

doi: 10.7690/bgzdh.2016.04.020

基于 UML 和 Petri 网的舰载机作战指挥引导

孙国磊, 李冬, 李京

(海军航空工程学院 5 系, 山东 烟台 264001)

摘要: 针对传统作战指挥引导已经不能满足作战需要的问题, 建立一种基本的舰载机对目标作战指挥引导 workflow 模型。划分舰载机空对面作战指挥引导阶段, 利用统一建模语言工具建立作战指挥引导的 workflow 模型, 并通过 Petri 网对该 workflow 模型进行可达性、合理性和选择性等验证。验证结果表明, 该模型可较为快速和准确地进行作战指挥引导系统的原型开发。

关键词: UML; Petri 网; 指挥引导

中图分类号: TP391.92 **文献标志码:** A

Carrier-based Aircraft Command and Guidance Based on UML and Petri-net

Sun Guolei, Li Dong, Li Jing

(No. 5 Department, Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China)

Abstract: Aiming at the problem that traditional operational command has been unable meeting the needs of combat, the paper established a basic carrier-based aircraft command and guidance workflow model. The whole process of attacking-ground guidance can be divided into several parts which can be build models using UML tool, under the thought of working flow theory. Because of the limits of the UML tools, Petri-net is used into these models to testify the validity and the rationality. Verification results show that the model can more quickly and accurately for battle command guidance system prototype development.

Keywords: UML; Petri-net; command and guidance

0 引言

当前, 联合作战已经成为信息化条件下的主要作战样式, 而如何协同各参战兵力是有效发挥各军兵种战斗力的核心; 因此, 舰载机作为海上联合火力打击的主要参战兵力, 必须保证在其整个作战行动全过程中, 能够得到不间断的指挥控制, 从而才能确保舰载机与其他兵力行动的协调一致。舰载机的指挥控制机构是其神经中枢, 它发挥效率的高低除了传统技术上的制约因素之外, 还包括指挥引导方式、方法等理论的运用。在这方面, 外军经过多次的局部战争实践, 强调了指挥引导的扁平化, 在保证指挥员作战意图得以实现的前提下, 发挥各下属机构的主动性, 形成集中指挥与分散控制相结合的特点; 所以, 在借鉴先进经验的基础上, 利用处理工作流的理论将对空指挥引导部门紧密地衔接在一起, 可有效地辅助指挥员和参谋人员完成工作。

工作流实际上是一种“业务过程”, 它保证整个系统能够将正确的信息在正确的时间传递给正确的单元。目前关于工作流的建模技术主要是利用 Petri 网, 它非常适合定义和分析复杂的业务过程; 近年来, 统一建模语言(unified modeling language, UML)

成为主要的软件开发标准, 它的可视化、图形化使其不仅局限于软件开发, 而是作为一个工业标准被广泛用于各个领域^[1]。

从对舰载机的指挥引导特点分析来看, 可以借用 UML 的直观性和 Petri 网的严谨性, 建立舰载机指挥引导的 workflow 模型。

1 舰载机作战指挥引导阶段划分

当舰载机执行火力打击任务时, 其指挥引导区域可以大致划分为航母管制区、航路和目标区 3 个阶段, 如图 1 所示。

当舰载机飞离航母管制区后, 就进入了攻击航路, 此时对舰载机的指挥引导将主要由作战指挥控制中心承担, 其主要职责包括: 引导飞机接敌、退出目标区及进入编队前的敌我识别; 受制于客观因素的影响, 水面舰艇的探测设备不一定能够全程覆盖; 因此, 需要空中指挥引导设备进行接替。

目标区是舰载机对面作战指挥引导的最后一个阶段, 也是最为复杂的阶段。因为在联合作战条件下, 目标区可能存在己方地面部队和防空部队。当飞机进入目标区后, 指挥引导权可以移交区域防

收稿日期: 2015-12-18; 修回日期: 2016-01-24

作者简介: 孙国磊(1979—), 男, 山东人, 博士, 讲师, 从事指挥自动化研究。

空指挥机构和目标区的目标引导组。

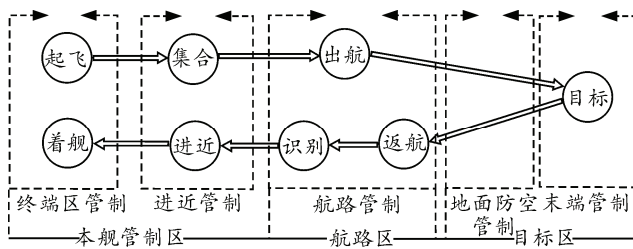


图1 火力打击指挥引导的阶段

2 基于UML的指挥引导模型

当舰载机实施空对面作战时，通常由作战指挥控制中心对舰载机实施统一指挥和控制。根据作战行动需要，作战指挥控制中心会适时授权空中指挥控制平台或前出具有指挥引导能力的水面舰艇或指挥引导组，对一定区域的舰载机实施指挥引导，确保作战行动的顺利实施。有时由于雷达探测、通信保障等不能满足舰载机遂行空对面作战任务的需要，作战指挥控制中心会指派空中指挥控制平台或前出的具有对空引导能力的水面舰艇担任指挥引导中继平台，确保舰载机按预定航线飞行，合理处置空中突发事件，准确地引导舰载机发现和截获预定目标并实施攻击。

2.1 作战指挥引导用例图

图2表述了舰载机作战指挥引导的用例视图。它将系统功能划分成对参与者(即系统的用户)有用的需求，而交互功能部分被称作用例^[2]。从该用例图中可以看出，在指挥引导的全过程中主要有8个用户：舰载机、塔台、航管中心、作战指挥中心、空中指挥平台、目标引导组、地段防空指挥员、防空警戒舰。每个用户在作战指挥引导的不同阶段发挥着各自的作用。

2.2 作战指挥引导活动图

为突出作战指挥引导过程中对象间的控制流，UML中的活动图提供了满足需要的图形技术^[3]。活动图主要利用活动状态(activity state)、控制流以及初始和结束状态来建立 workflow。活动状态用圆角矩形表示，控制流用带箭头的实线来表示。当需要对 workflow 进行分叉或并发时，分别利用菱形和同步棒(synchronization bar)；菱形对应分叉(OR-split 和 OR-join)，同步棒对应并发(AND-split 和 AND-join)。另外，针对作战指挥引导涉及不同的指挥控制部门，为了区分对象，引入了泳道。它把整个作战指挥引导过程根据角色和部门的不同进行

了分割。

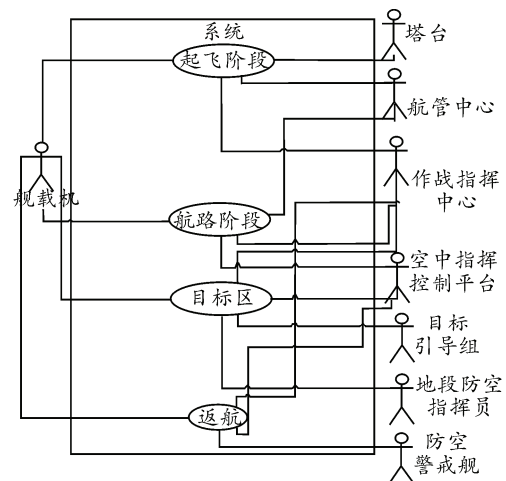


图2 舰载机作战指挥引导用例图

图3~图6对舰载机的指挥引导进行了阶段划分，其根本是围绕着空地火力打击作战行动展开。

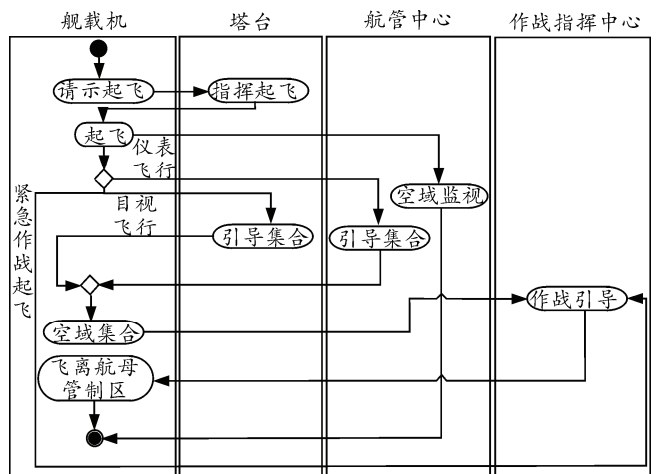


图3 起飞阶段活动

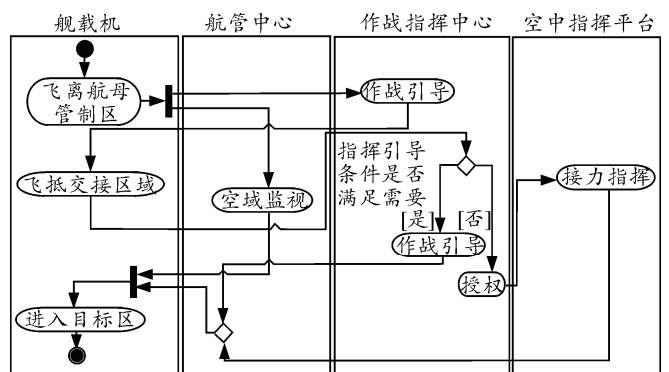


图4 航路阶段活动

在起飞阶段，指挥引导的重心是舰载机的起飞，一般情况下目视起飞由塔台指挥，仪表飞行则改为航管；同时，若出现突发情况，作战指挥中心有权直接接管飞机的指挥控制。该阶段的边界以航母管制区为基准。

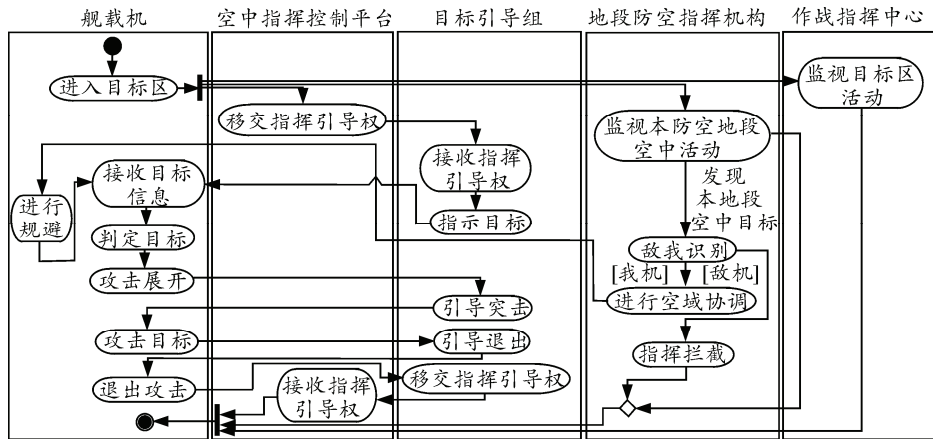


图 5 目标区阶段活动图

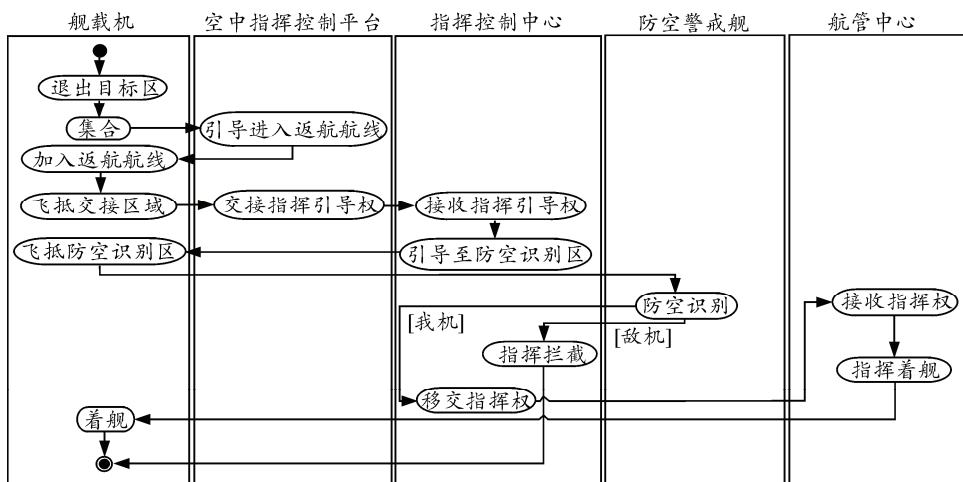


图 6 返航阶段活动

在舰载机出航阶段，其指挥引导由作战指挥中心承担，同时航管中心全程进行监控，当遇到特殊情况及时上报作战指挥中心，后者对舰载机飞行进行修正；当作战指挥能力受探测手段和通信条件限制时，可以将指挥引导权递交给空中指挥平台。

当舰载机进入目标区后，其指挥引导活动最为复杂，涉及的用户最多。其主要活动由在目标区的目标引导组负责；同时，如果有己方地面防空力量的存在，为了防止误伤，当舰载机接近地面部队防空区域时，要接受地段防空指挥结构的指挥；而整个目标区的活动，作战指挥中心都进行全程监控。

当舰载机执行完空对面攻击任务后，将进入返航阶段。其中最关键的是当舰载机进入航母管制区前的敌我识别，此时，舰载机要受到防空警戒舰的指挥，使其进入防空识别区进行敌我识别。当判明是我机后则将指挥权交予航管中心进行近进引导。

3 基于 Petri 网的建模验证

笔者通过 UML 建立了舰载机作战指挥引导的

workflow 模型。由于没有严谨的数学理论作为支撑，这种直观的模型可能存在一定的缺陷。这种缺陷如果没有被及早被发现，就会成为系统的隐患，造成系统的不稳定，甚至是崩溃，所以需要在开发初期尽可能发现并解决。

利用 Petri 网主要是考虑其严谨的数学分析和清晰的图形显示，可以详细地描述舰载机指挥引导系统的内部运动机理^[4]。利用 Petri 网进行 workflow 模型检验的主要思路：首先，将基于 UML 的作战指挥引导模型转换为 Petri 网；其次，对该 Petri 网模型进行可达性、合理性、自由选择性、良构性和 S 可覆盖性进行正确性分析，实现优势互补，得到了较好的效果^[5-6]。

3.1 UML 活动图映射为 Petri 网模型规则

将 UML 活动图转换为 Petri 网的主要方法如图 7。其中：Petri 网的库所对应 UML 的活动状态，变迁对应于有向实线；Petri 网的 OR-Split、OR-Join 用菱形；AND-Split 和 AND-Join 用同步棒^[7-8]。

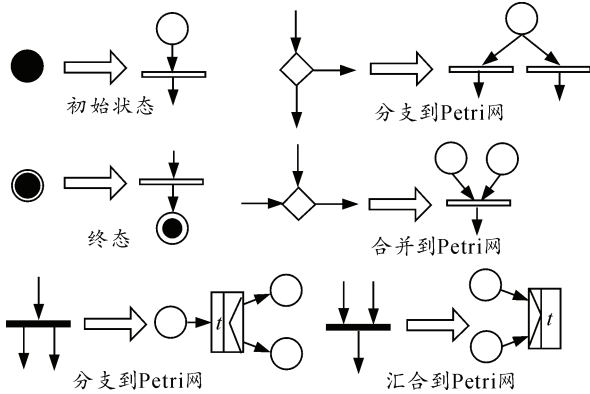


图7 UML向Petri网转换规则

3.2 作战指挥引导的Petri网模型

根据上述转换规则，可以将舰载机作战指挥引导UML模型转换为Petri网模型。限于篇幅限制，这里只列出目标区作战指挥引导模型的转换结果，如图8所示。

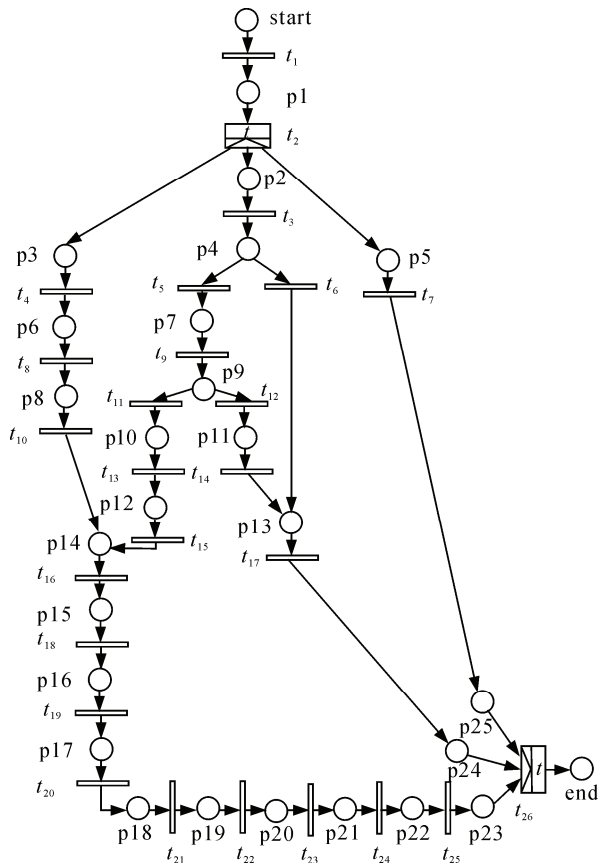


图8 目标区指挥引导Petri网模型

Petri网中变迁所代表的活动如表1所示。

3.3 基于Petri网模型的正确性分析

前面已经利用UML工具建立了指挥引导的一般模型，笔者利用Petri网的几种特性对该指挥引导系统模型进行检验，确保系统模型的正确性与合

理性^[9-10]。

表1 目标区作战指挥引导变迁

变迁	活动	变迁	活动
t ₁	进入目标区	t ₁₄	指挥拦截
t ₂	准备指挥引导	t ₁₅	进行规避
t ₃	监视本区空中活动	t ₁₆	接收目标信息
t ₄	移交指挥引导权	t ₁₇	监视本区空中活动
t ₅	发现空中活动目标	t ₁₈	判定目标
t ₆	未发现空中活动目标	t ₁₉	攻击展开
t ₇	监视空中活动	t ₂₀	引导突击
t ₈	接收指挥引导权	t ₂₁	攻击目标
t ₉	敌我识别	t ₂₂	引导退出
t ₁₀	指示目标	t ₂₃	退出攻击
t ₁₁	判为我机	t ₂₄	移交指挥引导权
t ₁₂	判为敌机	t ₂₅	接收指挥引导权
t ₁₃	空域协调	t ₂₆	完成目标区引导

3.3.1 可达性分析

通过Petri网的可达性分析，可以准确把握系统的每一种状态，以及每种状态的到达顺序。绘制系统的可达图非常重要。它是一种非常精确的系统业务过程的表达形式。图9为本模型的可达图。

图9中一共有26种可达状态，但并不是每种状态都发生。比如，只有在(0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)下，状态(0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)才会发生。通过建立可达图，可知该模型满足可达性。

3.3.2 合理性分析

Petri网的合理性意味着，系统的整个业务过程中每个任务都必须完成，每个任务都处于输入start和结束end节点之间的路径上。根据这一要求，在指挥引导任务开始后，任务由初始状态向结束状态转变，当任务完成时，所有的过程节点为空；其次，由可达图可以得出模型不存在死循环，即每种状态都有被执行的可能；因此，指挥引导系统的UML模型具有其合理性。

3.3.3 自由选择性分析

假设网络中的变迁t₁和t₂共享一个输入库所，即•t₁∩•t₂≠∅，则这2个变迁是OR-split的一部分，具有“自由选择”的特性；因此，该共享输入库所是匹配的，即•t₁=•t₂。

由图8的工作流网模型可见：变迁t₅和t₆共享输入库所P2，t₁₁和t₁₂共享输入库所P7；则他们的输入集合相同，所以该工作流网是有选择的。

3.3.4 良构性和S可覆盖性分析

为了使舰载机指挥引导系统具有良好的结构

性，需要平衡系统中的 AND/OR-split 和 AND/OR-join。如图 8 所示，T2(AND-split)产生的两个并行分支，由 T26(AND-join)汇合，符合平衡

的并行路由；所以，该系统模型是 S 可覆盖的。

因此，通过图 8 和图 9 的验证，知道舰载机在目标区的指挥引导 UML 模型是合理的。

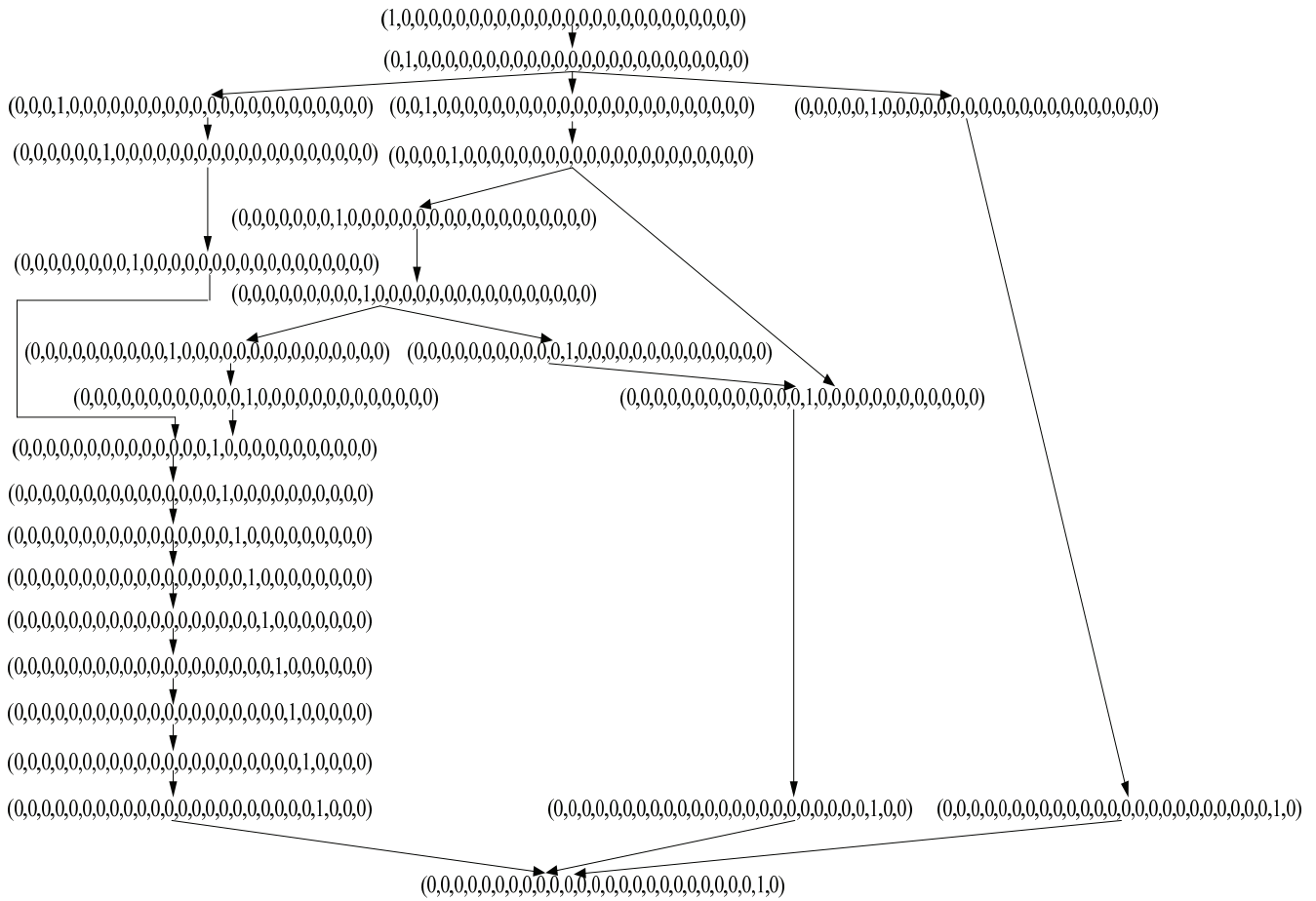


图 9 目标区指挥引导的可达

4 结论

在分析舰载机空对地火力打击指挥引导理论的基础上，笔者建立了该行动的 UML 模型，并通过了 Petri 网的验证。通过上述研究，笔者认为：在建立类似的存在多种类型、多个部门的指挥控制系统模型时，可以考虑利用先 UML 再 Petri 网的方法，对系统进行高效的原型开发。

参考文献：

[1] 刘宝代, 张建, 刘冰寒. 基于 UML 活动图和 Petri 网电子政务 workflow 建模研究[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(6): 155-158.

[2] James Rumbaugh, Ivar Jacobson, Grady Booch. The Unified Modeling Language Reference Manual[M]. BeiJing: China Machine Press, 2001: 66-70.

[3] 孙云, 张东升, 王日恒. 基于 UML 的装备保障指挥控制 workflow 模型[J]. 装甲兵工程学院学报, 2008, 22(1):

23-28.

[4] 张筠, 崔哲, 张宇渊. UML 和 Petri 网的建模验证方法[J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(10): 154-158.

[5] Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications [J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(4): 541-580.

[6] 赵国毅, 张广泉. 基于 Petri 网和 UML 的流水作业调度模型设计及实现[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2008, 25(2): 40-46.

[7] 赵俊峰, 周建涛, 邢冠男. UML 活动图到 Petri 网的转换方法及实现研究 [J]. 计算机科学, 2014, 47(07): 143-149.

[8] Hillah L M, Kindler E, Kordon F, et al. A primer on the Petri Net Markup Language and ISO//IEC 15909-2[J]. Petri Net Newsletter, 2009, 76: 9-28.

[9] 乔李明, 李发彬. 基于 UML-OOPN 的武器装备体系可靠性建模方法 [J]. 电子设计工程, 2013, 21(24): 134-139.

[10] 万里威. UML 模型到面向对象 Petri 网模型的映射[J]. 电脑与信息技术, 2007(4): 40-42.