

6-1-2020

## Modeling Method of Air Command and Security Work Process Service Oriented

Yongliang Luo

*China State Shipbuilding Corporation System Engineering Research Institute, Beijing 100094, China;*

Yuanhui Qin

*China State Shipbuilding Corporation System Engineering Research Institute, Beijing 100094, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Modeling Method of Air Command and Security Work Process Service Oriented

### Abstract

**Abstract:** A modeling method of air command and security work process service oriented was proposed combined with the typical process equipment air command and support building requirements. Air command and process characteristics was analyzed systematically. *On this basis, a complex process modeling method was proposed. From the concept of process meta-model, process formalized description mechanism was studied.* A prototype flow modeling tool was developed, and the rationality of the proposed method was analyzed combined with the application example.

### Keywords

aviation security, flow modeling, formal description, service oriented

### Recommended Citation

Luo Yongliang, Qin Yuanhui. Modeling Method of Air Command and Security Work Process Service Oriented[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(8): 1866-1872.

## 面向服务的航空指挥与保障作业流程建模方法

罗永亮, 秦远辉

(中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100094)

**摘要:** 结合典型装备航空指挥和保障综合仿真系统构建需求, 针对航空指挥和保障复杂作业流程特点, 提出了一种面向服务的航空指挥和保障作业流程建模方法。系统分析了当前航空指挥和保障作业流程存在的问题, 在现有复杂作业流程建模方法基础上, 给出了面向服务的复杂作业流程建模方法, 重点从作业流程概念元模型、流程形式化描述机制等方面进行了研究, 结合所开发的原型工具对所提出的方法进行了应用分析。

**关键词:** 航空保障; 流程建模; 形式化描述; 面向服务

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X(2017)08-1866-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201708030

## Modeling Method of Air Command and Security Work Process Service Oriented

Luo Yongliang, Qin Yuanhui

(China State Shipbuilding Corporation System Engineering Research Institute, Beijing 100094, China)

**Abstract:** A modeling method of air command and security work process service oriented was proposed combined with the typical process equipment air command and support building requirements. Air command and process characteristics was analyzed systematically. *On this basis, a complex process modeling method was proposed. From the concept of process meta-model, process formalized description mechanism was studied.* A prototype flow modeling tool was developed, and the rationality of the proposed method was analyzed combined with the application example.

**Keywords:** aviation security; flow modeling; formal description; service oriented

## 引言

航空指挥和保障系统(简称航保系统)是一类典型的大规模离散事件动态复杂系统<sup>[1]</sup>, 涉及任务、人员、作业环境、飞机等多个复杂要素, 是影响舰载机出动能力和出动效率的关键系统, 是实现飞机上舰的核心<sup>[2]</sup>。而航空指挥和保障作业流程作为一类典型的复杂作业流程, 贯穿了航空指挥和保

障系统各个环节, 为实现上述复杂系统全方位的建模仿真, 首先需要解决的便是如何实现对航保复杂作业流程清晰、系统的描述问题。由于当前航保作业流程的主线设计更多侧重单机作业全流程梳理, 多机并行协同流程设计不够, 且流程多侧重静态流程, 动态流程设计方面灵活性不足, 未涵盖也无法满足航空指挥保障系统新研装备的仿真需求。因此, 如何构建支持高效、动态且通用性高的多机并行作业流程模型是实现航空指挥和保障综合仿真系统的基础与关键, 也是本文研究的重点内容。

业务流程建模是将业务流程以某种语言或规范表述为模型的过程, 目前根据业务流程建模语言的不同特征, 可以分为以下3种类型: 图形化建模



收稿日期: 2014-05-10 修回日期: 2014-08-14;  
作者简介: 罗永亮(1986-), 男, 安徽六安, 博士, 工程师, 研究方向为复杂系统建模仿真; 秦远辉(1981-), 男, 黑龙江, 硕士, 高工, 研究方向为计算机仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 1866 •

语言<sup>[3]</sup>(如统一建模语言-UML, 事件驱动的流程链-EPC、工作流图-Workflow Graph、业务流程建模符号-BPMN 等)、基于数学模型的流程建模(如 Petri 网<sup>[4]</sup>、Pi 演算<sup>[5]</sup>等)、业务流程定义语言(如流程定义语言规范-XPDL、业务流程执行语言-BPEL<sup>[6]</sup>等)。目前, 由于在不同的应用领域及背景下, 对流程建模方法也提出了不同的要求, 目前针对复杂作业流程建模, 多是基于实际需求, 通过结合上述各类方法, 来构建满足需求的作业流程建模方法。主要包括:

(1) UML 与 BPEL 的结合<sup>[3]</sup>, 提出通过利用构造型和键值方法扩展活动图, 采用扩展的活动图对业务流程进行建模, 并定义了 UML 模型到 BPEL 的映射方案。由于 UML 是图形化的语言, 而 BPEL 是面向块状结构的语言, 因此 UML 图向 BPEL 描述语言转化时, 需要充分考虑顺序与并发交织一起非块状结构的转化描述。

(2) BPMN+XPDL+BPEL<sup>[7]</sup>的结合, 当前较流行的一种业务流程建模解决方案。BPMN 业务流程建模符号是业务流程管理倡议组织于 2003 年提出、被对象管理组织采纳的一种建模规范, 他提供的图形建模符号易被业务员理解, 是目前最流行的业务流程可视化语言<sup>[3]</sup>。但是 BPMN 规范没有定义业务流程图的存储结构, 因此不能直接用计算机进行交换、仿真与执行。基于 XML 的过程描述语

言 XPDL 规范是 workflow 联盟提出的一种业务流程建模方法, 支持用户 BPMN 图形符号描述业务流程, 定义了业务流程图的存储结构和仿真语义。

因此, 结合多机串、并行交织的复杂作业流程仿真建模需求, 借鉴 BPMN 图元建模标准, 本文提出一种面向服务的航空指挥和保障复杂作业流程建模方法。本文在现有复杂作业流程建模方法基础上, 给出了复杂作业流程的概念元模型, 借鉴面向服务的思想给出了流程的形式化描述机制, 最后结合具体应用需求, 初步开发复杂作业流程建模工具, 并结合实例对本文所提出的建模方法进行了分析。

## 1 面向服务的复杂作业流程建模方法

### 1.1 作业流程概念元模型

本项目针对航空指挥和保障系统作业流程进行多层次、全方位的建模, 系统分析舰载机飞行指挥和保障作业流程的特点及综合仿真需求, 给出支持多机并行设计的复杂作业流程元模型(如图 1 所示), 该模型明确了仿真系统中所涉及各类元素的角色, 如战位、装备、环境、资源、作业活动等, 以及模型元素间的制约与依赖关系, 从而为后续复杂作业流程设计提供了元数据支持。

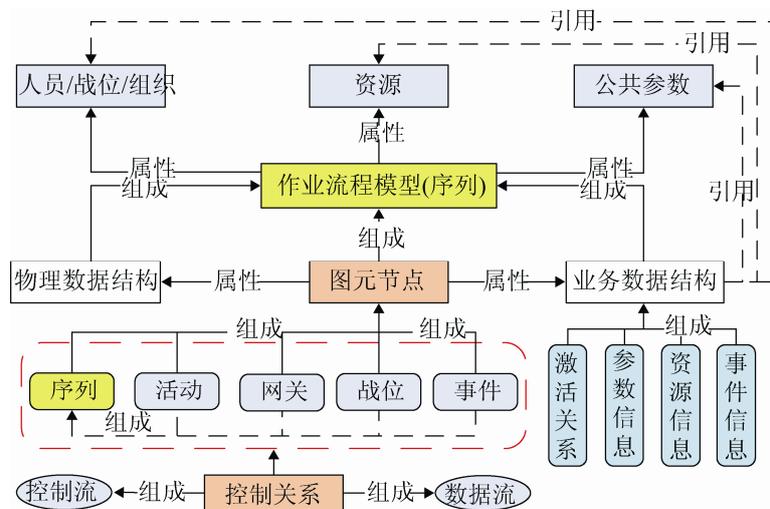


图 1 作业流程概念元模型示意图

Fig. 1 The meta-model for the process concept

<http://www.china-simulation.com>

• 1867 •

(1) 作业序列, 是作业流程调度的基本单元, 并以活动为构成要素, 同时活动为流程执行的基本单元。主要信息包括序列属性、序列公共信息、序列激活条件及序列内节点(如活动节点、逻辑节点、战位节点、事件节点等) 等信息。

(2) 作业活动, 作为序列流程执行的基本单元, 也是流程推演过程中核心要素, 活动节点主要表示了某战位某人员在特定时刻的基本业务活动, 主要信息包括, 活动节点基本属性、输入参数信息、输出参数信息、激活条件信息及结束条件信息。其中输入参数主要指该活动及其模拟器执行所需要的各类参数信息; 输出参数主要指活动运行过程中所产生的数据; 激活条件, 指活动执行的前提条件, 可以有多个; 结束条件, 指活动结束的前提条件, 可以有多个。

## 1.2 作业流程服务化描述机制

活动节点作为序列流程封装的核心, 也是流程调度执行过程中的基本单元, 并以事件驱动活动的方式实现流程的动态调度。因此, 如何实现对“活动”各类属性及“活动”之间各类关联关系的描述是流程形式化描述的核心。此外, 通过各类活动节点、逻辑关系节点、事件节点等图元组成原子序列, 并发布在流程序列库中。针对上述原子序列, 还可根据需求进行更深层次的封装, 即以“原子序列—活动”或“原子序列—序列”的方式封装更粗粒度的序列, 进而满足更复杂的任务需求。

因此, 围绕上述需求, 本项目采用面向服务的(SOA)技术实现上述图形化流程的形式化描述, 并以 XML 形式进行实例存储。为满足流程面向设计人员及编译人员不同应用需求, 这将图形结构的形式化描述分为流程业务数据描述及流程物理结构数据描述两部分, 分别如下:

### 1) 流程业务数据形式化描述

流程业务数据描述主要针对上述图形化建模过程中, 对应上述基于 BPMN 规范给出的图元节点的数据描述, 主要节点包括: 活动节点、序列节点、

网关节点、事件节点。各节点逻辑语义表示如下:

**定义 1 活动(Activity)**, 主要是对某一活动各类属性信息的描述, 主表示如下:

**Activity**=(BasInfo, IOPE)

**BasInfo**=(ID, Name, Resources, User, Type, ...);

**IOPE**=(InputPara, OutputPara, StartCondition, EndCondition)

上述定义中, BasInfo 表示活动节点的基本属性信息, 主要包括活动的编码、名称、资源配置、人员配置及类型等信息。IOPE 则是采用了面向服务技术(SOA)定义了活动的输入参数(InputPara)、输出参数(OutputPara)、开始激活条件(StartCondition)与结束激活条件(EndCondition)4 方面属性。具体表示如下

**InputPara**=(IPGroupType, IPOrigin, IPName, IPID, IPDataType, IPValue)

**OutputPara**=(OPOrigin, OPName, OPID, OPDataType, OPMMethod)

**StartCondition**=(ScType, OriginNodeID, OriginNodeOutEvent)

**EndCondition**=(EcType, OriginNodeID, OriginNodeOutEvent, OriginRel)

在上述定义中:

- **InputPara** 主要指该活动及其模拟器执行所需要的各类参数, 包括参数名称、参数来源类型(自定义参数、上层引用参数、同层引用参数)、参数名称、参数编码、参数数据类型及参数初始值;
- **OutputPara** 主要指活动运行过程中所产生的数据。包括参数输出来源类型(自定义参数、上层引用参数、同层引用参数), 输出参数名称、编码、数据类型及参数输出方式(分为活动的结算输出、模拟器输出)
- **StartCondition** 指活动执行的前提条件, 可以有多个。主要信息包括激活类型(活动节点激活、事件节点激活、序列节点激活、逻辑节点激活)、激活来源节点编码、来源节点的输出事件(如为活动节点, 则分为活动开始、活动结束、结算开始、

结算结束)等;

➤ **EndCondition** 指活动结束的前提条件, 可以有多个。主要信息包括激活类型、来源节点编码、来源节点输出事件, 上述数据信息类似于 **StartCondition** 中相关参数信息, 此外 **OriginRel** 表示了结束条件间的逻辑关系, 主要为“与”、“或”关系。

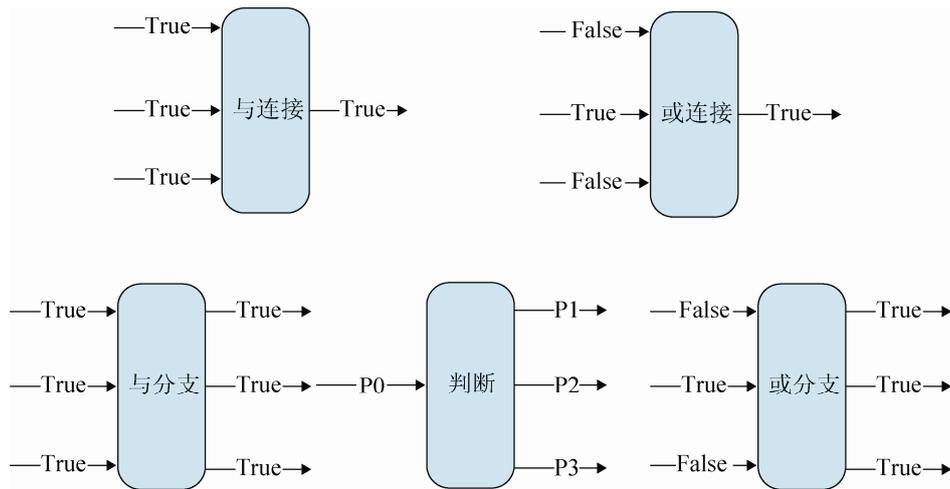


图 2 网关的 5 种控制结构  
Fig. 2 Five gateway control structure

上述定义中, **Gate** 的属性主要包括网关类型、名称、编码和激活条件, 其中激活条件 **GSCondition** 类似于 **Activity** 的开始激活条件 **StartCondition**。此外, 对于判断网关, **P0** 为年输入参数, **P1**、**P2**、**P3** 为各输出分支判断参数, 如当  $P1=P0$  时, 则流程选择 **P1** 分支, 同样  $P2=P0$ , 则选择 **P2** 分支。

**定义 3 事件节点(Event)**, 主要包括开始事件 (**StartEvent**)、中间事件 (**MiddleEvent**)、结束事件 (**EndEvent**)。且满足以下条件:

- a: 一个序列只允许有 1 个开始事件节点, 可以有多个结束事件节点, 多个中间事件节点;
- b: 开始事件节点没有激活条件, 序列开始默认为开始事件节点激活; 中间事件节点与结束事件节点均有激活条件;
- c: 序列流程在执行时, 须以开始节点为流程起始状态, 以结束事件节点为流程终止完毕状态, 且须多个结束事件节点激活条件均满足时。

**定义 2 网关节点(Gate)**, 主要是实现流程内部活动之间各种控制关系的表达, 主要包括与连接、或连接、与分支、或分支、判断 5 类节点。如图 2 所示。上述节点的形式化表示如下:

$$\text{Gate} = (\text{GType}, \text{GName}, \text{GId}, \text{GSCondition})$$

$$\text{GSCondition} = (\text{ScType}, \text{OriginNodeID}, \text{OriginNodeOutEvent})$$

上述事件的表示如下:

$$\text{Event} = (\text{EType}, \text{EName}, \text{EId}, \text{ESCondition})$$

其中 **EType** 为事件类型, 如图 XX 所示, **EName** 为事件名称, **EId** 为事件编码, **ESCondition** 为事件激活条件类似于 **Activity** 的开始激活条件 **StartCondition**。

**定义 4 序列(Flow)**为根据某一具体业务所构建具有一定功能的作业流程, 由上述各类节点按一定的规则组合而成, 是作业流程的封装和调度的基本单元。多元组表示如下:

$$\text{Flow} = (\text{FBasInfo}, \text{FComInfo}, \text{FCondition}, \text{Nodes})$$

$$\text{FBasInfo} = (\text{FID}, \text{FName}, \text{FType}, \text{FStatus}, \text{FCreatTim})$$

其中 **FBasInfo** 主要指序列的基本信息, 包括序列编码(该编码是序列库中序列的唯一标识)、序列名称、序列所属业务类型、序列当前发布状态(包

括新创建、编辑中、已发布等)。FComInfo 主要指序列的公共信息部分,是序列作为封装整体对外提供的参数接口与事件接口,主要包括序列参数(FlowPara)和序列事件(FlowEvent)两个部分(如下所示)。FCondition 指当序列为封装单元时,序列的激活条件,同样类似于 Activity 的开始激活条件 StartCondition 描述。Nodes 则是该序列内部各类节点的集合,各类节点描述方式见(定义 1-3)。

**FComInfo**=(FlowPara, FlowEvent)

上述为序列公共信息的定义,其中 **FlowPara** 包括序列运行参数,序列资源参数、序列人员参数,上述参数信息可为序列内部各节点进行引用。其多元组表示如下:

**FlowPara**=(RunPara, RsPara, UserPara)

**RunPara**=(ParaType, ParaName, ParaID, ParaDataType, ParaOriginID, ParaValue)

**RsPara**=(RsType, RsCode, RsID, RsVersion, OriginRsCode)

**UserPara**=(RoleName, UserCode, UserID, OriginUserCode)

序列事件 **FlowEvent**, 主要包括序列输入事件、序列输出事件,可用多元组表示如下:

**FlowEvent**=(InputEvent, OutputEvent)

**InputEvent**=(EventType, EventID, OriginEventID)

**OutputEvent**=(EventID, OriginID, OriginIDOutEvent)

## 2) 流程结构数据形式化描述

上述为流程业务数据的形式化描述机制解决了面向流程业务人员的流程数据配置及逻辑关系维护等。此外,为了实现流程的可视化编辑及后续动态仿真推演与导调使用,还需要对流程物理结构数据进行处理。这里根据图元节点类型,将物理结构数据分为两种:图元节点、图元连接线(包括控制连接线与数据连接线)。主要表示方法如下:

**定义 5 图元节点结构(DesignerItem)**,主要为支撑图元显示的各类信息,形式化表示如下:

**DesignerItem**=(Nodenum, Name, ItemType, Content, Position)

其中 Nodenum 为图元节点编码,与节点业务数据中相关节点编码一致,Content 为图元形式数据信息,包括背景及边框颜色、字体大小等信息;Position 为节点在显示面板中的位置信息。

**定义 6 连接线结构(Connection)**,主要是连接序列内各节点,包括控制连接线、数据连接线,可表示如下:

**Connection** = (LineID, PreItem, NextItem, LineType, LineText)

其中 LineID 为连接线唯一编码;PreItem 为连接线的来源节点编码;NextItem 为连接线的目标节点编码;LineText 为连接线的文本。

## 2 应用分析

基于本文提出的面向服务的航空指挥和保障作业流程建模方法,结合实际应用需求,研发了支持用户自定义图元的复杂作业流程建模工具,主要功能包括:流程的可视化构建、序列公共参数配置、序列内部节点业务数据配置及逻辑关系维护、序列的发布及导入、流程形式化描述及展示等。最后以某型号最后进近飞行全流程为例,构建了相应的序列模型,并对流程推演过程中的各类业务数据及逻辑关系进行了配置,可以实时查看流程模型的数字化结构信息。主要工具界面如图 3~4 所示。

本文提出的复杂作业流程建模方法主要特点如下:

1) 实现流程内部活动之间各种复杂逻辑关系及事件驱动流程的图形化建模,并支持图元节点属性的定制及数据编辑,进而能够满足不同层次流程建模需求,如顶层作业流程设计、仿真推演流程构建等。

2) 能够实现不同粒度流程的封装。其中原子序列是基本调度单元,由一系列的活动组成,并发布在序列库中;此时可根据业务需求,在原子序列基础上再进行组合封装,即以“原子序列—活动”

或“原子序列—原子序列”的方式封装更粗粒度的序列, 进而满足更复杂的任务需求, 同时还能够供其它流程选择调用。

3) 实现了图形化流程的形式化描述(XML 文件), 并且完成了业务数据及物理结构数据的分离,

进而能够满足不同业务人员(如业务建模人员只关注流程数据、仿真推演人员关注物理结果)、不同场景的应用需要(想定流程编辑、流程导调、监控等不同需求)。

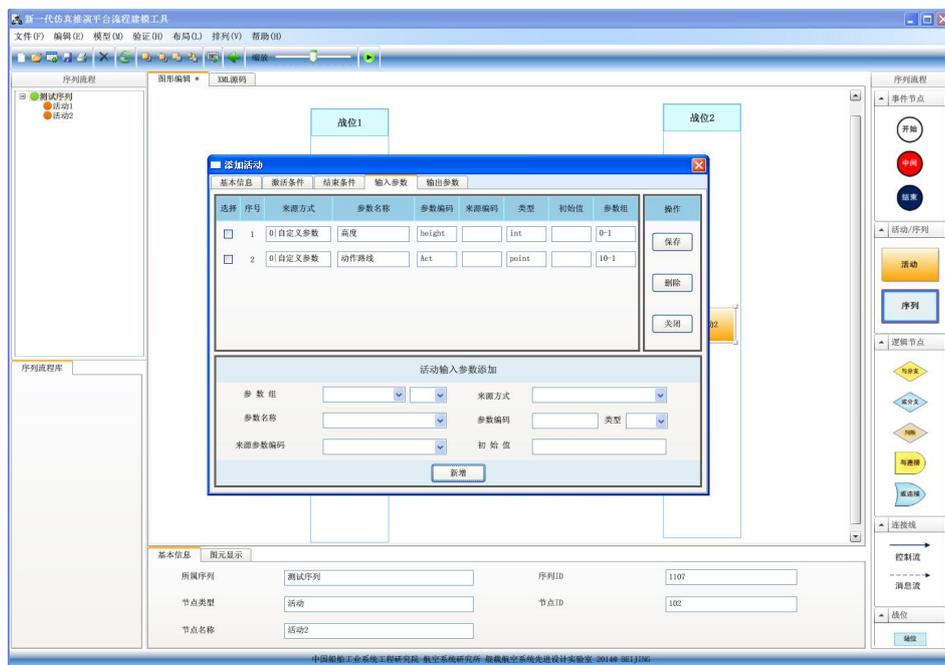


图 3 序列流程建模及节点参数配置

Fig. 3 Sequence of process modeling and node parameter configuration

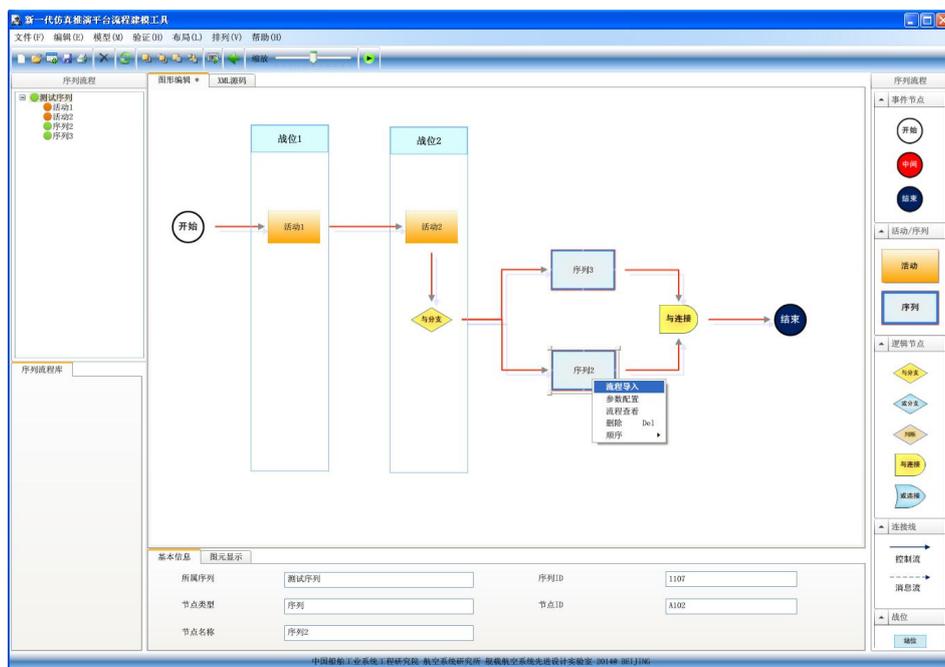


图 4 序列流程图图形化建模及子序列导入

Fig. 4 Sequence process graphical modeling and subsequence import

### 3 结论

结合航空指挥和保障系统作业流程特点, 本文借鉴了现有的流程建模方法, 提出了一种面向服务的航空指挥和保障系统复杂作业流程建模方法, 实现了面向多机并行的复杂作业流程动态建模, 并为后续开展不确定情况下航保复杂作业流程仿真及动态调度提供了支撑。下一步将围绕流程建模工具的可用性及稳定性展开深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 刘晓平, 唐益明, 郑利平. 复杂系统与复杂系统仿真研究综述 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(23): 6303-6315. (Liu Xiaoping, Tang Yiming, Zhen Liping. Survey of Complex System and Complex System Simulation [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2008, 20(23): 6303-6315.)
- [2] 冯强, 曾声奎, 康锐. 不确定条件下舰载机动态调度仿真与优化方法 [J]. 系统仿真学报, 2011, 23(7): 1497-1506. (Feng Qiang, Zeng Shengkui, Kang Rui. Dynamic Scheduling Simulation and Optimization of

Carrier Aircraft Under Uncertainty [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2011, 23(7): 1497-1506.)

- [3] 张曼. 面向服务的业务流程建模与验证研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012. (Zhang Man. Study of Service-Oriented Business Process Modeling and Verification [D]. Xi'an, China: Xidian University, 2012.)
- [4] 吴哲辉. Petri 网导论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006. (Wu Zhehui. Petri net introductory theory [M]. Beijing, China: China Machine Press, 2006.)
- [5] Milner Robin. Communicating and Mobile Systems: the Pi-calculus. Fifth Printing [M]. USA: Cambridge Press, 2004.
- [6] 张立群. 支持业务流程建模的块结构流程挖掘技术的研究 [D]. 济南: 山东大学, 2010. (Zhang Liqun. Research on Block-Structured Process Mining Technology for Business Process Modeling [D]. Ji'nan, China: Shandong University, 2010.)
- [7] 蔡章利, 易树平. 基于 BPMN 的业务流程一体化建模方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(3): 551-557. (Cai Zhangli, Yi Shuping. Business Process Integration Modeling Method Based on Business Process Modeling Notation [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2010, 16(3): 551-557.)

(上接第 1857 页)

- [10] Peng Lihui, Ye Jiamin, Lu Geng, et al. Evaluation of effect of number of electrodes in ECT sensors on Image quality [J]. IEEE Sensors Journal (S1530-437X), 2012, 12(5): 1554-1565.
- [11] You Feifan, Hong Lihu, Fan Yang, et al. A 48-electrode Configurable Electrical Capacitance Tomography System Model [J]. Journal of Xi'an Jiao Tong University (S1671-8267), 2015, 49(4): 110-115, 122.
- [12] Chan T F, Golub G, Mulet P. A nonlinear primal dual method for TV-based image restoration [R]// UCLA CAM Report 95-43.0, 1995. USA: UCLA, 1996.
- [13] Cheney M, Isaacson D, Newell J C, et al. NOSER: An

algorithm for solving the inverse conductivity problem [J]. Int. J. Imaging Systems & Technology (S1098-1098), 1990, 2(2): 66-75.

- [14] Green Leaf A, Uhlmann G. Local uniqueness for the Dirichlet-to-Neumann map via the two-plane transform [J]. Duke Math. J. (S0012-7094), 2001, 108(3): 599-617.
- [15] 梁旭, 朴成日, 全应栓. 基于贝叶斯融合的机载电源系统评估方法 [J]. 国外电子测量技术, 2014, 10: 29-32, 37. (Liang Xu, Piao Chengri, Quan Yingshuan. Evaluation method of airborne power system based on bayesian fusion [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2014, 10: 29-32, 37.)