

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.06.010

面向对象的装备维修保障指挥系统 workflow 建模

马懿¹, 卢昱¹, 陈立云¹, 董学斌²

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 装备指挥技术学院 研究生队, 北京 101416)

摘要: 从面向对象角度出发分析了装备维修保障指挥业务流程, 建立了面向对象的装备维修保障指挥系统 workflow 概念模型, 并以此为依据采用 CPN 过程建模技术进一步建立了装备维修保障指挥系统 workflow 的 OOCPN 解析模型, 给出基于 OOCPN 模型的系统时间性能分析方法。该方法能有效降低系统建模的复杂度, 提高建模的效率, 能更好地满足系统开放性、层次性和动态重组的需要, 具有很高的实用价值。

关键词: 面向对象; 装备维修保障指挥系统; workflow 模型

中图分类号: N945.12 **文献标志码:** A

Object-Oriented Workflow Modeling of Equipment Maintenance Support Command System

Ma Yi¹, Lu Yu¹, Chen Liyun¹, Dong Xuebin²

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. Brigade of Postgraduate, Institute of Command & Technology of Equipment, Beijing 101416, China)

Abstract: This paper analyzes the operation flow of equipment maintenance support command system (EMSCS) as viewed from the object-oriented, establishes the object-oriented workflow model of EMSCS. On the basis of this, this paper makes the OOCPN analytical model of EMSCS, provides the quantized analyzing method for evaluating the system running efficiency. The method reduces the complexity and improves the efficiency of EMSCS modeling. At the same time, it can also satisfy the open, hierarchy and dynamic regroup of EMSCS, has high applying value.

Keywords: oriented-object; equipment maintenance support command system; workflow model

0 引言

workflow 技术是实现业务过程建模、业务过程仿真分析、业务过程优化、业务过程管理与集成, 从而最终实现业务过程自动化的核心技术。近年来, workflow 技术逐渐被应用到了制造业、办公自动化、通讯、政府部门、银行业、指挥自动化等社会生活的许多方面。实现 workflow 技术的关键环节在于建立 workflow 模型。

Petri 网^[1-2]以其严格的数学基础、成熟的分析方法和图形化表示, 成为描述和研究具有并行、异步分布式和随机性等特性的复杂 workflow 建模的强有力手段。此外, 利用 workflow 的 Petri 网模型对业务流程深入分析, 可以规范业务流程, 发现业务流程中不合理的环节, 进而对业务过程进行优化重组。

装备维修保障指挥系统是一个复杂的工作流系统, 建立其 workflow 模型对规范维修保障指挥业务, 分析维修保障指挥业务过程有重要意义。文献[1]建立了战时不同阶段的装备维修保障指挥 workflow 模型, 由于其缺乏对系统组织结构的分析, 因此模型无法反映装备维修保障指挥系统的层次性, 除此之外, 由于只研究了指挥主体(指挥机关)的 workflow, 而装备维修保障指挥系统包括指挥主体和指挥

客体 2 个方面, 因此, 只研究指挥主体的 workflow 是片面的。考虑到文献[1]研究的上述 2 方面不足, 笔者将面向对象思想融合到装备维修保障指挥系统 workflow 建模中, 综合考虑指挥主体和指挥客体 2 个方面的工作流, 建立了一种面向对象的装备维修保障指挥系统 workflow CPN 模型。

1 面向对象的装备维修保障指挥系统 workflow 分析

从面向对象的角度分析装备维修保障指挥系统主要包括 3 方面要素: 装备保障指挥主体(装备保障指挥机关)、装备保障指挥对象(下级装备保障指挥机关和本级所属维修保障资源)及组织结构(指挥主体之间的层次关系、指挥主体对保障资源的指挥控制关系)。装备维修保障指挥系统的运行离不开 3 方面要素的密切联系, 而人们在研究装备维修保障指挥系统往往只侧重于指挥主体的研究而忽略其它方面的要素, 在研究指挥主体模型时对其它要素只是以变量的方式进行简化, 不能全面客观的对整个系统的运行进行分析。笔者从面向任务的角度出发, 采用面向对象思想对装备维修保障指挥系统 workflow 进

收稿日期: 2011-02-28; 修回日期: 2011-03-28

基金项目: 国家自然科学基金“一体化联合作战中装备保障信息网络的抗毁能力分析与优化方法研究”(60904071)

作者简介: 马懿(1983—), 男, 山东人, 博士研究生, 从事装备保障信息化研究。

行整体分析(如图 1),将装备维修保障指挥系统工作流程对象化,便于建立面向对象的装备维修保障指挥系统工作流程模型,提高工作流模型的模块化和

可封装性,通过不同对象的组合来实现装备维修保障指挥系统工作流程模型复杂性的需要,提高模型的可复用性。

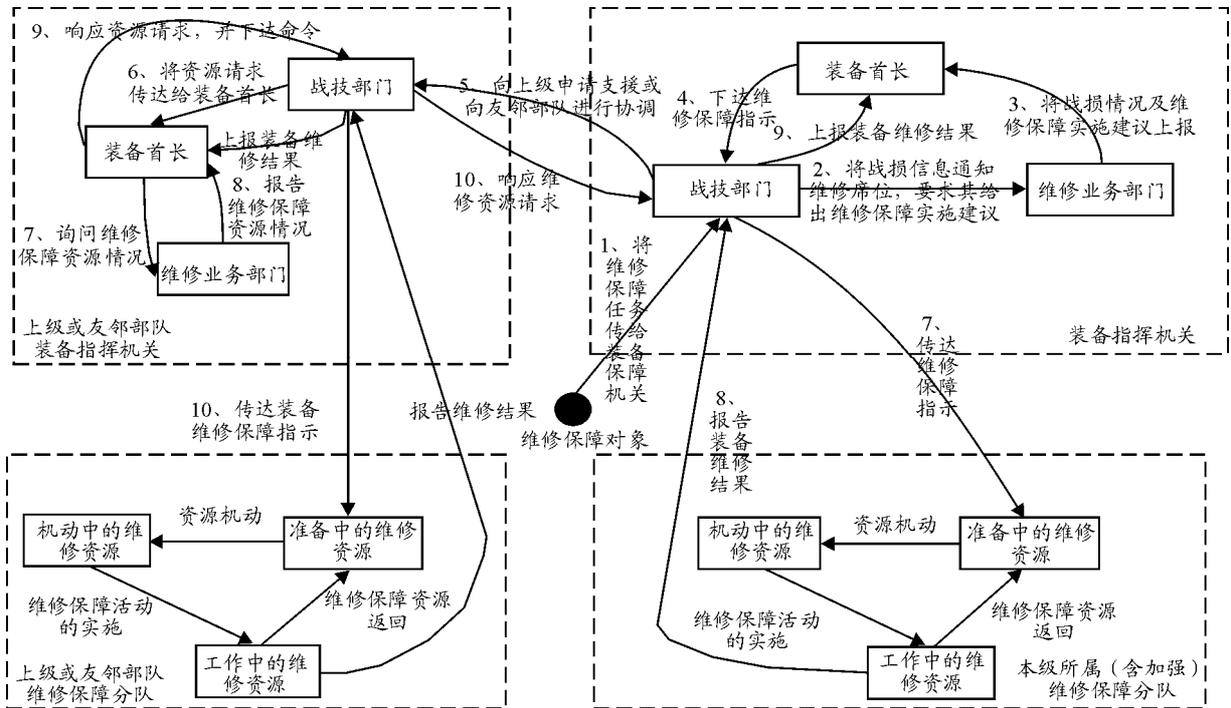


图 1 面向对象的装备维修保障指挥系统工作流程

2 面向对象的装备维修保障指挥系统工作流 CPN 模型

2.1 装备维修保障指挥主体工作流 CPN 模型

装备维修保障指挥主体主要处理的是维修保障信息,对信息的处理过程就是指挥主体的工作过程,因此指挥主体工作流模型实质就是指挥主体处理信息的过程模型。从图 1 可以看出,指挥主体主要存在 2 个信息处理功能:一是实现本级职责范围内的装备维修保障任务信息处理;二是处理和其它指挥主体的协调信息,申请本级需要的维修保障资源或

支援其它指挥系统。为了建立装备保障指挥信息处理的 CPN 模型,笔者采取如下映射规则:将装备保障指挥主体中的角色(如战技部门、维修业务部门等)映射为一个容纳消息托肯的消息库所和信息处理的活动变迁,由上节分析得到装备维修保障指挥主体的工作流 CPN 模型如图 2,其中及时变迁表示活动时间较短可忽略,延时变迁表示活动变迁的时间较长需要考虑。此外,由于下级指挥主体与上级指挥主体具有同构性,笔者采用了面向对象的建模技术,故不再重复介绍下级指挥主体的 CPN 模型。

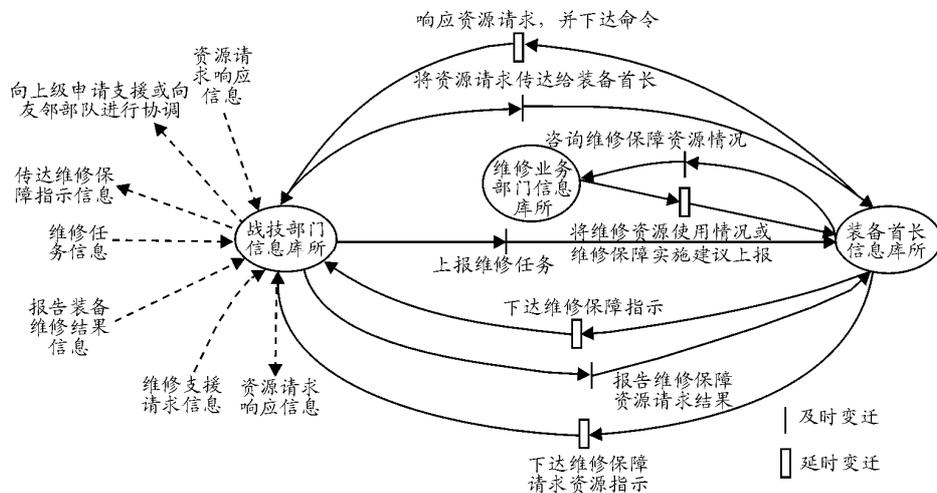


图 2 指挥主体的工作流 CPN 模型

2.2 装备维修保障资源状态变化的 CPN 模型

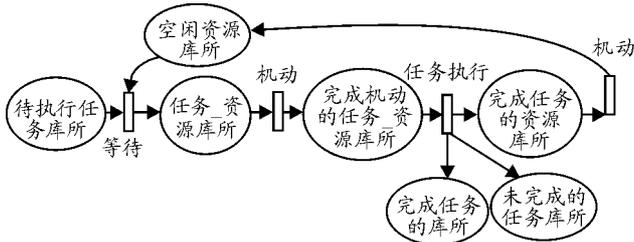


图 3 维修保障资源状态变化的 CPN 模型

保障资源是指指挥主体的指挥控制对象, 保障资源的状态变化情况直接影响到维修保障指挥的业务流程。从保障资源执行任务的情况可反映指挥主体的指挥控制效果, 因此笔者将保障资源的执行任务时的状态变化纳入指挥系统 workflow 中; 维修保障任务的多样性导致装备保障资源需求的多样性, 如对每种维修保障任务建立起保障资源状态变化的 PN

模型, 会使 PN 模型的规模太大不利于分析, 故笔者将保障资源执行任务时的状态变化分为等待、机动、任务执行 3 个通用状态, 建立起保障资源的 CPN 模型, 如图 3。该模型包括 3 类库所, 其中资源状态库所中的托肯颜色表示不同的保障资源, 任务库所表示不同任务, 任务_资源表示执行任务的资源。

2.3 面向对象的装备维修保障指挥系统的工作流 CPN 模型

将上述对象 CPN 模型进行组合得到整个维修保障指挥系统的工作流模型如图 4。该工作流 CPN 模型由 2 种不同类型的异质 Petri 网构成, 为实现 2 种异质 Petri 网的连通, 通过接口变迁将信息托肯转换为任务托肯实现 2 种不同类型 Petri 网的连通, 为从逻辑上分析整个装备维修保障指挥系统指控信息流和物质流之间的关系提供了形式化的描述手段。

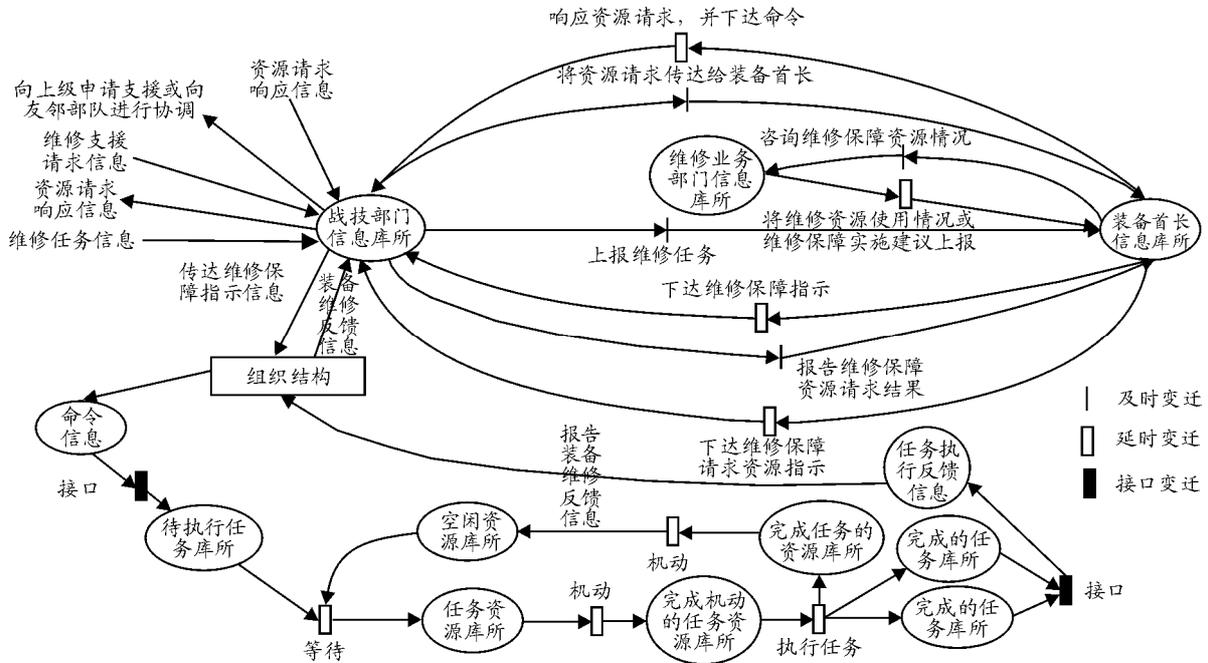


图 4 面向对象的装备维修保障指挥系统工作流 CPN 模型

对于有色 Petri 网系统, 通常采用七元组 $O=(P,T,F,C,I_-,I_+,M_0)$ 进行描述, 笔者研究系统涉及 2 种类型的有色 Petri 网, 对其 workflow 系统形式化定义如下:

$$W=(CO, RO, Structure, Interface)$$

式中, $CO=\{CO_1, CO_2, \dots, CO_i\}$, 表示不同指挥主体业务流程的 CPN 模型的集合; $RO=\{RO_1, RO_2, \dots, RO_j\}$, 表示不同维修保障资源业务流程的 CPN 模型的集合; $Structure=\{HS, CS, RS\}$, 表示系统的组织结构关

系; $Interface$ 表示异质 Petri 网的接口变迁。

其中 HS 为指挥层级关系矩阵, $HS_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{表示 } CO_i \text{ 为 } CO_j \text{ 的上级节点} \\ 0 & \text{表示 } CO_i \text{ 不是 } CO_j \text{ 的上级节点} \end{cases}$;

CS 为指挥主体间协调关系矩阵, $CS_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{表示 } CO_i, CO_j \text{ 存在资源协调} \\ 0 & \text{表示 } CO_i, CO_j \text{ 不存在资源协调} \end{cases}$;

RS 为资源隶属关系矩阵, $RS_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{表示 } RO_j \text{ 隶属于 } CO_i \\ 0 & \text{表示 } RO_j \text{ 不隶属于 } CO_i \end{cases}$ 。

3 基于 OOC PN 模型的装备维修保障指挥系统性能分析

设由任务 M 需要 CO₄ 指挥的保障资源进行完成, CO₄ 所在系统组织结构及任务需求关系如图 5。

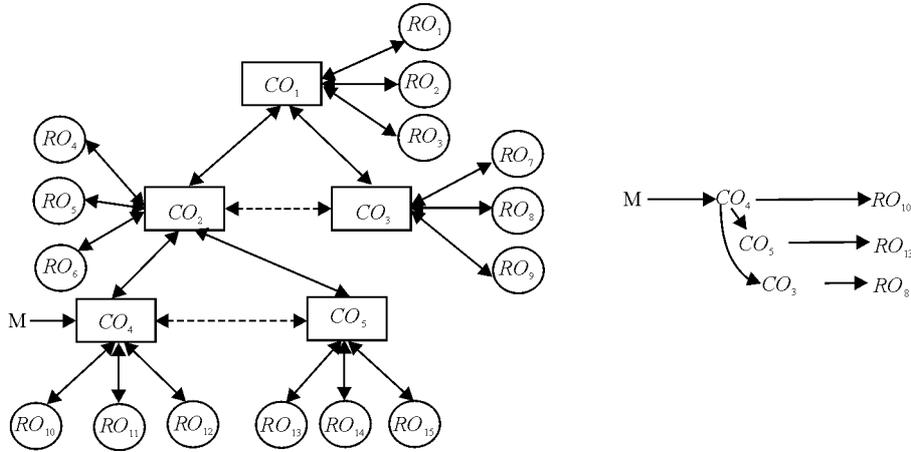


图 5 装备维修保障指挥系统组织结构及任务需求关系

根据上节对装备维修保障指挥系统的 CPN 模型, 可得到 CPN 模型的组成元素如下:

$$\begin{aligned}
 HS &= \begin{matrix} & CO_1 & CO_2 & CO_3 & CO_4 & CO_5 \\ \begin{matrix} CO_1 \\ CO_2 \\ CO_3 \\ CO_4 \\ CO_5 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \\
 CS &= \begin{matrix} & CO_1 & CO_2 & CO_3 & CO_4 & CO_5 \\ \begin{matrix} CO_1 \\ CO_2 \\ CO_3 \\ CO_4 \\ CO_5 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \\
 RS &= \begin{matrix} & RO_1 & RO_2 & RO_3 & RO_4 & \cdots & RO_{14} & RO_{15} \\ \begin{matrix} CO_1 \\ CO_2 \\ CO_3 \\ CO_4 \\ CO_5 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & & & & & \\ & & & 1 & & & & \\ & & & & \dots & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}
 \end{aligned}$$

任务完成时间包括任务信息处理时间 MT、保障资源机动时间 LT 和任务执行时间 ET 3 部分, 为了计算信息处理时间, 需要计算以下指挥主体对象之间的路径, 其中 Route 函数的计算要根据关系矩阵 HS、CS 计算得到。

$$\begin{aligned}
 Route(CO_4, CO_4) &= CO_4, \\
 Route(CO_4, CO_5) &= CO_4 \rightarrow CO_5 \\
 Route(CO_4, CO_3) &= CO_4 \rightarrow CO_2 \rightarrow CO_3
 \end{aligned}$$

由于指挥主体信息处理活动时间具有随机性, 通常对这类 workflow 系统都假设 workflow 模型的变迁延时是服从指数分布函数的^[6]。笔者建立的信息处理 workflow 模型延时变迁主要由串联结构、并联结构及二者变迁的混合结构构成。下面给出 2 种基本结构的时间计算公式。

1) 串联结构

由 n 个变迁串联组成一个系统, 设这 n 个串联变迁的延时时间为 n 个相互独立的随机变量, 且分别服从参数为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 的指数分布函数, 即 n 个变迁的平均延时时间分别为 $\frac{1}{\lambda_1}, \frac{1}{\lambda_2}, \dots, \frac{1}{\lambda_n}$, 则这 n 个变迁总的等价延时时间为

$$\frac{1}{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i}$$

2) 并联结构

设 n 个并联变迁的延时时间为 n 个相互独立的顺序统计量 X_1, X_2, \dots, X_n , 且分别服从参数为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 的指数分布函数, 则这 n 个并联变迁总的平均等价延时时间为:

$$\frac{1}{\lambda} = \max_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i}$$

这样, 使用以上 2 种结构的时间计算公式不断地对模型进行计算, 最终可求出整个系统对信息的处理时间, 可得到整个任务完成所需要的时间为:

$$T = \max(MT_{CO_4} + LT_{RO_{10}}, MT_{CO_4} + MT_{CO_5} + LT_{RO_{13}}, MT_{CO_4} + MT_{CO_2} + MT_{CO_3} + LT_{RO_8}) + ET$$