

信息时代战场兵力组织的运作分析与设计*

阳东升,修保新,彭小宏,刘忠,张维明

(国防科技大学 信息系统与管理学院,湖南 长沙 410073)

摘要 :信息化战场空间、扁平化和网络化的兵力组织形式是未来网络中心战中作战部队编成的主要样式。为建立这一编成样式的设计方法和思路,以战场环境中兵力组织为例,分析了 PCANS 模型对信息时代组织测度的缺陷,在 PCANS 模型中引入信息因素描述组织的运作,并提出信息时代战场空间兵力组织设计的实质和目标以及设计方法。

关键词 组织描述 组织设计 物质流 信息流

中图分类号 :C394 文献标识码 :A

Analyzing and Designing the Military Organization in the
Battlefields of Information Age

YANG Dong-sheng, XIU Bao-xin, Peng Xiao-hong, LIU zhong, ZHANG Wei-ming

(College of Information Systems and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :In the battlefields of the information age, the flattening and networking organizations are the primary mode of the military organizations for network centric warfare. To explore the methodology of designing the mode of the military force, the model of PCANS is used to characterize the military organization in the traditional battlefields, on which its shortages are analyzed for organizations in the information age. Importing the information into PCANS, We advance a new approach to describe the organizations. And the essence, objective and methodology of designing the organization are presented on the organizational description in the information age.

Key words :organizational description ; organizational design ; commodity flow ; information flow

组织设计在不同领域有不同的表现形式,包括:现代企业面临全球化趋势的挑战,企业重组、组织再设计以及流程重组;信息和网络技术的发展,使得虚拟企业、网络组织以及敏捷生产制造的设计和构造等都借助于组织的计算模型来辅助分析和设计;在复杂战场空间,多兵种联合作战如何构造适应性指挥控制结构,合理分配作战平台,充分利用作战资源,提高整体的快速反应能力,增强整体作战能力等,这些构成了现代军事组织建立适应性指挥控制体系的研究重点,是未来战场网络环境下实现“网络中心战”核心技术之一。

从目前涉及组织问题域研究来看,组织的优化设计研究包括两方面:一方面优化组织结构,如决策层次、决策者的资源分配和职能分配以及组织内部交流结构;另一方面优化组织策略,如决策者的任务执行序列和任务分配等。优化设计的组织使得组织在完成一项具体使命时表现出较高的效能。在组织决策这一领域的研究表明,在具体的任务环境结构与相应的优化组织设计之间存在密切的功能关系^[1-3]。

根据组织权变理论,没有公认一致、普遍适用的最优组织结构和形式,只有在某一具体任务环境下,适用于具体条件的最优组织。因此,任务和组织的匹配结构(组织决策网络)就成为组织优化设计的一个重点^[4]。对这一结论的验证,美国海军实施了一系列以计算机为媒介的团队实验^[5]。组织设计问题完全取决于实际的使命参数和组织的约束参数,这个前提使得在优化设计人类组织和团队时采用系统

* 收稿日期 2004 - 09 - 14

基金项目 国家自然科学基金资助项目(70271004 和 70401003)

作者简介 阳东升(1976—),男,博士生。

工程技术,并提倡使用标准算法^[6-10]。

1 组织描述与设计问题分析

1.1 组织的描述

人类组织的形式随着技术的发展在不断变迁,尽管对于这一问题的研究始于人类有组织,但从目前组织科学的研究来看,还没有一种公认的、普遍接受的组织描述方法用于组织的测度,这一问题难点也在于人类组织随着科技的进步在不断演化,呈现新的特征与形式。

对这一问题的尝试,Carley提出了PCANS模型^[11]。以战场的兵力组织为例,对一次传统战役活动采用该模型描述,如图1所示。它包括三个域和五种关系,其三个域为决策实体、物理平台和任务,五种关系包括:决策实体之间的关系;决策实体—平台关系;平台—任务关系;决策实体—任务关系;任务之间的关系。组织的域以及关系是否完整地描述了一个组织呢?

在人类社会发展的农业时代,人类组织是典型的等级组织,在组织中运作的基本元素是组织个体——人以及个体所依赖的平台——简单的工具,这些都表现为物质形态,物质形态在很大程度上决定了组织的整体效能,是传统等级组织主导因素,对这种组织采用Carley所提出的模型进行测度是足够的。到了工业时代,科学技术的发展导致物质形态向能量形态的转变,出现了机械化平台以及电话、电报等先进通信手段,这使得组织决策个体和平台的运作不再仅仅是简单的物质形态的体现,能量形态主导了组织的行为,在对其能量形态精确量化的基础上采用PCANS模型来测度一个战场兵力组织是可行的。

而在人类社会跨入信息时代,组织的运作呈现出物质、能量和信息形态,信息主导了组织的特征行为。在这种情况下采用PCANS模型并不能用来测度一个组织,这一点通过在ORGAHEAD模型上的虚拟实验与在美海军进行的A2C2系列实验的结果的对比上得到证实^[11]。

信息影响了组织中的三个域和域之间的关系,关联了决策实体、平台资源和任务,是主导组织整体效能的因素,使得组织呈现新的运作方式(如图2所示)。组织中的信息运作包括三个层次的信息流:任务间的信息流——任务的序列关系、前导任务的执行和完成必须把必要的信息传输给后续任务,任务以及任务信息流驱动了平台的协作需求;平台间的协作交流——同一任务的执行对多平台功能协作需求导致多平台间的信息传递;决策实体间的信息交流——平台间的协作通过控制平台的决策实体进行导致了决策实体间的信息交流,平台之间的信息传递以及决策实体之间的信息交流在很大程度上影响了组织的效能,是组织结构必须考虑的因素之一。通常,在传统组织中,等级结构的确定建立了组织中信息流,结构的设计反应了组织中信息运作效率。

由于缺乏对组织中信息度量和描述的工具,大多对组织设计的研究都没有关注组织中的信息运作,如ORGAHEAD模型、Levchuk的设计流程及算法等。

1.2 组织设计的实质问题

在设计一个组织或者团队去完成具体使命时,通常会遇到这些问题:谁拥有什么?谁能做什么?谁能控制什么?谁能看见什么?谁知道什么?谁能和谁交流?谁发布命令?谁作决策?谁负责什么平台功能?谁需要与谁交流?谁与谁在任务上协作?谁需要与谁协调?等等(如图2所示)。明确了这些问题也就构造了一个完整的组织或者团队。

基于图2对组织的描述和分析,组织设计的这些问题可以概括为对以下问题的回答:(1)基于组织使命产生任务序列和任务对资源的需求,即在什么时间去做什么?什么任务的执行需要哪些功能的协作?(2)平台资源到任务的分配,即平台执行什么功能?去完成什么任务?(3)平台资源的聚类,即哪

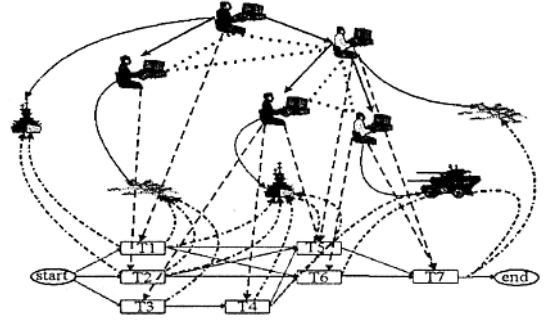


图1 战场兵力组织的PCANS模型

Fig.1 PCANS model of force in battlefields

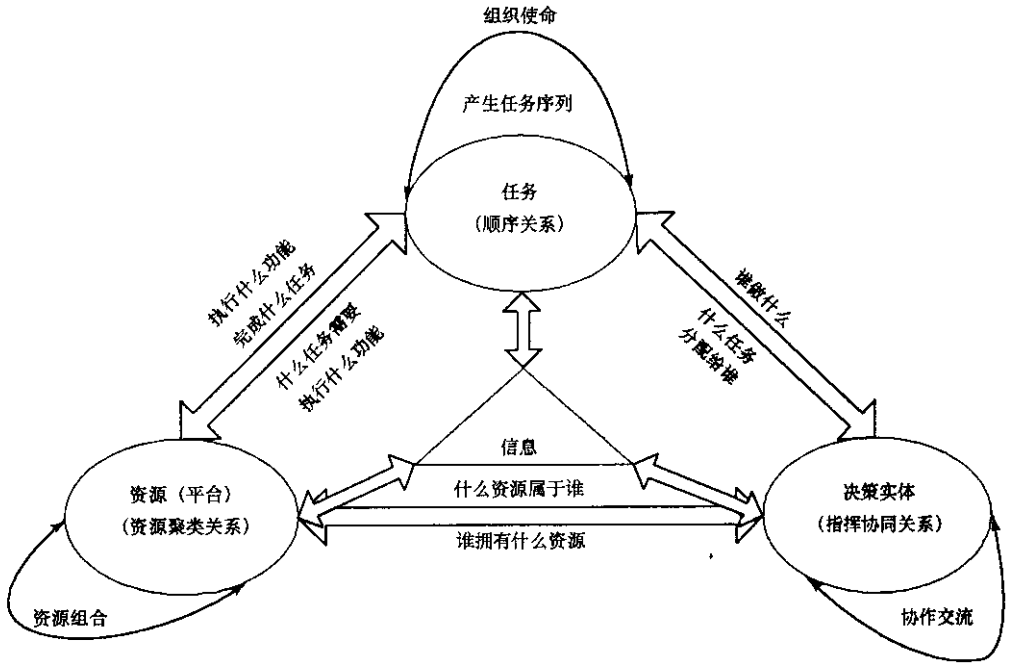


图2 信息时代组织的描述

Fig.2 Description of organization in information ages

些平台归属同一决策实体的指挥更有利于组织的整体效能?(4) 决策实体的协作交流与指挥控制关系,即在平台资源聚类基础上建立这些聚类之间的关系,这些关系的建立就确立了决策实体之间的指挥协同关系。

对于以上问题的回答又可以概括为组织设计的两个目标:目标之一是把合适的平台在恰当的时候部署到正确的地点并实施最佳功能执行正确的任务;目标之二是把正确的信息以高效和安全的途径传送给需要的地方。目标之一是组织过程策略的体现,而目标之二是结构策略的体现。

2 组织的系统观与设计方法

从系统论角度来看,组织(Or)是一个开放的系统,它包括环境、组织元素(如主体或处理器)、结构(组织元素之间的关联)、过程和组织的输出。当把组织使命(M)分解成任务(T)时,就提供了建立组织元素之间关联的基础,这种关联就是平衡组织内元素任务协作与负载。组织对其使命的执行可以看做一种输入与输出的转换,这种转换是由任务链接而组成,是组织内或者组织与环境之间的一种“流”,这种流包括组织中物质和信息两个方面在组织中的流动。记组织中物质流和信息流分别为 f_1, f_2 , 则其转换过程可描述为如下关系:

$$Or(f_1, f_2) = f(M \rightarrow T) \tag{1}$$

组织设计就是设计组织的物质流与信息流以获取完成组织使命的最佳效能(ef),其设计过程可描述为:

$$Or'(f_1, f_2) = \max ef_{f_1, f_2} \{ M \rightarrow T \} \tag{2}$$

物质在组织中的流动对生产制造企业来说就是从原材料到产品的过程,而对于战争环境中的兵力,组织物质流动则是对完成一次作战使命的行动过程,也可称之为“行动流”。这种流的设计通常就是拟定完成作战任务的“行动方案 and 计划”。组织中的物质流体现了组织的过程策略,具体地说,物质流实现组织内任务过程的交互、平台资源功能的选择,以确定最优的任务过程和任务执行合适的平台功能,快速而有效地完成任务。

组织中的信息流动包括对组织中信息的三种递进关系的运作:任务间的信息流、平台资源间的协作信息交流以及决策个体间信息交流,这种信息运作可以理解为组织中纵向的管理、控制、监督和反馈以

及横向的协作交流等活动,称之为组织中的“信息流”。信息流在组织物理网络固定的情况下是组织结构策略的体现,是组织的信息交流拓扑。由此,对于组织设计,就是构造最佳物质流与信息交流拓扑,这两种流的最佳设计就是满足组织设计的两个最高目标。而这两种流在组织设计过程中是交叉影响的关系,物质流的设计必须考虑基本信息流(任务信息流)因素,信息交流拓扑的设计基于物质流。

2.1 物质流设计——过程策略

物质流是组织过程策略的体现,从本质上来看,就是如何依据有限的平台资源设计最佳行动策略,有效完成复杂的组织使命任务。其设计任务包括:产生任务的交互序列,确立各任务对平台、功能和能力的需求。对这一过程的描述需要依据图2对组织的描述建立如下基本概念和实体模型。

功能 f : 功能是对组织平台资源所具备能力的量度,是关联组织平台与任务的基础。对组织所有平台资源功能的划分及其功能能力的量度,记为组织的资源能力状态,即 $F_s = (f_1, f_2, \dots, f_k)$, 其中, k 是组织资源功能类型数量, f_k 表示组织所拥有的第 k 功能的能力。

平台 P : 平台是组织功能能力的载体,其属性包括平台的类型、资源能力 c 、信息处理能力 c_{in} 、地理位置 $l = (x, y)$ 、机动速度 v 等。平台能力矢量为 $c = (r_1, r_2, \dots, r_k)$, 其中, $r_h (1 \leq h \leq k)$ 表示在平台 P 上可获取功能 h 的能力。

任务: 任务由组织使命产生,是关联组织元素的基础。任务过程的信息包括: 由组织使命产生得到的子任务集合 $T_s = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ (m 是子任务数量); 任务间的顺序关系 G_T 、任务处理时间需求 t 、处理的资源能力需求 $n = (w_1, w_2, \dots, w_k)$ 和地理位置 (x, y) 等。其中, $w_j (1 \leq j \leq k)$ 是任务处理时所需要的第 j 功能的能力, G_T 定性描述任务之间的依赖关系,如任务的优先顺序、基本信息流程以及输入输出关系等, $G_T = (V_i, E_i)$, V_i 表示任务结点, $t_i \in V_i (1 \leq i \leq m)$, E_i 表示任务之间的有向链接, $e_{i,j} = < t_i, t_j > \in E_i$ 。

任务空间: 组织使命依据不同的分解方法会产生不同的子任务,由使命产生的子任务集 T 及任务图构成了任务空间 $Z_T = (T; G_T)$ 。任务空间包含了所有可能实现组织目标的任务过程,即对任意 z_T , 如果 $G'_T(z_T) \rightarrow M$, 则 $z_T \in Z_T$ 。

基于以上基本概念的定义,可以把物质流的设计分解为任务空间的产生 $f_i(A)$ 和任务空间到平台通过功能的映射 $f_j(B)$, 任务空间的产生依据组织完成使命的最佳效果,而任务空间到组织资源空间 P 的映射则是通过信息 inf 和功能 f 的因素,建立平台执行任务的最佳效率。因此,物质流的设计过程可以如(3)式表示。

$$\begin{cases} f_i(A)(T; G_T) \xrightarrow{\max ef(G_T)} f_i(A) \\ f_j(B)(Z_T; \overset{f, inf}{I} \rightarrow P) \xrightarrow{\max ef(G_T)} f_j(B) \end{cases} \quad (3)$$

2.1.1 任务空间的产生

使命空间的产生在战争环境中通常是行动方案的选择,而行动方案的制定过程通常是对行动效果和行动所需资源进行考虑,这就导致了这一问题解决的两种途径:一种途径是依据目标对资源的需求进行平台资源的优化分配而产生行动过程,其优化分配的主要依据大多是解决资源冲突问题、完成任务的时效性等等,如空军战役规划问题,罗马实验室和美国高级研究计划署以及人工智能领域的许多研究工作都采用了这种途径;另一种途径就是已知行动和行动可能导致对手的反应来选择行动过程,通过这种途径把问题描述为马尔可夫决策过程或建立贝叶斯网络,如系统凯撒 I、II 采用的技术途径,以及康涅狄格大学对于组织策略的研究等。

对于这两种途径,从不确定性研究的角度来看,前一种途径只考虑了对目标分配相应平台资源执行平台功能的不确定性,这种不确定性称之为客观不确定性,这种不确定性通常是某类型的武器或作战平台资源的战技性能对目标的攻击或摧毁或控制的概率,而后一种途径可以认为是主观的不确定性,是指挥人员或策略制定人员对敌方可能的行动的主观推断,这种策略选择过程可以看做是敌我双方的一种博弈行为。这两种不确定性显然存在一种层次的关系,主观的不确定性在一定程度上源于客观的不确定性。

以上两种设计途径代表了两种不同的设计思想,第一种途径着重考虑了资源分配的完备性与完成使命的时效性,第二种途径着重考虑不同的过程可能导致的对抗效果。结合这两种途径的考虑,可以理解任务空间的产生一方面是基于效果的,另一方面受限于组织的资源状态,其目标是完成组织使命。

任务空间 Z_T 的产生受限于组织资源状态。关联任务空间与组织资源状态的基本元素是功能 f ,在产生任务空间时就必须建立任务空间能力需求 $W(Z_T)$ 与组织资源功能 F_s 的对应关系,即:

$$W(Z_T) \xleftrightarrow{f} F_s = (f_1, f_2, \dots, f_k)$$

任务空间 Z_T 的实现目标是完成组织使命 M ,即:

$$G'(z_T) \rightarrow M$$

在任务空间 Z_T 中的任务过程 G'_T 的能力需求必须受限于组织资源能力 F_s 状态,即:

$$W(G'_T) = \left(\sum_{i=1}^{1V_T1} t_i(w_1), \sum_{i=1}^{1V_T1} t_i(w_2), \dots, \sum_{i=1}^{1V_T1} t_i(w_k) \right) \leq F_s$$

由此(3)式中 $f_i(A)$ 的产生是一个基于组织资源能力约束的优化过程,其约束包括:任务集的产生实现了组织目标,任务过程对资源的能力需求是通过功能建立与组织资源能力的一一对应关系,任务过程的能力需求不能超过组织资源能力。 $f_i(A)$ 设计过程如(4)式所示的数学描述。

$$\begin{aligned} & \max ef_i(G'_T) \\ \text{st} & \begin{cases} W(z_T) \xleftrightarrow{f} F_s = (f_1, f_2, \dots, f_k) \\ G'(z_T) \rightarrow M \\ W(G'_T) = \left(\sum_{i=1}^{1V_T1} t_i(w_1), \sum_{i=1}^{1V_T1} t_i(w_2), \dots, \sum_{i=1}^{1V_T1} t_i(w_k) \right) \leq F_s \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

2.1.2 任务空间到平台资源通过功能的映射

任务空间到平台资源通过功能的映射是组织资源分配策略,其分配过程中可能出现的情况包括:一个平台可以同时处理多个任务,一个任务需要多个平台的协作,不同平台在处理同一任务时需要不同的时间,不同任务之间需要不同的信息交流,不同平台之间有不同的信息交流能力。这一设计过程的目标是对 $f_i(A)$ 产生的任务过程设计最佳执行方案,通常,对这一映射的建立都是考虑完成使命的效率 ef_2 ,在已经建立空间的基础上进行任务空间到平台资源的映射,其设计目标效率 ef_2 的最大化可以理解为完成任务过程时间的最小化,即建立平台之间的有效协作,在最短时间内完成任务过程。

记组织的平台资源集 $P_s = \{p_1, p_2, \dots, p_q\}$ (q 为平台数量),则映射关系 $f_i(B)$ 的建立就是在任务空间 Z_T 和组织平台集合 P_s 之间,通过组织的功能集 F_s 建立最佳映射关系,以达到在最短时间内完成任务过程,即

$$f_i(B) : \max_{Z_T \leftrightarrow P_s} ef_i(Z_T \leftrightarrow P_s) = \min_{Z_T \leftrightarrow P_s} T(Z_T \leftrightarrow P_s) \quad (5)$$

式中, $ef_i(Z_T \leftrightarrow P_s)$, $T(Z_T \leftrightarrow P_s)$ 分别为任务空间与平台建立一一映射关系的时间函数。

这一映射关系的建立是一个复杂的优化过程,其考虑因素包括:任务的区域分布,对平台功能能力的需求,不同任务之间信息交流的需求,以及平台资源的自身属性(平台的机动速度,平台的信息处理能力以及不同平台在不同功能上所表现出的不同能力)导致了不同的映射方案会产生任务完成的不同效率。对这些因素可以概括为三个方面的时间需求对映射关系建立的影响:平台在不同任务域间的机动的的需求 X_1 、平台执行不同任务的时间需求 X_2 、任务信息流在不同平台之间传送的时间需求 X_3 。

在建立最佳映射关系过程中,其约束包括:平台机动能力,任务处理能力(能同时处理的任务数量),资源能力(所具备的功能能力限制)以及平台间信息传送能力。这些约束可分为平台自身局部约束 $C_i(p)$ 和组织全局约束 $C_i(P_s)$ 。

设计目标:最小化使命完成时间 Y 。

由此,对 $f_i(B)$ 的设计如(6)式的数学描述。

$$\min Y \quad (6)$$

$$\begin{cases} Y = \xi(X_1, X_2, X_3) \\ C_1 : C_1(p) \\ C_2 : C_2(Ps) \end{cases}$$

在设计组织物质流 f_1 的过程中,把 f_1 分解为对 $f_1(A)$ 和 $f_1(B)$ 的分步设计,其中对 $f_1(A)$ 的设计是基于组织完成使命的效果,对 $f_1(B)$ 的设计是在 $f_1(A)$ 的基础之上基于过程执行的效率,那么 $f_1(A)$ 与 $f_1(B)$ 之间就存在一种效果 ef_1 与效率 ef_2 之间的关系,显然,这两者之间是互相影响、互相调整的双向过程。

2.2 组织信息交流拓扑设计——结构策略

通常,在一个分工协作的组织中,其负责组织使命的某一任务的个体在执行任务而缺少完成任务必需的信息时,这一个体就需要同其上层或平级个体交流以获取必需的信息,当这些通道由超载、失效或其它原因导致个体交流受阻时,个体就不能有效完成任务而出现意外,从而导致组织的效能下降。对传统组织的信息运作,Georgiy 提出了两种途径以提高对复杂事务处理的能力:一是权力分散,减少组织中管理决策权威个体要处理的意外事件;二是在组织中增加新的 IT2K(信息处理技术)工具,以提供态势共享,提高组织的信息处理能力^[12]。如何在新型的网络组织中解决个体间信息超载、信息通道的健壮和信息传输的高效是目前组织设计研究的重点和难点之一。对这一问题的解决必须明确以下概念:

决策实体:信息交流的根本载体是组织内的决策结点,而决策结点在本文对组织的描述中体现为决策实体。决策实体是一个信息处理并进行决策的实体,其能力可通过控制必要的平台资源来执行任务。根据需要可定义决策实体的知识和能力,决策实体等同于智能主体。

基本信息流:组织中存在三个层次信息运作的递进关系,而这三个层次的信息本质上只存在两种基本信息流:一是在同一任务处理过程中的协作交流信息 inf_1 ;二是在前导任务与后续任务之间的信息流 inf_2 。前者是双向协作的信息流,后者是单向共享信息流。这两种信息需求驱动平台功能协作、决策实体交流,是组织中信息交流拓扑设计的基础。

信息交流拓扑:信息流的结构包括信息流的路由结构和信息在组织个体之间的交流结构,通常路由结构是组织物理网络(或无线通信)结构,信息在组织个体之间的交流结构才是组织设计要解决的重点问题。信息路由结构是信息交流结构的基础,也是信息交流结构设计的约束之一。

信息流 f_2 的设计就是选择组织平台资源最佳的组织信息交流结构和物理网络中信息传输路径,以达到信息在组织中传输的高效和信息在组织网络中的可靠性。

在信息路由结构固定的情况下,组织决策实体到平台以及组织决策实体之间关系的建立确定了组织中的信息交流结构,因此,信息交流结构是组织结构的体现,最佳信息交流拓扑设计任务就是把组织中某一决策结点发出的正确信息以最佳途径传送到正确的决策结点。这是组织设计的目标之二。

这一过程设计考虑的因素包括:信息拓扑的高效(D)、平衡(B)、健壮性或者可靠性(R)和代价(C)。信息拓扑的高效性 D 是指信息在组织中从一个结点到另一结点的传输过程中延迟最小。信息拓扑的平衡 B 是指信息在组织中的负载平衡,即不会导致某一结点的处理任务过大,或者某一链路超载。信息拓扑的健壮性 R 也称为信息拓扑的可靠性,是指信息在组织中不会因为某一结点的故障或失效而导致组织中信息的丢失、失真或出错或整个组织中的信息物理网络或交流结构的瘫痪。组织中的信息流不能超过组织信息网络的容限。信息流的代价 C 是指构造的信息拓扑所占用的整个网络的容量,在满足以上目标的基础上,信息流所占网络容量比例越小越好。

设计过程的约束包括:组织决策结点的信息处理能力,组织内部的信息网络结构和网络容量。这种约束包括网络容量和网络的物理结构。

因此 f_2 的设计是在基本信息流 inf_1, inf_2 的基础上考虑信息在组织中的延迟 D 、结点间信息负载的平衡 B 、信息结构的可靠性 R 以及网络容量的占用 C ,以构造满足要求的信息流拓扑结构,这一过程的数学描述如(7)式所示。

$$f_2 : \Psi_{(inf_1, inf_2)}(D, B, R, C) \quad (7)$$

式中, Ψ 为最佳信息拓扑结构在设计参数 D, B, R, C 之间的平衡。

显然, 这一过程的设计工作是在对基本信息流 inf_1, inf_2 的精确定量描述的基础上的多目标优化过程, 其结果是建立平台—决策实体以及决策实体之间的关系。

3 结论与展望

组织过程策略是组织设计的基础, 过程设计构建组织的物质流, 而过程设计结果导致组织平台和决策实体需要协作交流才能获得最佳效果。构造组织中的信息拓扑为组织设计的第二个目标, 组织的过程设计和结构设计组成了组织设计的全部工作。

由于过程设计关联组织使命、任务、平台资源状态和过程效果等因素, 使得其设计过程异常复杂, 在组织平台资源较多、任务和环境复杂的情况下, 其计算量大大增加。如何降低组织最佳物质流——组织过程产生的复杂性是组织设计的难点之一。在组织信息拓扑设计过程中, 本文分析了组织中存在的两类基本信息, 并提出了组织交流拓扑结构构造的目标参数和约束条件。对这两类信息的定量化描述, 建立信息在组织运作的定量模型以及信息在组织中的延迟模型, 是设计组织最佳信息拓扑的关键, 也是结构设计的难点。

参考文献:

- [1] Papastavrou J D, Athans M. On Optimal Distributed Detection Architectures in a Hypothesis Testing Environment [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1992, 37 :1154 – 1169.
- [2] Pete A, Pattipati K R, Kleinman D L. Distributed Detection in Teams with Partial Information : A Normative-descriptive Model [J]. IEEE Trans. Syst. , Man, Cybern. , 23 :1626 – 1648, 1993.
- [3] Carley K M, Lin Z. Organizational Design Suited to High Performance under Stress [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1995, 25 :221 – 231.
- [4] Pete A, Kleinman D.L, Pattipati K.R. Structural Congruence of Tasks and Organizations [A]. Proceedings of the 1994 Symp. on Command and Control Research and Decision Aids [C], NPS, Monterey, CA, 1994 :168 – 175.
- [5] Kemple W G, Drake J, Kleinman D L, et al. Experimental Evaluation of Alternative and Adaptive Architectures in Command and Control [A]. Proceedings of the 1997 Command and Control Research and Technology Symposium [C], Washington, DC, June 1997.
- [6] Pete A, Pattipati K R, Kleinman D L, et al. An Overview of Decision Networks and Organizations [J]. IEEE Trans. Syst. , Man Cybern. , May. 1998, 172 – 192.
- [7] Levchuk Y N, et al. Design of Congruent Organizational Structures : Theory and Algorithms [A]. Proceedings of 1996 Command and Control Research and Technology Symposium [C], Monterey, CA, June 1996.
- [8] Levchuk Y N, et al. Normative Design of Organizations to Solve a Complex mission : Theory and Algorithms [A]. Proceedings of the 1997 Command and Control Research and Technology Symposium [C], Washington, DC, June 1997.
- [9] Levchuk Y, Pattipati K R, Kleinman D L. Analytic Model Driven Organizational Design and Experimentation in Adaptive Command and Control [J]. Systems Engineering, (2), 1999.
- [10] Levchuk Y N, Luo Jie, Georgiy M, et al. A Multi-Functional Software Environment for Modeling Complex Missions and Devising Adaptive Organizations [A]. Proceedings of the 1999 Command & Control Research & Technology Symposium [C], NPS, Newport, RI, June 1999.
- [11] Carley K M, Krackhardt D. A typology for C2 measures [A]. International Symposium on Command and Control Research and Technology [C], Newport, RI. 1999.
- [12] Levchuk M, Feili Yu, Pattipati Krishna R, et al. From Hierarchies to Heterarchies : Application of Network Optimization to Design of Organizational Structures [A]. International CCRTS [C], National Defense University, Washington, DC, June 2003.

