:Springer-verlag, 1999.
- [7] 李凌均, 张周锁, 何正嘉. 支持向量机在机械故障诊断中的应用研究[J]. 计算机工程与应用, 2002, 19: 19—21.
Li Lingjun, Zhang Zhousuo, He Zhengjia. Application research on support vector machines in mechanical fault diagnosis[J]. Computer Engineering and Applications, 2002, 19: 19—21.
- [8] 杨叔子, 吴雅, 等. 时间序列分析的工程应用(上)[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992, 31—35.
Yang Shuzi, Wu Ya, et al. Time Series Analysis in Engineering Application [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1992, 31—35.
-

(上接第 112 页)

- [6] Kemple W G, Kleinman D L, Berigan M C. A2C2 Initial experiment: Adaptation of the Joint Scenario and Formalization [C]// Proceedings of the 1996 Command & Control Research & Technology Symposium, Monterey, CA, June 1996, 837—846.
- [7] Susan P. Hovevar, William G. Kemple, et al. Assessments of Simulated Performance of Alternative Architectures for Command and Control: The Role of Coordination [C]//Proceedings of the 2000 Command & Control Research & Technology Symposium, Monterey, CA, June 2000.
- [8] Kathleen M Carley, Krackhardt D. A PCANS model of structure in organization [C]//International Symposium on Command and Control Research and Technology, Monterray, CA, 1998, 765—772.
- [9] Milton Harris, Artur Raviv. Organization design [J]. Management Science, 2002, 48(7): 852—865.
- [10] Yang D S, Liu Z H, Zhang W M. An approach to describe organization [J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2004, 24(3): 1—7.
- [11] Yang D S, Zhang W M, Liu Z H. Descriptions and designing of C2 organizational in battlefields [J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2005, 25(5): 83—88.
- [12] Yang D S, Zhang W M, Liu Z H. Efficient measuring and designing of C2 organization [J]. Progress in natural Science, 2005, 15(3): 349—356.
- [13] Boettcher K L. An Information Theoretic Model of the Decisionmaker [M]. Lab. for Information and Decision System, MIT, Cambridge, MA. Rep. LIDS-TH-1096, July, 1981.