

兵力编成结构裁剪中指挥关系优化研究*

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, 湖南 长沙 410073; 2. 海军兵种指挥学院, 广东 广州 510431)

摘要 :由于决策个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个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。本文基于决策个体在任务上的协作关系设计兵力编成的指挥关系,以最小化编成中总的协作工作负载为目标,并描述了编成指挥决策关系的生成过程,对生成过程的求解采用了优化协作树算法。

关键词 :任务;决策个体;裁剪;兵力编成;指挥关系

中图分类号 :C394 文献标识码 :A

Research on Optimize Algorithms of Command Relationship in Tailoring Military Force Structure

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

(1. College of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. College of Naval Arms Command, Guangzhou 510431, China)

Abstract :There exist 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. Military force is composed of two parts: one is collaboration among decision-making nodes of command and control; the other is hierarchy relationship of command among commanders. Military force designing is to optimizing collaboration and hierarchy among commander nodes. In this paper, we set relationship of commander from coordination net among commanders. The optimizing objective is to minimize the overall additional coordination imposed by hierarchy structure among commanders. Algorithms of optimized coordinate tree are employed to generate command relationship in military force.

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

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

* 收稿日期 2006 - 02 - 28

基金项目 :国家自然科学基金资助项目(60504036,70401003)

作者简介 :刘宏芳(1966—),女,博士生。

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。

本文基于决策个体在任务上的协作关系设计兵力编成的指挥关系,以最小化编成中总的协作工作负载为目标,并描述了编成指挥决策关系的生成过程,对生成过程的求解采用了优化协作树算法。

1 决策个体建模

兵力编成中的决策个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个体就是战场指挥官。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。

决策个体的职责模型如图1所示。

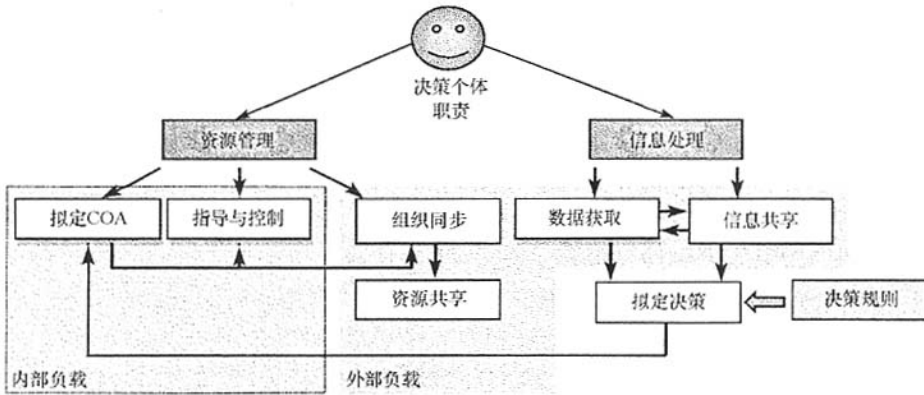


图1 决策个体的职责模型

Fig.1 The function model of decision-making entity

决策个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个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。这一约束是决策个体间的协作约束,称之为外部的协作结构约束;三是任意决策个体在同一时刻能同时处理的任务数,即决策个体在某一时刻工作负载的约束,在本文中假设决策个体的工作负载约束为3,即任意决策个体在同一时刻能同时处理三个任务;四是决策个体的知识约束,所谓知识约束指决策个体对平台控制和任务执行所具备的经验和知识,通常,只有具备相关知识的决策个体才被允许控制相关作战平台和执行相关任务,如具备飞行知识的决策个体才能控制战机平台并执行相关飞行任务,具有海上作战经验的决策个体才能控制舰艇平台并执行海上作战任务。决策个体的知识通常以矢量表示。

决策个体的三个方面能力约束模型如图2所示。

2 兵力编成的描述

2.1 决策个体间的协作关系网

定义1 决策个体是组成编成的决策个体。决策个体通过对平台的控制来执行任务。记 S_{DM} 是编成中决策个体集合, $S_{DM} = \{DM_1, DM_2, \dots, DM_D\}$ D 是编成中 DM 的数量)。

定义2 平台是决策个体执行任务的凭借。平台具备功能,决策个体通过平台功能的执行来完成

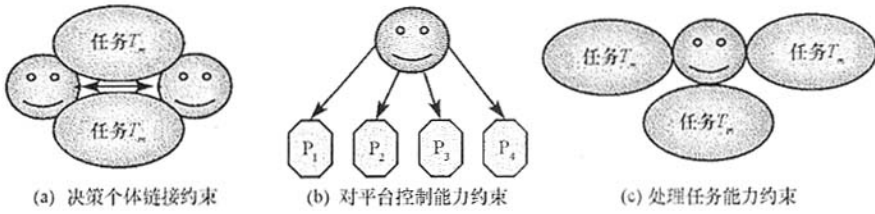


图2 决策个体能力约束模型

Fig.2 The constraint model of decision-making entity's capability

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个体、平台与任务三者间的关系如图3所示。

定义4 决策个体内部协作是决策个体对平台资源的管理控制。记决策个体 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 与决策个体 DM_n 的隶属关系, P_m 属于 DM_n 则 $dp_{nm} = 1$, 否则 $dp_{nm} = 0$)。

决策个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 为决策个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 为决策个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 为决策个体与任务间的关系,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 决策个体直接外部协作是决策个体之间在任务上的协作。决策个体 DM_n 在编成中的直接外部协作量是与所有其它决策个体之间的协作总量。记决策个体 DM_n 在编成中的外部协作量为 e_n , 则

$$e_n = \sum_{z=1, z \neq n}^D c_{nz}$$

决策个体的外部协作能力是有限的,记 B^E 为允许的外部协作量,则 $e_n \leq B^E$ 。

定义7 决策个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。记决策个体 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)。

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)以及决策个体工作负载如图3所示。

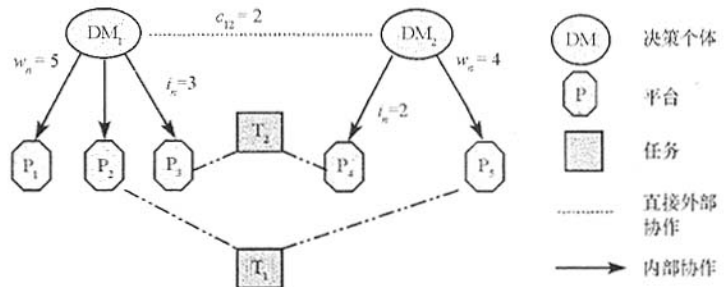


图3 兵力编成的协作关系($W^I = 1, W^E = 1$)
Fig.3 The collaboration relationship of military force

2.2 兵力编成的层次结构

在分布环境中,决策个体间需要建立编成的层次结构以消除决策冲突与混淆。这种层次结构关系是决策的上下级关系、支持与被支持关系。通常,层次结构决定编成中决策个体间的决策流和信息流。

层次结构设计的目标是匹配决策个体在任务执行上的协作需求以最佳的决策结构去完成使命,匹配的不同定义就导致了层次结构设计的不同问题。

兵力编成的层次结构是决策树中决策结点关系的体现。决策树由根结点(决策最高层)与其它结点建立的有向链接关系构成。决策树确定了决策个体之间的决策关系,决策树以决策个体为树结点,决策个体之间关系的链接为边,任意树结点只有一个父结点,决策树内不存在环路。兵力编成的层次结构源于决策个体间的协作关系,从兵力编成的协作关系网到决策树的产生需要去除协作网中存在的环路,设置决策个体之间的层次结构关系。部分协作关系链接的删除需要通过中间决策个体承载附加的协作负载,否则任务的执行达不到期望的效果。由此产生了决策个体之间的间接外部协作(或附加外部协作),并增加了决策个体的工作负载。决策个体间的间接外部协作与工作负载定义如下:

定义8 间接外部协作(附加外部协作)是指在决策树中由于决策个体 dm_i 与 dm_j 间没有建立直接决策链接关系而导致决策 dm_i 与 dm_j 间协作交流必须通过其它决策个体建立。记 dm_i 与 dm_j 在决策树中协作交流的路径为 $path_{ij}$,则对路径 $path_{ij}$ 中的决策个体 $DM_n (DM_n \in path_{ij})$, dm_i 与 dm_j 的协作导致了 DM_n 的额外协作负载。记决策树中 DM_n 的额外协作负载为附加外部协作量 a_n ,则

$$a_n = \sum_{i=1}^D \sum_{j=i+1}^D c_{ij} \cdot path_{ij}(n) \tag{1}$$

式中 $path_{ij}(n)$ 为 bool 函数,当 $DM_n \in path_{ij}$ 时 $path_{ij}(n) = 1$,否则 $path_{ij}(n) = 0$ 。

记编成中总的附加外部协作量为 AC ,则

$$AC = \sum_{h=1}^D a_n = \sum_{i=1}^D \sum_{j=i+1}^D c_{ij} \cdot (le(path_{ij}) - 1) \tag{2}$$

式中 $le(path_{ij})$ 为路径 $path_{ij}$ 上链接边的数量。

如果把决策树中决策个体 DM_n 的直接外部协作与附加外部协作统称为 DM_n 的外部负载 ew_n ,则 $ew_n = e_n + a_n$ 。同样决策树中决策个体 DM_n 的内部负载 $iw_n = i_n$ 。

定义9 决策树中决策个体 DM_n 的工作负载为 DM_n 内部负载与外部的加权和。记 DM_n 的工作负载为 w_n ,则

$$w_n = WI \cdot iw_n + WE \cdot ew_n \tag{3}$$

式中 WI 和 WE 分别为决策个体 DM_n 的内部负载与外部负载权值。

图4描述了兵力编成的结构示意图,图中标绘了每一决策个体的内部协作、外部协作、附加协作和工作负载。

3 兵力编成层次结构的设计

3.1 编成层次结构优化设计的内容与目标

兵力编成层次结构是编成内决策个体间的决策与交流结构,兵力编成层次结构的设计包括两个方面的设计:一是决策个体在任务执行上的交流拓扑;二是决策个体在任务执行上的决策结构,如谁向谁报告,谁向谁请示,谁发布命令和谁执行命令,等。

兵力编成层次结构设计的目的通过优化决策个体的职责分布、决策个体的控制幅度以及决策个体协作负载与决策负载的平衡达到(1)提高作战编成的指挥速度(2)降低编成内决策个体间的协调成本(3)提高作战编成内的决策速度与效率(4)加强作战编成在分布环境中的抗毁能力与生存能力。

编成优化设计内容和目标包括三个方面:

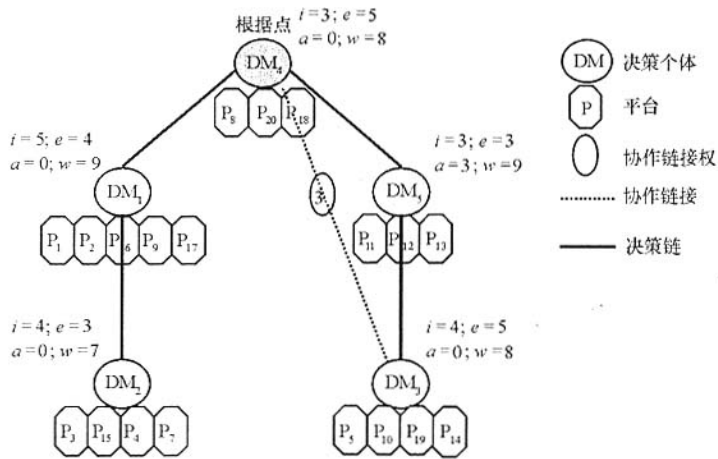


图4 兵力编成结构图(WI = WE = 1)
Fig.4 The structure graph of military force

(1) 层次结构树中决策个体的附加协作负载最小化;

优化编成内决策的层次结构,最小化决策个体的附加协作负载,即降低编成的协作代价,提高编成的协作交流效率,即

$$T = \min(AC) = \min\left(\sum_{i=1}^D \sum_{j=i+1}^D c_{ij} \cdot (le(path_{ij}) - 1)\right)$$

(2) 编成内决策个体工作负载最小化;

力求编成内决策个体决策负载平衡,在平衡的基础上使得编成内决策个体最大负载(包括内部协作、外部协作和附加协作)最小化,即

$$T = \min(\max(W)) = \min_{W_{DM_n = \max(W)}} (WI \cdot iw_{DM_n} + WE \cdot ew_{DM_n})$$

式中, $\max(W)$ 为最大工作负载, DM_n 为工作负载最大的决策个体。

(3) 协作网聚簇结点负载最小化。

决策个体间的协作关系是一种复杂的网络,通过最大化编成内决策个体间的协作负载加强编内的协作交流,构建最佳编成结构树,即

$$T = \max\left(\sum_{(i,j) \in E(T)} c_{ij}\right)$$

式中, $E(T)$ 表示树 T 中链接边的集合。

编成结构优化设计的约束即为决策个体的能力约束和组织或团队约束。

3.2 算法实例分析

对编成层次结构的设计在这一节采用了 Gomory-Hu 树生成算法^[14]。

以图 5 所示的兵力编成协作关系网为例,采用 Gomory-Hu 树生成算法的分析过程如图 6 所示。

图 6 以图 5 所示的编成协作网为基础进行编成层次结构的设计,与 Gomory-Hu 树生成算法流程相对应,算法的每一次计算得到的结果如图所示,以算法的第三次循环为例,其详细计算过程如图 6 右上角所示。

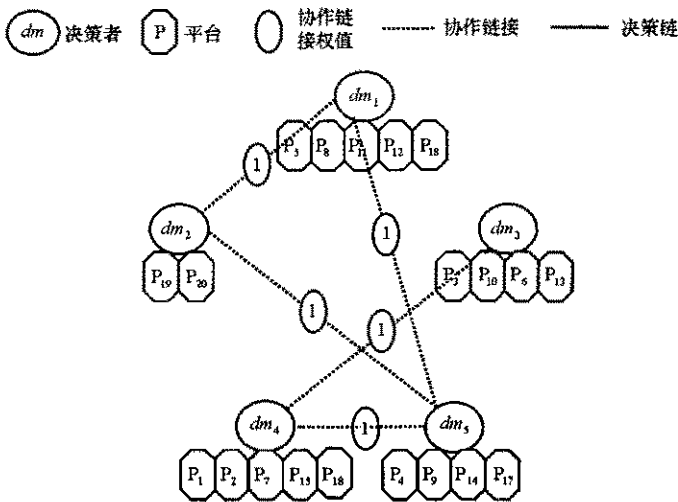


图 5 兵力编成协作关系网

Fig.5 The collaboration relationship net of military force

4 结论与讨论

本文在兵力编成层次结构描述的基础上提出了编成结构设计的内容和目标,并采用 Gomory-Hu 树生成算法对编成结构进行了优化设计,通过案例的详细分析给出了设计过程与结果。本文对编成层次结构的裁剪重点考虑任务的协作负载因素,其约束因素是决策个体的能力,显然,这些因素对于完整的兵力编成设计是不够的,尤其是构建信息化战争中的兵力编成。信息化战争中,兵力编成模式更注重信息处理与决策的负载,不仅仅限于任务上协作,需要对任务进一步详细描述,包括任务执行的信息需求、

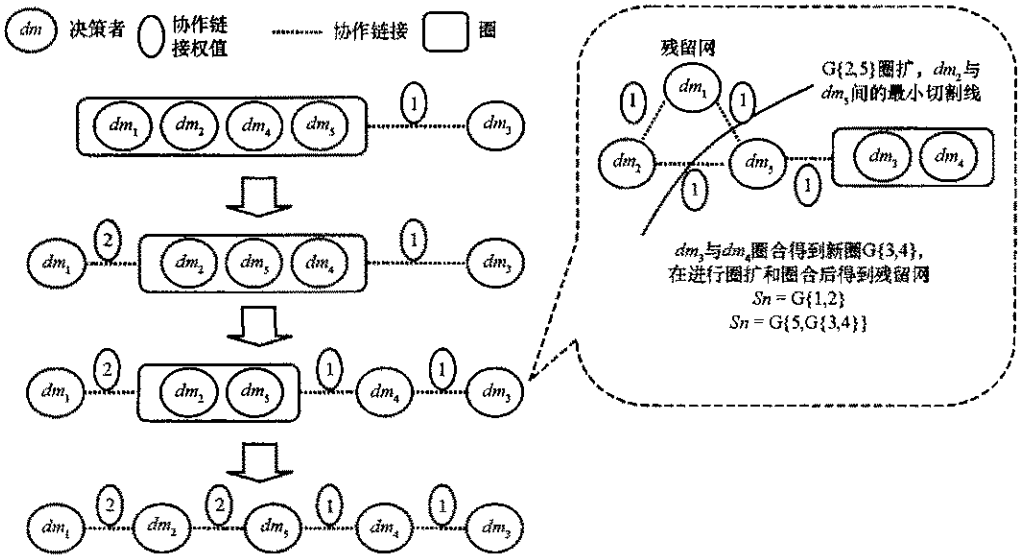


图6 算法过程实例图解

Fig.6 The illustration of the algorithm

决策需求以及通信与交流的约束条件,等等。对这些因素的考虑是进一步研究的方向。

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[A]. International Command and Control Research and Technology Symposium[C], Washington , DC , June , 2003.

[2] Entin E, Diedrich F, Kleinman D, Kemple B etc. When Do Organizations Need to Change-Part II : Incongruence in Action [A]. International Command and Control Research and Technology Symposium [C], 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 [A]. International Command and Control Research and Technology Symposium [C], Washington , DC , June , 2003.

[4] Levchuck 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 J R, Moon H , et al. Structural Contingency Theory and Individual Differences : Examination of External and Internal Person-Team Fit [J]. Journal of Applied Psychology , 2002 , 87(3) :559 - 606.

[6] Kemple W G, Kleinman D L, Berigan M C. A2C2 Initial experiment : Adaptation of the Joint Scenario and Formalization [A]. Proceedings of the 1996 Command & Control Research & Technology Symposium [C], Monterey , CA , June 1996 :837 - 846.

[7] Hocevar S P, Kemple W G , et al. Assessments of Simulated Performance of Alternative Architectures for Command and Control :The Role of Coordination[A]. Proceedings of the 2000 Command & Control Research & Technology Symposium [C]. Monterey , CA , June 2000.

[8] Carley K M, Krackhardt D. A PCANS model of Structure in Organization [A]. International Symposium on Command and Control Research and Technology , Monterey , CA. 1998 :765 - 772.

[9] Harris M, Raviv A. Organization Design [J]. Management Science , 2002 , 48(7) :852 - 865.

[10] 阳东升, 刘忠, 张维明, 等. 组织描述方法研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2004 , 24(3) :1 - 7.

[11] 阳东升, 张维明, 刘忠, 等. 战场 C2 组织的描述与设计 [J]. 系统工程理论与实践, 2005 , 25(5) :83 - 88.

[12] 阳东升, 张维明, 刘忠, 等. C2 组织的有效测度与设计 [J]. 自然科学进展, 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.

[14] Hu T C, Shing M T , et al. Combinatorial Algorithms [M]. Reading , MA : Addison-Wesley , Company , 1982.

