

文章编号: 1001- 2486(2010) 05- 0110- 08

C2 组织鲁棒性信息交互结构设计及分析*

刘 忠, 杨 杉, 修保新, 黄金才
(国防科技大学 信息系统工程重点实验室, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 介绍了 C2 组织的信息交互结构及其设计约束, 讨论了 C2 组织鲁棒性信息交互结构的设计问题。提出了基于启发式嵌套遗传算法的鲁棒性信息交互结构设计方法: 外层遗传算法对信息交互结构的拓扑及链路容量进行优化搜索; 内层嵌套遗传算法依据对路由的搜索优化出多个使命邻域下最小延时集合, 将其依概率平均化后返回外层来对链路容量的鲁棒性进行评价。案例分析和对比试验表明该方法可以实现鲁棒性较强的组织信息交互结构。

关键词: C2 组织; 信息交互结构优化; 鲁棒性设计; 嵌套遗传算法

中图分类号: TP391 文献标识码: A

Design and Analysis of C2 Robust Organizational Communication Structure

LIU Zhong, YANG Shan, XIU Bao-xin, HUANG Jin-cai
(Science and Technology on Information Systems Engineering Laboratory, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: C2 (Command and Control) organizational communication structure and its restriction of design were introduced. The design issue on a robust communication of C2 was discussed. Then the research proposed a robust design methodology of organizational communication structure based on Nested GA (Genetic Algorithms). The topology and the capability of link were searched in the outer GA; the inside GA could calculate the average delay in the mission set which could be used to evaluate the capability of link in the outer GA as adaptability value. A numerical example and the cases show the performance of the robust design method proposed can achieve the design objectives.

Key words: C2 organizational; communication structure optimization; robust design; nested Genetic Algorithms

当前信息和网络技术在军事领域得到了广泛应用, 信息已经成为关键的作战要素之一^[1]。如何建立起信息化战争条件下高效的指挥控制组织信息交互结构, 使其与使命环境相适应是目前指挥信息化领域研究的重难点之一。据此, 国内外相关领域的专家学者都对组织的信息交互结构设计优化进行了研究^[2]。但这些研究都是在单一固定的使命下进行设计的, 从目前的实验研究来看, 任务静态使命环境下设计最优匹配的组织的交互结构具有很大的脆性, 难以适应使命环境的动态变化。而且现代军事战争的复杂多变性导致很难为组织交互结构提供一种固定的任务和环境模式。所以在当代复杂多变的战场环境下, C2 组织交互结构还需要具有鲁棒性和适应性。

鲁棒性设计方法最早是由 Taguchi 在质量计划和工程产品设计中提出, 他指出控制系统变化以适应动态环境通常比使得系统对动态环境不敏感要付出更大的代价^[3]。此后许多领域都针对自身的问题进行了关于鲁棒性的研究。通过对 C2 组织结构进行深入研究^[4-5], 以 Levchuk 为代表的团队和国内的 C2 组织领域的研究人员各自提出了鲁棒性组织结构的设计方法^[6-7], 文献[8]研究了 C2 组织的交互结构的设计方法, 但是对于组织鲁棒性交互结构的设计研究目前还没有相关文献, 本文将已经提出的组织交互结构优化设计方法进行改进和拓展来实现对鲁棒性交互结构的设计。

* 收稿日期: 2010- 05- 20
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70771109, 70701038)
作者简介: 刘忠(1968—), 男, 教授, 博士生导师。

1 C2组织信息交互结构的基本概念

在对C2组织描述中,Levchuk根据兵力组织的特点提出了任务(T)、平台(P)和决策实体(DM)的概念^[4]。组织信息交互结构是在组织设计的基础上强化组织要素间的信息交互。

1.1 C2组织信息交互结构

决策实体集合记为 $DM = \{DM_m | m = 1, 2, \dots, M\}$, M 为组织决策实体个数。

定义1 组织中决策实体间面向任务产生的必要交互的信息量为任务信息单元,主要包含:

- ①两个或两个以上的决策实体执行同一个任务所带来的同步协作信息量;
- ②不同任务间具有约束关系,致使决策实体间信息交互所带来的任务约束信息量。

决策实体 DM_i 与 DM_j 间的任务信息单元量记为 $I_{(i,j)}$, 同步信息量记为 $I'_{(i,j)}$, 任务约束信息量记为 $I^S_{(i,j)}$, 并满足 $I_{(i,j)} = I'_{(i,j)} + I^S_{(i,j)}$ 。

定义2 整个使命过程中,单位时间内以决策实体 DM_i 为起点至 DM_j 传递的任务信息单元量定义为通信率 $\hat{I}_{(i,j)}$, $\hat{I}_{(i,j)} = \frac{I_{(i,j)}}{T} = \frac{I'_{(i,j)} + I^S_{(i,j)}}{T}$, 其中 T 为组织完成整个使命的时间。

根据任务信息单元的定义,可以定义信息交互结构中的节点为指控组织中的决策实体。

定义3 决策实体 DM_i 和 DM_j 之间直接相连的物理信道定义为交互链路 $L_{i,j}$, 交互链路 $L_{i,j}$ 是双向通信的,其链路容量为 $C_{L_{i,j}}$ 。C2组织信息交互结构拓扑中所有交互链路的集合记为 $\mathbf{L}$ 。

定义4 组织信息交互结构中从决策实体 DM_i 至 DM_j 之间进行任务信息传输的交互链路定义为任务信息路由 $R_{(i,j)}$, $R_{(i,j)} \in \{Path_{(i,j)} | \forall Path \text{ from } DM_i \text{ to } DM_j\}$, 所有任务信息路由的集合记为 $\mathbf{R}$ 。

定义5 C2组织信息交互结构 O_α 定义为由决策实体集、交互链路集和任务信息路由集合构成的多元素组: $O_\alpha = \langle DM, L, R \rangle$ 。

1.2 C2组织信息交互结构的设计约束

对信息交互结构的优化主要考虑两点:一是构建信息交互结构的费用,另一个就是信息交互结构的性能。信息交互结构性能主要包含两个方面:一个是构建网络的可靠性;另一个就是交互链路的服务质量,服务质量主要是考虑任务信息单元传输的时间损耗,延时越小,服务的质量越高。

①成本费用约束

构建信息交互结构的成本主要由互链路容量大小和交互链路数量决定。交互链路的成本与交互链路的容量成正比,即每条交互链路 $L_{i,j}$ 都有一个固定的成本系数 $\alpha_{L_{i,j}}$ 。整个信息交互结构的构建费用为

$$Cost = \sum_{i=1, j=1, i \neq j}^M \frac{\alpha_{L_{i,j}} C_{L_{i,j}}}{2} \quad (1)$$

②延时性能约束

交互链路的延时主要由链路容量和任务信息单元在信息交互结构中的路由决定。

定义6 整个使命过程中交互链路 $L_{i,j}$ 单位时间所经过的任务信息单元量定义为该链路的任务信息单元到达率 $\lambda_{i,j}$, $\lambda_{i,j}$ 为所有经过此交互链路的路由所传递信息到达率的总和:

$$\lambda_{i,j} = \sum_{\substack{p=1, q=1 \\ p \neq q}}^M \hat{I}_{(p,q)} \cdot \Pr_{(p,q)}^{i,j}$$

$$\Pr_{(p,q)}^{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } L_{i,j} \in R_{(p,q)} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

采用排队论模型对问题进行建模求解,依据 Kleinrock 的排队论设想假设每条交互链路都是一条 $M/M/1$ 模型队列,而且忽略各条交互链路间信息流的相互影响。这样可以计算出在一条交互链路 $L_{i,j}$ 上平均信息单元等待数率 $N^{i,j}$ 为

$$N_{L_{i,j}} = \frac{\lambda_{i,j}}{C_{L_{i,j}} - \lambda_{i,j}} \quad (3)$$

依据 Little 定律, 在稳定的状态下, 存储在组织信息交互结构中的任务信息单元量等于信息单元的平均到达率乘以这些信息单元在信息交互结构中经历的平均时间, 也就是交互链路损耗的延时。整个信息交互结构中的平均延时 T_D 为

$$T_D = \frac{1}{\gamma} \sum_{L_{i,j} \in L} N_{L_{i,j}} = \frac{\sum_{L_{i,j} \in L} \frac{\lambda_{i,j}}{C_{L_{i,j}} - \lambda_{i,j}}}{\sum_{\substack{p=1, q=1 \\ p \neq q}}^M \hat{I}(p, q)} \quad (4)$$

其中 γ 为整个信息交互结构中的任务信息单元平均到达率, 等于信息交互结构中所有交互链路的到达率的总和。

2 C2 组织鲁棒性信息交互结构

一个鲁棒的组织在动态变化的使命环境中可以保持可接受的性能而不用改变其结构。这种组织的鲁棒性通常由任务资源分配上的冗余来实现, 从而对环境的变化具有不敏感性, C2 组织的信息交互结构也主要由分配任务所带来的信息量上的冗余来实现。

2.1 影响组织信息交互的不确定使命环境

非鲁棒的信息交互结构设计是基于事先估计的使命环境参数的, 然而, 这些参数实际上大多是未知的, 使命环境的突然变化会使预先设计好的信息交互结构失效。这就决定了设计组织信息交互结构时需要考虑可能发生的不确定性。在组织信息交互结构设计中需要考虑的使命环境不确定性包括: 任务与决策者之间的分配关系变化; 任务持续时间的变化; 决策者间持续信息传递时的通信速率变化; 任务结束所产生的转移信息量的变化。

对于初始使命 M , 可以用估计值、经验值等来决定初始参数和上面的各种不确定性变化范围。

定义 7 使命邻域: 根据初始使命参数和参数的不确定性变化范围可以随机生成新的使命, 所有这些新的使命构成了使命 M_0 的邻域, 记为 $n(M)$ 。 $n(M)$ 中的每个使命都可能成为真实的场景。随机选取其中的 H 个使命构成集合 $n^{(H)}(M) = \{M_1, \dots, M_H\}$, $n^{(H)}(M)$ 可以用来近似表示 $n(M)$, H 越大, $n^{(H)}(M)$ 的分布特征越接近于 $n(M)$ 。

2.2 C2 组织鲁棒性信息交互结构定义

使命环境的不确定性决定了要实现组织信息交互结构的鲁棒性设计, 这样的信息交互结构可以在使命邻域 $n(M)$ 中大部分使命能保证一个优良性能, 使命邻域的连续性决定了鲁棒性设计需要在 $n(M)$ 中提取离散的演本集 $n^{(H)}(M)$, 故鲁棒性组织是针对 $n^{(H)}(M)$ 进行定义的。

定义 8 C2 组织鲁棒性信息交互结构定义为组织可以根据不同使命情况采取不同的路由方案, 以满足对所要完成的使命样本集合 $n^{(H)}(M)$ 中的使命都能够提供一个相对较小延时的信息交互结构, 记为 O_{CR} 。一个 O_{CR} 包含了固定的网络拓扑结构 M_{con} (网络连通矩阵) 和与拓扑对应的链路容量 C_L 。

全连通并且每条链路的链路容量满足最大信息流需求的信息交互结构, 其鲁棒性一定很强, 但会带来过多的资源冗余, 而且如果所拥有的资源量有限是不能够实现的。鲁棒性设计是在资源量有限的情况下进行设计, 设计过程中链路最大成本不变, 这样的结构可以让有限的资源最大限度满足多个使命任务的需求。

3 组织信息交互结构鲁棒性设计

在每一个确定的使命环境下根据固定的路由, 都可以求解出各链路任务信息单元到达率 $\{\lambda\}$, 将使命 $M^{(h)}$ 下一组路由产生的到达率设为 $\{\lambda^{(h)}\}$ 。使命邻域 $n^{(H)}(M)$ 是依概率产生的, 假设使命 $M^{(h)}$ 的

概率为 $p^{(h)}$, 则根据 1.2 节信息交互结构的设计约束可以得到鲁棒性信息交互结构的优化目标和约束如下:

$$\min \sum_{h=1}^H \left[\frac{P^{(h)}}{\sum_{\substack{p=1, q=1 \\ p \neq q}}^M \hat{I}_{(p,q)}^{(h)}} \sum_{L_{i,j} \in L} \frac{\lambda_{L_{i,j}}^{(h)}}{C_{L_{i,j}} - \lambda_{L_{i,j}}^{(h)}} \right] \\ \left\{ \begin{array}{l} C_{L_{i,j}} \geq \lambda_{L_{i,j}}^{(h)}, \forall i, j \in \{1, 2, \dots, M\} \text{ and } \forall h \in \{1, 2, \dots, H\} \\ \sum_{\substack{i=1, j=1 \\ i \neq j}} \frac{\alpha_{i,j} C_{L_{i,j}}}{2} \leq C_{\max}^T \end{array} \right. \quad (5)$$

其中 $C_{\max}^T$ 为组织设计信息交互结构所拥有的资源量。

3.1 基于嵌套遗传算法的组织信息交互结构设计流程

本文从链路容量着手, 采用嵌套遗传算法对鲁棒性组织信息交互结构进行设计。根据 2.1 节的不确定参数, 由初始使命 M_0 生成的使命邻域记为 $n(M)$, 并提取样本集 $n^{(H)}(M)$ 。

在鲁棒性设计中采用了启发式嵌套遗传算法, 外层遗传算法设计是为了优化出网络拓扑和链路容量, 是一个单遗传算法, 算法约束来源与内层遗传算法的结果。第二层是很多个子遗传算法并行, 每个子遗传算法针对样本集的一个使命任务, 利用对路由个体的优化搜索得到最小的延时, 作为适应值返回外层遗传算法。具体的方法步骤如下:

Step 1 初始使命 M_0 生成使命邻域, 选取使命样本集合 $n^{(H)}(M)$, 生成对应的信息交互需求的任务信息单元量的集合。

Step 2 以链路容量为个体进行外层遗传迭代, 评价链路容量的优劣是根据每个链路容量个体在完整使命任务集中的平均延时。

Step 3 进入内层遗传, 对 Step 1 中使命样本集中每个信息交互需求量逐一以路由为个体进行遗传求解。

Step 4 内层嵌套遗传求解目标是在链路容量的约束条件下搜索最佳路由来得到最小延时, 由于是一组使命任务, 每个使命任务都会得到一个最小延时, 按使命邻域的分布, 对延时集合进行概率求解, 其值作为内层遗传迭代的结果返回。

Step 5 外层两路容量遗传优化完毕后, 对优化出的链路容量进行分析, 检测每种使命下的信息流是否流经每个容量不为零的链路, 如果有链路没有信息流经过而存在一定容量, 说明优化结果未达到最优, 需继续进行优化, 否则停止优化, 得到鲁棒性的信息交互结构。

3.2 嵌套迭代算法设计

3.2.1 链路容量遗传算法设计

外层遗传以链路容量为种群个体进行优化搜索。对链路容量进行编码, 编码规则为: (C2 组织中有 m 个决策实体 DM) 容量个体是一个长度为 C_m^2 的实数串, 其排列为网络连通矩阵的上三角矩阵(不包含对角线上的元素)所对应链路的链路容量, 通过最后优化出的链路容量舍去为零的链路可以得到网络的拓扑结构。链路容量个体 C_L 用一维数据表示, 例如 $m=5$, 链路容量的编码为

$$C_L = [C_{L_{1,2}}, C_{L_{1,3}}, C_{L_{1,4}}, C_{L_{1,5}}, C_{L_{2,3}}, C_{L_{2,4}}, C_{L_{2,5}}, C_{L_{3,4}}, C_{L_{3,5}}, C_{L_{4,5}}] \\ = [0.77099 \quad 0 \quad 0.46533 \quad 0 \quad 1.2684 \quad 1.0522 \quad 0.9615 \quad 0.4816 \quad 0 \quad 0]$$

其信息交互结构拓扑及链路容量如图 1 所示。

在评价链路容量个体前, 链路容量在交叉变异过程中很难能优化到边界值 0, 所以为了结果更加优良, 对链路容量个体进行如式(6)所示近似处理:

$$\text{foreach } C_{L_{i,j}} \text{ in } C_L \text{ do } C_{L_{i,j}} = \begin{cases} 0, & \text{if } C_{L_{i,j}} < \lambda_{\min} \\ C_{L_{i,j}}, & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

对链路容量个体的适应性判断依据两点:

①第一点是根据构建信息交互结构的资源量最大值。

②第二点是根据嵌套的遗传算法所计算出的使命邻域内平均的最小延时,这个最小延时来源于第二层遗传算法的返回值,适应度函数设计也围绕第二层遗传算法展开。

在资源量最大值的限制下,设计外层遗传算法的适应度函数如式(7)所示:

$$GA Fitness(C_L) = \begin{cases} A(\sum_{i=1, j \neq i}^H \frac{\alpha_{i,j} C_{L_{i,j}}}{2} - C_{\max}^T) + B, & \text{if } \sum_{i=1, j \neq i}^H \frac{\alpha_{i,j} C_{L_{i,j}}}{2} > C_{\max}^T, \\ \min \sum_{h=1}^H (P^{(h)} T_d^{(h)}), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

其中 A 、 B 为常数值,控制算法收敛的效果。

如果链路容量个体满足资源量的约束,适应度函数值来源于内层嵌套的遗传算法所计算的使命邻域样本集中依概率平均的最小延时 T_d 。

3.2.2 嵌套路由遗传算法设计

内层嵌套的遗传算法在实现上可以作为独立的模块,其输入是外层遗传算法的链路容量个体 C_L 和完成使命所需的信息交互需求量 $n^{(H)}(I)$,输出为每个使命最优的路由集合和信息交互结构的最小延时。作为一个嵌套的优化循环,它逐一完成了一个使命邻域内所有具体使命信息交互需求样本的优化。

第二层遗传算法实现上是以信息路由为个体进行编码,对路由进行最优搜索。编码规则为:任务信息路由为一组前后衔接的任务链路集合,将每两个决策实体传递信息的路由编码设计为传输途经的决策者序列。例如决策实体 DM_i 至 DM_j 的路由编码为 $R^{(i,j)} = [i, x_1, x_2, \dots, x_{RouteL_{\max}}, j]$, $\forall x \in \{1, \dots, M\}$, 其中, $RouteL_{\max}$ 为路由编码的最大长度。

路由是随机产生的,每个路由由个体依据一个使命下的任务信息单元量均可求解出链路信息到达率集合 $\{\lambda_k\}$, 依据式(4)求解延时。对路由的评价依据三点:第一点外层链路容量个体所生成的拓扑关系是否满足路由个体;第二点是在指定的路由个体下的链路信息到达率是否大于该链路的链路容量;第三点是在满足前两点的条件下,此路由在 C_L 下的延时。设计适应度函数如式(8)所示:

$$\begin{cases} GAR Fitness(\{R\}) = \frac{1}{\sum_{p=1, q \neq p}^M \hat{I}_{(p,q)}} \cdot \sum_{L_{i,j} \in L} T_d(L_{i,j}) \\ T_d(L_{i,j}) = \frac{\lambda_{i,j}}{C_{L_{i,j}} - \lambda_{i,j}} \cdot E(C_{L_{i,j}} - \lambda_{i,j}) + \left[C \cdot (C_{L_{i,j}} - \lambda_{i,j}) + D \right] \cdot E(\lambda_{i,j} - C_{L_{i,j}}) \\ E(u) = \begin{cases} 0, & \text{if } u < 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases} \quad (8)$$

其中 C 、 D 为常数值,依解决问题的数量级而定。

4 实验结果与分析

案例为多军兵种联合作战的登陆战役,实验数据来源于文献[2]。案例中共有5个决策实体 DM 。任务执行的时间及顺序如表1和图2所示。其中每两个决策实体间的任务内同步协作信息量 I^I 如表2所示,任务间约束带来的信息量 I^S 如表3所示。组织完成整个使命的时间为267.5s,假设拥有的资源量为5个单位。所设计的信息交互结构中交互链路的成本系数 α_k 均为1。

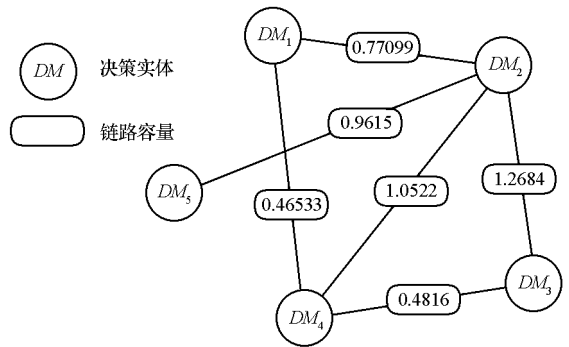


图1 指定 $\{C_L\}$ 个体的拓扑及链路容量演示

Fig.1 The topology and capabilities of appointed

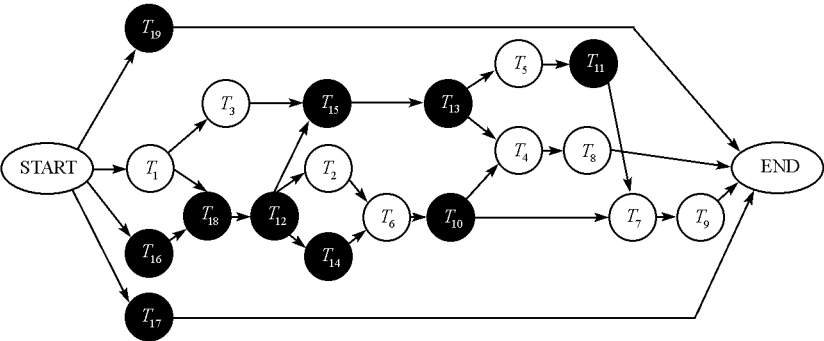


图 2 初始使命任务关系图

Fig. 2 Mission precedence task graph for the first mission

表 1 任务统计与任务分配

Tab. 1 Task statistics and task-DM assignment

任务 ID	开始 时间	结束 时间	持续 时间	任务- 主体分配				
				DM ₁	DM ₂	DM ₃	DM ₄	DM ₅
T ₁	48.37	58.355	9.98	0	1	0	0	1
T ₂	94.08	108.59	14.52	0	0	0	0	1
T ₃	76.16	89.82	13.7	1	0	0	0	0
T ₄	173.29	179.59	6.3	1	0	0	1	0
T ₅	195.96	201.16	5.2	1	1	0	0	0
T ₆	133.44	136.84	5.4	1	0	0	1	0
T ₇	250.81	262.41	11.6	0	0	0	1	1
T ₈	262.41	267.51	5.1	1	0	0	0	1
T ₉	179.61	187.91	8.3	0	1	0	0	1
T ₁₀	152.84	164.14	11.3	0	1	0	1	0
T ₁₁	237.76	250.86	13.1	0	1	1	0	0
T ₁₂	87.02	94.121	7.1	0	1	1	0	0
T ₁₃	135.72	149.32	13.6	0	1	1	0	0
T ₁₄	120.59	131.39	10.8	0	1	1	0	0
T ₁₅	101.15	112.45	11.2	0	1	0	0	0
T ₁₆	15.4	28.4	13.0	0	1	1	1	0
T ₁₇	52.44	59.54	7.1	1	0	1	1	0
T ₁₈	65.71	76.11	10.4	0	1	0	0	0
T ₁₉	37.40	50.1	12.7	0	1	0	1	0

表 2 同步协作信息量

Tab. 2 Synchronization cooperation

	information flow				
	DM ₁	DM ₂	DM ₃	DM ₄	DM ₅
DM ₁	0	5.2	7.1	18.8	5.1
DM ₂	5.2	0	57.59	37	18.28
DM ₃	7.1	57.59	0	20.1	0
DM ₄	18.8	37	20.1	0	11.6
DM ₅	5.1	18.28	0	11.6	0

表 3 任务间约束信息量

Tab. 3 Communication due to inter-task

	information flow				
	DM ₁	DM ₂	DM ₃	DM ₄	DM ₅
DM ₁	0	15	5	5	5
DM ₂	20	0	20	25	15
DM ₃	15	20	0	15	10
DM ₄	10	15	0	0	15
DM ₅	10	10	0	5	0

4.1 不确定使命环境设计

由文献[2]的初始使命生成两个使命邻域,生成过程如下:

(1) 由初始使命 $M^{(0)}$, 假设任务分解和相互间依赖的变化导致任务分配的变化, 产生新的使命 $M^{(1)}$ 和信息交互需求信息量 $I^{(1)}$, 任务分配变化分为三种情况: 由任务量增加或减少决策实体, 以及任务的决策实体变更。变更后的任务指配如表 4 所示(只列出有变化的任务), 任务信息单元量变化如表 5 所示。

(2) 由初始使命 $M^{(0)}$ 变化, 假设任务参数变化导致任务时间均增加 1.1 倍, 通信率增加到 1.4 倍。任务完成产生的需转移的信息包由 5 增加为 7, 参数改变的同时任务时间也会增长 1.1 倍。

$$\dot{I}^{(2)} = \left[1.1 \times I^{(0)} \times 1.4 + I^{S(0)} \times 1.4 \right] / \left(T^{(0)} \times 1.1 \right)$$

表 4 任务指派关系变更表
Tab. 4 The change of task-DM assignment

	DM_1	DM_2	DM_3	DM_4	DM_5
T_1	0	0	1	0	1
T_4	1	0	0	1	1
T_7	1	0	0	0	1
T_{10}	0	1	0	0	1
T_{14}	1	0	0	1	0

表 5 使命 $M^{(1)}$ 的任务信息单元
Tab. 5 The task-information for mission $M^{(1)}$

	DM_1	DM_2	DM_3	DM_4	DM_5
DM_1	(0, 0)	(5 2, 15)	(7 1, 0)	(29 6, 5)	(23, 15)
DM_2	(5 2, 30)	(0, 0)	(46 48, 15)	(25 7, 15)	(19 6, 30)
DM_3	(7 1, 20)	(46 48, 20)	(0, 0)	(20 1, 0)	(9 98, 15)
DM_4	(29 6, 10)	(25 7, 10)	(20 1, 0)	(0, 0)	(6 3, 10)
DM_5	(23, 130)	(19 76, 10)	(9 98, 0)	(6 3, 10)	(0, 0)

(注: 左侧为同步任务信息量, 右侧为任务间约束信息量)

4.2 实验结果分析

根据组织信息交互结构设计方法改变目标和约束在使命 $M^{(0)}$ 下计算出最小的延时如图 3 所示。同样的方法可得使命 $M^{(1)}$ 和 $M^{(2)}$ 下的最小延时为 3.5689 和 4.3178。将使命 $M^{(k)}$ 下的最优组织信息交互结构定义为 O_{ck} 。通过对路由的优化搜索, 分析每个使命下最优信息交互结构在完成三个使命时的情况如图 4 所示。可以看出三个使命下优化出的信息交互结构都有不适应所有三个使命的情况, 延时成倍增加, 严重影响信息交互结构性能, 不具备鲁棒性。假设三种使命执行的概率相同, 求解出的信息交互结构 O_{cR} 如图 5 所示, 其在完成各个使命所产生的延时如图 6 所示。实验结果表明, 基于嵌套遗传算法所设计出来的信息交互结构虽然对单一使命较其最优结构有略微的性能降低, 但总体对每个使命都能保证一个相对优良的性能, 所以所设计的信息交互结构具有较强的鲁棒性。

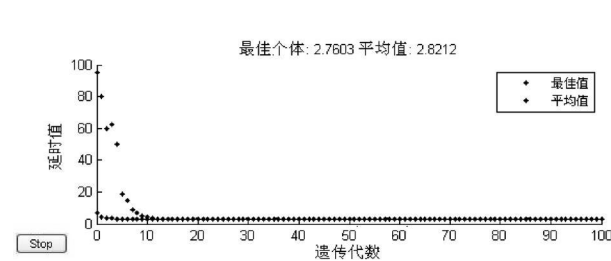


图 3 使命 $M^{(0)}$ 下优化延时收敛图

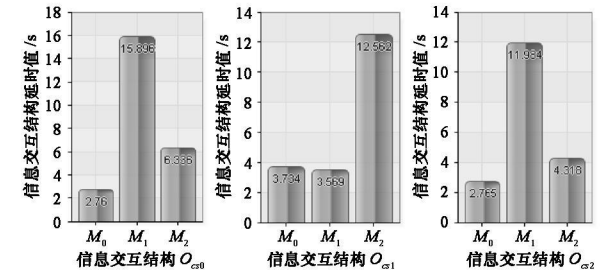


图 4 信息交互结构 O_{ck} 在各使命下的延时对比分析图

Fig. 3 The chart of constringency delay for the mission $M^{(0)}$

Fig. 4 Comparison of the delay in communication structure O_{ck} for each mission

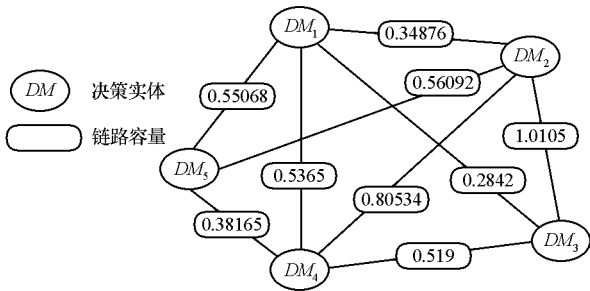


图 5 信息交互结构 O_{cR} 图示

Fig. 5 Communication structure O_{cR} for each mission

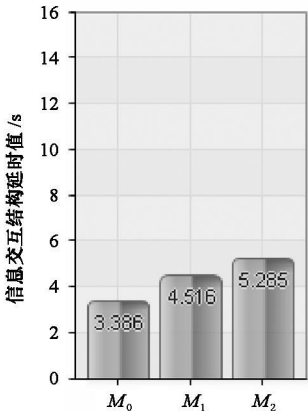


图 6 O_{cR} 完成各个使命的延时对比分析图

Fig. 6 Comparison of the delay in communication structure O_{cR} for each mission

5 结 论

本文讨论了 C2 组织信息交互结构的鲁棒性设计问题,通过扩展已有的 C2 组织信息交互结构设计方法,提出了鲁棒性组织结构的设计方法。一个设计良好的鲁棒的组织信息交互结构可以很好地执行一定范围内的使命的信息交互任务,而不是对某一特定使命有效。虽然对每一个特定的使命,可能会带来轻微的性能降低,但却可以最小化组织信息交互结构的脆性。实验结果证明结果的鲁棒性结果有很大提高。

参 考 文 献:

- [1] Alberts D S, Garstka J J, Stein F P. Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority[C]// Washington D C: DoD Command and Control Research Program, 1999.
- [2] Levchuk G M, et al. From Hierarchies to Heterarchies: Application of Network Optimization to Design of Organizational Structures[C]// Proceedings of the 7th Command & Control Research & Technology Symposium, Monterey, CA, June 2002: 11– 14.
- [3] Taguchi G. Introduction to Quality Engineering[R]. White Plains, New York: UNIPUB/Krauss International, 1986.
- [4] Levchuk G M, Levchuk Y N, Luo J, et al. Normative Design of Organizations Part I : Mission Planning [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A 2002, 32(3): 346– 359.
- [5] Levchuk G M, Levchuk Y N, Luo J, et al. Normative Design of Organizations Part II : Organizational Structure [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A, 2002, 32(3): 360– 375.
- [6] Levchuk G M, Levchuk Y N, Meirina C, et al. Normative Design of Organizations—Part III: Modeling Congruent, Robust, and Adaptive Organizations [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A, 2004, 34(3): 337– 350.
- [7] 修保新, 张维明, 刘忠, 等. 基于粒度计算的鲁棒性组织设计方法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(18): 4221– 4225.
- [8] Mu L, Xiu B X, Huang J C, et al. The Optimization Design of C2 Organization Communication Network based on Nested Genetic Algorithm[C]// IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics, China, July 2009: 1877– 1884.

(上接第 97 页)

参 考 文 献:

- [1] Finn H M, Johnson R S. Adaptive Detection Mode with Threshold Control as a Spatially Sampled Clutter-level Estimates[J]. RCA Review. 1968 (29): 414– 464.
- [2] Hansen V G. Constant False Alarm Rate Processing in Search Radar[C]// London, UK, 1973: 325– 332.
- [3] Trunk G V. Range Resolution of Targets Using Automatic Detectors[J]. IEEE Trans. on AES. 1978, 14(5): 750– 755.
- [4] 何友, 关键, 彭应宁, 等. 雷达自动检测与恒虚警处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [5] Rohling H. Radar CFAR Thresholding in Clutter and Multiple Target Situations[J]. IEEE Trans. on AES. 1983, 19(4): 608– 621.
- [6] Richard J T, Dillard G M. Adaptive Detection Algorithms for Multiple-target Situations[J]. IEEE Trans. on AES. 1977, 13(4): 338– 343.
- [7] Gandhi P P, Kassam S A. Analysis of CFAR Processors in Nonhomogeneous Background[J]. IEEE Trans on AES. 1988, 24(4): 427– 445.
- [8] Elias A R, De Mercad M G, Davo E R. Analysis of Some Modified Order Statistic CFAR: OSFO and OSSO CFAR[J]. IEEE Trans. on AES. 1990, 27(1): 197– 202.
- [9] Cao T T V. A CFAR Thresholding Approach Based on Test Cell Statistics[C]//IEEE Radar Conference, Philadelphia, USA: 2004:291– 297.
- [10] Cao T T V. A CFAR Algorithm for Radar Detection Under Severe Interference[C]//IEEE Conference on Intelligence Sensors, Sensor Networks and Information, Melbourne, Australia: 2004: 167– 172.
- [11] Cao T T V. Constant False-alarm Rate Algorithm Based on Test Cell Information[J]. IET Radar Sonar and Navigation. 2008, 2(3): 200– 213.
- [12] Erfanian S, Vakili V T. Introducing Excision Switching-CFAR in K Distributed Sea Clutter[J]. Signal Processing. 2009: 1023– 1031.