

基于模块化理论的机务准备流程优化研究

李超¹, 王瑛¹, 汪晓程², 张蕾³

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军驻深圳代表室, 广东 深圳 518052; 3. 中国人民解放军驻631所代表室, 陕西 西安 710068)

摘要 针对机务准备维修流程作业结构复杂、刚性明显的问题,提出基于模块化理论的机务准备维修流程模块化优化方法。根据 Schilling 模块化系统演化理论,论证了机务准备维修流程模块化趋势。基于模块化方法,给出了机务准备维修流程模块化规划过程和符号描述。运用工作分解结构方法,识别机务准备流程活动集合。结合图结构模型,刻画机务准备维修流程活动的关联关系。最后,运用 DSM 模型优化算法求解合理的维修流程模块 k -划分,从定量角度得出小外场/大内场流程模块化优化模式。算例结果表明该方法可行有效。

关键词 模块化理论;机务准备;流程优化;柔性

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.01.018

中图分类号 N945.15 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)01-0083-04

机务准备作业是由若干维修单元调度角色、信息、航材、系统等资源多维复合完成,维修任务交互较为复杂,作业结构难以把握,流程刚性较为显著。现代战争环境瞬息万变,要求机务准备流程能够保障多样化战训任务;航空装备结构集成度显著提高,要求维修保障由专业分工转变为功能分工。根据 Schilling 模块化系统演化理论^[1-2],战训任务需求的多样性、装备研制技术的综合性、机务准备作业输入的复杂性必然导致机务准备流程模块化。刘杰等建立了流程模块化影响因素实证模型^[3],吴维海进行了模块化在流程银行变革与发展模式研究^[4],王日君对模块化设计中的模块划分方法进行了研究^[5],初步探索流程模块化优化方法。目前,模块化理论研究主要偏重于产品结构,对业务流程优化研究不多。本文提出流程模块化优化过程,建立流程模块化优化模型,提高机务准备流程柔性和快反能力。

1 机务准备流程的模块化过程

模块化是一个将复杂系统进行分解和整合的动态过程,简化系统内部资源流动和活动关系,找出资源最优组织方式。模块化流程能够生成多样化流程模式应对不确定性的业务,使生产过程和组织效率更加高效。模块化理论定义分割(Split)、替代(Substitute)、增加(Augment)、排除(Exclude)、归纳(Inversion)和移植(Porting)6个模块操作符^[6]均以流程活动为操作对象。因此,机务准备流程的模块化过程须先识别流程活动集合,再将流程活动划分为流程模块,最后面向任务进行流程模块的协作锁定。本文采用工作分解结构

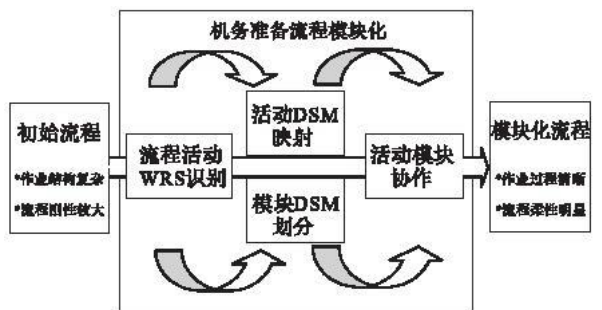


图1 流程模块化过程

Fig.1 Steps of process modularity

* 收稿日期:2010-06-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71071126)

作者简介:李超(1984-),男,河南信阳人,硕士生,主要从事军事物流系统分析与设计研究。

E-mail:lileqing2009@sina.com

方法(Work Breakdown Structure, WBS)识别机务准备流程活动,运用设计结构矩阵^[7](Design Structure Matrix, DSM)对流程活动进行模块化规划。机务准备流程的模块化过程见图 1。

2 机务准备模块化流程建模

2.1 流程模块化符号描述

机务准备流程活动接收某一种类型的输入,在某种规则的控制下,利用航材、设备、信息和角色资源等资源,经过变换转化为输出。维修流程活动之间共有顺序、并发、交互 3 种关联关系。DSM 将关联关系映射为布尔矩阵,映射规则见图 2(N 代表无关, Y 代表有关)。假设某流程由 n 个活动组成,矩阵的行和列分别对应这 n 个活动。主对角线以下位置标识前馈信息,表示活动的合理执行序列,以上的位置标志反馈信息。流程活动的重排优化,尽量处于矩阵的下三角区,减少迭代数和迭代影响范围。

经 DSM 优化后,机务准备流程活动被划分为若干流程模块。各流程模块之间松散耦合,能够被快速修改、分离或并入整体流程,而不会对其他流程甚至整体功能产生负面影响。各模块间通过标准的接口交互,模块功能可在多个业务情景下使用。基于模块化理论设计的业务流程称为模块化流程,其本质是对业务流程按功能进行分解。为定量深入研究模块化流程建模,将机务准备流程模块化过程进行符号描述如下:

定义 1 业务流程是一个三元组 $P_B = \langle A, R, F \rangle$,其中 $A = \{a_i \mid 1 \leq i \leq n\}$ 表示的集合, n 为业务流程包括的活动总数; $R = \{R(a_i, a_j) \mid a_i \in A, a_j \in A\}$, 表示任意两个活动之间关联关系的集合; $F = \{F_i \mid 1 \leq i \leq n\}$, 表示流程输出功能的集合。

定义 2 流程模块是一个三元组 $M_P = \langle M_F, I, O \rangle$,其中, $M_F = \{a_i \mid 1 \leq i \leq c\}$, 表示流程模块中活动的功能模块, c 为包含的活动总数; $I = \{I_j \mid 1 \leq j \leq p\}$, 为流程模块的输入接口集合, p 为输入接口数目; $O = \{O_j \mid 1 \leq j \leq q\}$ 为流程模块的输出接口集合, q 为输出接口数目。

根据上述定义,传统业务流程功能和流程模块具有以下转化关系 $P_B \xrightarrow{\text{DSM}} M_P$ 。模块化业务流程可重新表述为:

$$P_B = M_B M_P \quad (1)$$

式中: $P_B = \begin{bmatrix} F_1 \\ \dots \\ F_k \end{bmatrix}$; $M_P = \begin{bmatrix} M_{P_1} \\ \dots \\ M_{P_k} \end{bmatrix}$; M_B 为 k 阶布尔矩阵,是二值设计结构矩阵 k -划分的映射矩阵。 $M_{B_{ij}} = \frac{\partial F_i}{\partial M_{P_j}}$,

对于非耦合设计, $M_{B_{ij}}$ 是常数, 否则是 M_P 的函数。

2.2 流程模块性指数

定义 3 $G = \langle V, E \rangle$ 是 n 阶有向简单图, $V = \langle v_1, v_2, \dots, v_n \rangle$ 是 n 个结点, 流程活动集合 v_p, v_q 是 v 的非空真子集。若 $v_p \cap v_q = \emptyset$, 则有 $R_{pq} = R(a_i, a_j)$, $a_i \in v_p, a_j \in v_q$ 。记 $R_{pq} = \sum_{i \in v_p} \sum_{j \in v_q} a_i a_j$, 当 $p \neq q$ 时, R_{pq} 为流程模块之间的关系, 记为 r_{pq} ; 当 $p = q$ 时, R_{pq} 流程模块内部的关系, 记为 r_{pp} 。则将有 k 个聚类的流程模块性指标 MI (Modularity Index) 定义为:

$$MI = \sum_{p=1}^k r_{pp} - \sum_{p=1}^k \sum_{q=1}^k r_{pq} / \left(\sum_{p=1}^k r_{pp} + \sum_{p=1}^k \sum_{q=1}^k r_{pq} \right) \quad (2)$$

式中 $\sum_{p=1}^k r_{pp}$ 反映模块内部的关联情况, $\sum_{p=1}^k \sum_{q=1}^k r_{pq}$ 则反映模块之间的关联情况。 $MI \in [-1, +1]$, 越靠近 +1, 表明流程活动模块性越明显; 越靠近 -1, 则反之。

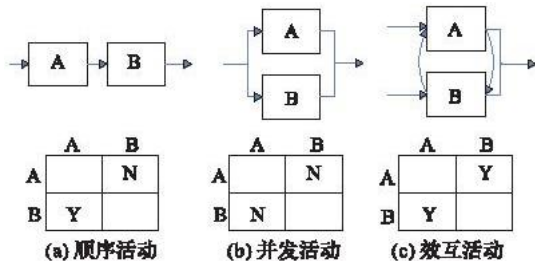


图 2 流程活动关系 DSM 映射

Fig. 2 DSM mapping of process activities

2.3 流程模块 k - 划分算法

本文采取基于图结构模型与聚类分析的流程模块 k - 划分算法。 $A(G) = (a_{ij})_{n \times n}$, 其中, a_{ij} 为流程活动关系值即 DSM 元素。算法步骤如下:

- 步骤 1 流程活动识别。运用 WBS 方法确定业务流程活动集合 A ;
- 步骤 2 DSM 结构映射。依据原业务流程确定流程活动直接执行关系, 画出流程活动有向图 G , 依据流程活动关系映射为 DSM, 得到方阵 $A(G)$;
- 步骤 3 独立元素撕裂。通过行列变换将流程活动源点、汇点、孤立元素移到 DSM 前端, 组成独立聚类;
- 步骤 4 Bus 元素撕裂。通过行列变换将与大部分其它行列元素都有联系的元素即总线类 (Bus) 元素移到 DSM 末端, 组成 Bus 聚类;
- 步骤 5 剩余元素聚类。利用整体网分析软件 UCINET 提供聚类优化工具 (Tools > Cluster Analysis > Optimization), 将剩余元素划分成为若干普通聚类;
- 步骤 6 流程模块校验。考虑流程活动资源共享程度和流程模块性指数, 进行相关调整, 得到流程模块的 k - 划分。

3 机务准备流程模块化优化算例

运用模块化 k - 划分算法对某单位的机务准备流程进行模块化优化。机务准备可分解为维修计划、飞机检查、充填加挂、故障排除、飞机放飞 5 项工作。以此作为顶层要素进行分组, 将每项工作分解成任务, 任务再分解成维修流程活动。经过逐层分解, 识别 13 个流程活动。根据原机务准备流程, 建立以流程活动为节点, 流程活动关系为边的机务准备有向图见图 3。

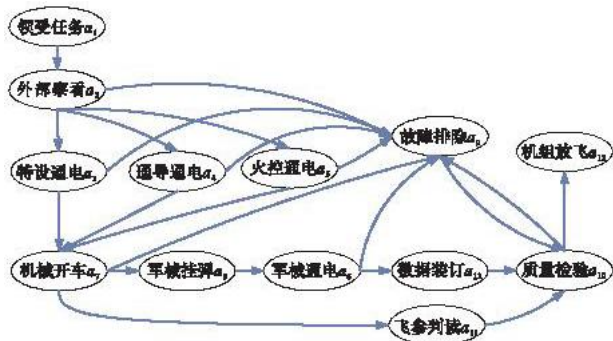


图 3 流程活动有向图

Fig. 3 Oriented graph of process activities

机务准备维修流程活动之间的基本结构关系用“1”表示 Y 即有关联, “空格”表示 N 即无关联, 主对角线单元格用灰色块标识。由流程模块 k - 划分算法, 得到机务准备维修流程活动初始 DSM 模型, 耦合活动 UCINET 聚类结果, DSM 模型模块划分结果分别见图 4-6。由 DSM 模型流程活动聚类结果, 将机务准备维修流程划分为 5 个模块: 模块 1 (a_1)、模块 2 (a_2, a_3, a_4, a_5, a_7)、模块 3 ($a_6, a_8, a_{10}, a_{11}, a_{12}$)、模块 4 (a_9) 和模块 5 (a_{13})。考虑到模块 5 只占用角色资源, 且与模块 2 角色资源相同, 将模块 5 并入模块 2。按照式 (2) 计算, 得出 $MI = 0.371$, 说明流程模块性较为明显, 流程模块划分较为合理。

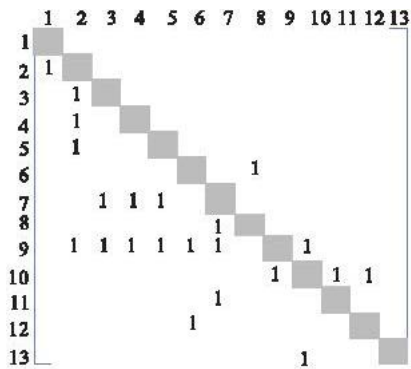


图 4 初始 DSM 模型
Fig. 4 Initial DSM model

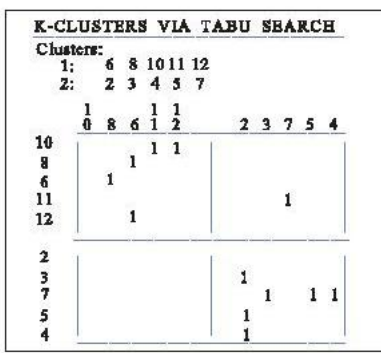


图 5 UCINET 聚类结果
Fig. 5 Clusters by UCINET

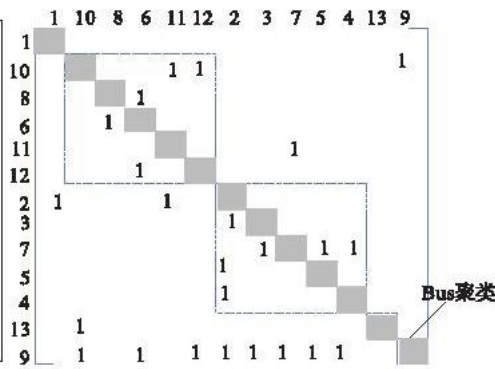


图 6 DSM 模型 k - 划分
Fig. 6 k - division by DSM model

根据机务准备内容, 模块 1-4 依次命名为任务计划模块、放飞保障模块、技术支持模块和故障排除模块。放飞保障模块归纳外部察看、专业通电、机组放飞 3 个部分, 仍隶属外场; 故障排除模块从外场分割, 与技术支持模块同隶属内场, 未包含在模块内的关联关系是各模块流程活动的交互接口, 从而形成小外场/大内场流程优化模式。周筱宇从直观思维出发给出了相似的机务准备流程模式, 并运用 Exspect 仿真方法论

证了其优越性^[8],与本文定量的数理研究结论一致,说明了模块化方法在机务准备流程优化中的有效性。

4 结束语

本文针对机务准备流程结构复杂、刚性明显、不能很好满足战训任务多样化需求的问题,基于系统模块化演化理论,确定了机务准备流程的模块化趋势。结合模块化理论,建立业务流程模块化优化过程并进行了符号化。提出基于 DSM 模型的 k -划分算法,合理划分机务准备流程模块,从定量角度得出小外场/大内场流程模块化优化模式,为优化机务准备资源组织关系,增强维修流程柔性提供了一种新方法。

参考文献:

- [1] Toward Schilling M. A general modular systems theory and its application to inter-firm product modularity [J]. *Academy of management review*, 2000, 25(2): 312-334.
- [2] Schilling M, Steensma H. The use of modular organizational forms: an industry-level analysis [J]. *Academy of management journal*, 2001, 44(6): 1149-1168.
- [3] 刘杰, 方丁, 赵卫东. 基于模块化理论的柔性流程及其影响因素的实证研究 [J]. *上海管理科学*, 2008, 30(5): 52-59.
LIU Jie, FANG Ding, ZHAO Weidong. An experimental study on the flexible business process and its influencing factor based on modular theory [J]. *Shanghai management science*, 2008, 30(5): 52-59. (in Chinese)
- [4] 吴维海. 基于模块化核心的流程银行变革研究 [J]. *上海金融*, 2008, 29(3): 32-36.
WU Weihai. The research on modular reform of process-oriented banks [J]. *Shanghai finance*, 2008, 29(3): 32-36. (in Chinese)
- [5] 王日君, 张进生, 葛培琪, 等. 模块化设计中模块划分方法的研究 [J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2008, 50(7): 21-25.
WANG Rijun, ZHANG Jinsheng, GE Peiqi, et al. Research on methodology of module fevision in modular fesign [J], *Modular machine yool & sutomatic manufacturing yechnique*, 2008, 50(7): 21-25. (in Chinese)
- [6] Baldwin Carliss Y, Clark Kim B. *Design tules; the power of modularity* [M]. Cambridge, MA: MIT press, 2000.
- [7] 徐路宁, 张和明, 张永康. 基于设计结构矩阵的多领域协同设计 [J]. *中国机械工程*, 2005, 16(12): 1035-1036.
Xu Luning, Zhang Heming, Zhang Yongkang. Multidisciplinary cooperative design with DSM (design structure matrix) [J]. *China mechanical engineering*, 2005, 16(12): 1035-1036. (in Chinese)
- [8] 周筱宇, 王端民, 武涛. 基于 Exspect 的航空维修模式仿真与优化 [J]. *微计算机信息*, 2008, 24(25): 275-281.
ZHOU Xiaoyu, WANG Duanmin, WU Tao. Discuss on a new mode of aviation maintenance [J]. *Microcomputer information*, 2008, 24(25): 275-281. (in Chinese)

(编辑:徐敏)

Study of Process Optimization of Flight Line Maintenance Based on Modular Theory

LI Chao¹, WANG Ying¹, WANG Xiao-chen², ZHANG Lei³

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Military Representative Office of Air Force in Shenzhen, Shenzhen 518052, Guangdong China; 3. The 631 Research Institute of China Aviation Industry Group, Xi'an 710068, China)

Abstract: Aimed at the complicated structure and remarkable rigidity of the process of flight line maintenance, a process optimization method based on modular theory is proposed. According to the theory of modular evolvement, the modular trend of flight line maintenance is demonstrated. The programming course and symbol description of modular process is educed. Process activities are identified by work break down structure. The association among maintenance activities is depicted by combining with graph structure model, and a reasonable maintenance module k -division is realized by the optimization algorithm of DSM model. The process optimization model of small out-field/big infield maintenance is educed from a quantitative view. Finally, a new method of resource optimization and flexibility improvement is established.

Key words: modular theory; flight line maintenance; process optimization; flexibility