

doi: 10.7690/bgzd.2014.08.014

基于UML-OPN的装甲装备维修保障系统建模

张杨¹, 何成铭¹, 刘晓²

(1. 装甲兵工程学院技术保障工程系, 北京 100072; 2. 中国人民解放军 66321 部队, 北京 102112)

摘要: 为了对维修保障系统正确建模, 提出基于 UML 和 Petri 网相结合的 UML-OPN 建模方法。根据建模系统的特点, 按照一定的映射算法, 通过 UML 模型和 OPN 模型分别分析描述了装甲装备维修保障系统的静态和动态特性, 不断完善系统的建模模型, 并以基层级修理机构为例, 验证了该方法在装甲装备维修保障系统建模中的实效性。分析结果表明: 该方法极大地降低了系统模型的复杂度, 使其更清晰、易懂, 且具有良好的可重用性和扩展性。

关键词: 统一建模语言; 面向对象 Petri 网; 维修保障系统; 建模
中图分类号: TJ811 **文献标志码:** A

Modeling of Armored Equipment Maintenance Support System Based on UML-OPN

Zhang Yang¹, He Chengming¹, Liu Xiao²

(1. Department of Technical Support Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China; 2. No. 66321 Unit of PLA, Beijing 102112, China)

Abstract: In order to correctly make equipment maintenance support system, this paper discusses a modeling method based on the unified modeling language (UML) combined with object-oriented Petri net (OPN). On the basis of characteristic of modeling system, through the UML model and OPN model, the static and dynamic characteristics of the armored equipment maintenance support system were respectively described and analyzed according to certain mapping algorithm. The system model is constantly improved. Based on the example of organizational-level maintenance mechanism, the method was proven effectiveness in armored equipment maintenance support system modeling. Analysis results show that the method greatly reduces the complexity of the system model, making it clearer and simpler, and it shows great reusability and extensibility.

Keywords: unified modeling language; object-oriented Petri net; maintenance support system; modeling

0 引言

在信息化条件下的现代战争中, 各种高技术手段被广泛应用, 体现出了整合性、网络化、智能化、全系统全寿命等特征, 对装备维修保障系统提出了更高的要求^[1]。装甲装备的维修保障任务就是采取各种技术措施及相关保障活动而保持和恢复装甲装备的良好技术性能。该系统是包括维修所用的物质资源、人力资源、信息资源以及组织机构等在内的复杂系统, 具有离散性、随机性等特点^[2]。作为装甲装备保障的重要组成部分, 无论是维修保障能力的评估还是维修保障系统的优化问题, 对维修保障系统正确的建模都是开展此类研究的重要基础。现有主要的建模方法有功能语言 IDEF 系列、UML 统一建模语言、Petri 网等; 因此, 笔者对 UML-OPN 结合的建模方法在装甲装备维修保障系统建模中的具体应用进行研究。

1 UML-OPN 建模方法概述

UML-OPN 建模方法是 UML 模型与面向对象 Petri 网建模方法结合而成, 两者相互取长补短, 形

成一种复合建模方法。任何一个离散型动态系统都可以分为静态和动态 2 部分, 而基于 UML-OPN 建模方法的特点就是将系统一分为二, 采用 UML 中的用例图、类图等来描述其静态属性, 动态属性则由面向对象 Petri 网来描述。通过两者的结合, 将装甲装备维修保障系统模型抽象出来。

1.1 UML 统一建模语言

统一建模语言 UML 是发起者在汇合了 Booch、OMT 和 OOSE 等面向对象技术的基础上, 几经完善而成, 主要作用是描述用户的需求分析过程, 擅长于对并发、异步、分布式系统的建模。

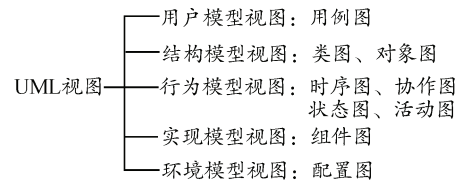


图 1 UML 视图分类

UML 作为一种图形化的建模语言, 主要是通过定义多个反映系统不同方面的视图, 对系统做出完

收稿日期: 2014-03-14; 修回日期: 2014-04-04
作者简介: 张杨(1989—), 男, 河北人, 在读硕士, 从事装备保障研究。

整、精确地描述，可根据系统的特点而选择不同的视图。UML 中的视图大致分类如图 1^[3]所示。

1.2 面向对象 Petri 网模型

Petri 网是一种用网状图形来表示的系统模型，由库所、变迁和有向弧组成，具有简洁、直观、易懂等优点，尤其便于描述并发和冲突。Petri 网不仅可以对系统的结构、关系等进行较好的描述，而且可以对研究系统进行分析 and 评价。下面给出 Petri 网的有关概念。

定义 1 满足下列条件的三元组 $N = (P, T; F)$ 称为 Petri 网：

- 1) $P \cup T \neq \emptyset$;
- 2) $P \cap T = \emptyset$;
- 3) $F \subseteq P \times T \cup T \times P$;
- 4) $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = P \cup T$ 。

其中 P 的元素称为库所 (place) 或位置， T 的元素称为变迁 (transition)， F 称为流关系。 F 是一个 P 元素和 T 元素组成的有序偶的集合^[4-5]。

但是，传统的 Petri 网模型结构复杂，可重用性差，且本身没有数据概念，又无法反应系统的时序等关系。针对这些问题，通过研究者对 Petri 网不同的定义，提出了更为丰富的 Petri 网理论，如着色 Petri 网、赋时 Petri 网、面向对象 Petri 网等。下面给出面向对象 Petri 网有关概念。

定义 2 面向对象 Petri 网中对象 Ob_i 用下列 7 元组表示：

$$Ob_i = \{SP_i, AT_i, IM_i, OM_i, I_i, O_i, C_i\}$$

其中： SP_i 为对象 Ob_i 的状态库所有有限集合； AT_i 为对象 Ob_i 的活动变迁有限集合； IM_i 为对象 Ob_i 的输入信息库所的有限集合； OM_i 为对象 Ob_i 的输出信息库所的有限集合； I_i 为库所 P 到变迁 T 的输出映射； O_i 为变迁 T 到库所 P 的输出映射； C_i 为对象 Ob_i 相关元素的色彩集合。

面向对象 Petri 网模型示意图如图 2^[6]所示。

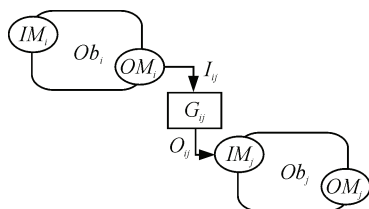


图 2 面向对象 Petri 网模型示意图

2 基于 UML-OPN 方法建模思路

UML-OPN 建模方法的基本思路就是根据建模系统的特点，选择运用 UML 的图形元素对系统进

行分析、描述，且对该模型进行静态分析和验证，而后再将 UML 的模型描述映射称为系统的 Petri 网模型。然后，依托 Petri 网的分析工具对该模型进行动态分析和验证，将结果再反馈给 UML 模型，进行修正。这样反复的“映射和修正”，不断完善系统的建模模型。根据这个思路，笔者给出装甲装备的维修保障系统的模型图解，如图 3^[7-8]所示。

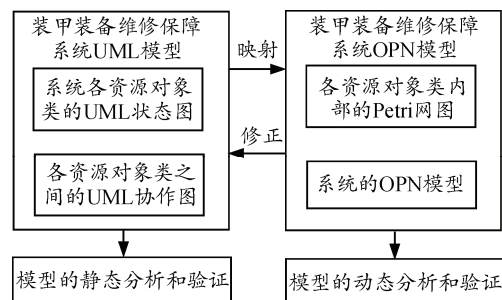


图 3 装甲装备维修保障系统 UML-OPN 建模思路

基于 UML-OPN 的建模方法的重点在于 UML 模型到 OPN 模型的映射算法。在装甲装备维修保障系统建模中，具体地讲，是根据映射关系，将系统的 UML 模型的状态图和协作图转化得到其面向对象的 Petri 网模型。在此映射过程中，分为 2 步进行：

第 1 步：将系统各资源对象类的 UML 状态图转化为各资源对象类内部的 Petri 网图，步骤如图 4。

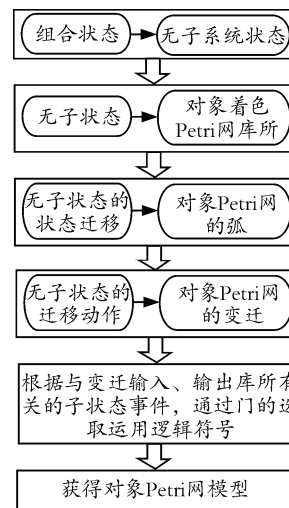


图 4 UML 状态图转化为 Petri 网

第 2 步：根据各对象之间的关系，将各资源对象类之间的 UML 协作图转化为系统的 OPN 模型，步骤如图 5 所示。

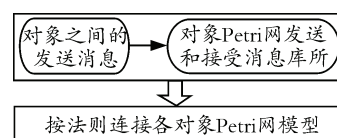


图 5 UML 协作图转化为 OPN 模型

3 装甲装备维修保障系统 UML-OPN 模型

维修保障系统是将维修保障人员、维修保障物资、维修保障信息以及组织机构和规章制度等要素进行综合和优化所构成的总体。它的功能就是完成维修保障任务，即根据训练使用任务要求，在内部因素和外部环境的影响下，将待修装备转变为技术状态符合规定要求的装备。维修保障系统的组成和功能示意图如图 6^[9]所示。

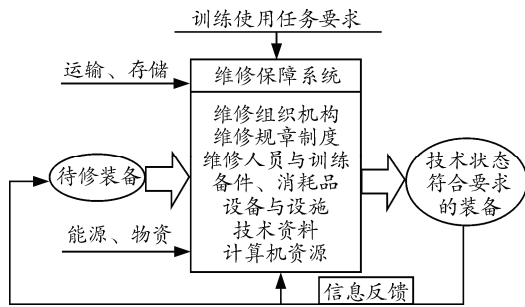


图 6 维修保障系统的组成和功能

3.1 装甲装备维修保障系统的 UML 模型

根据我军装甲装备保障管理机构层次结构可知，目前，装甲装备实行三级维修作业体制，即基层级、中继级和基地级。在各级装甲装备保障管理机构中，除维修机构外，并配有相应装甲器材仓库。根据上述建模思路，笔者将装甲装备维修保障系统主要分为 1 个装备机关，1 个装备使用单位，3 个级

别的装甲装备维修子系统和 3 个备件仓库子系统，总共 4 类资源和 8 个对象。由于篇幅有限，本节仅以基层级修理机构对象类为例，给出其状态图，并给出整个系统的协作图。

基层级修理机构对象类的维修工作状态主要有以下几个方面：1) 运用检测设备对损坏装备进行故障检测与定位；2) 对受损部位进行拆卸与分解；3) 根据故障部件报废与否，选择对其进行换件修理或原件修理；4) 修理完毕后，进行部件的装配调试工作；5) 交付修竣装备^[10]。该对象类的 UML 状态图如图 7 所示。

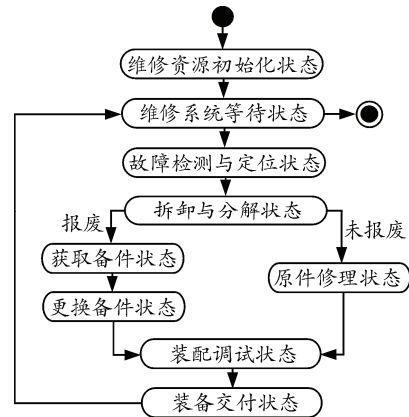


图 7 基层级修理机构对象类的状态

在各对象类建模的基础上，建立了装甲装备维修保障系统的 UML 协作图模型，如图 8 所示。

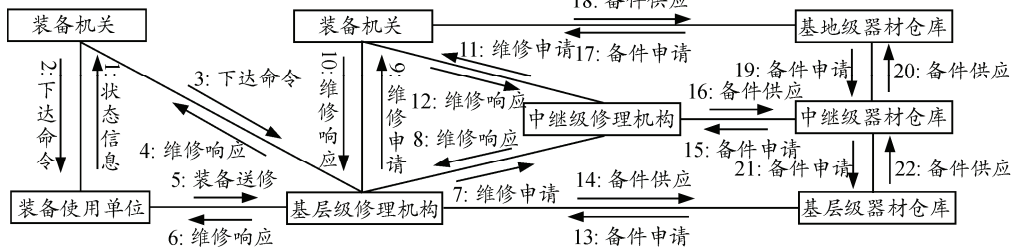


图 8 装甲装备维修保障系统 UML 模型的协作

3.2 装甲装备维修保障系统的 OPN 模型

根据上一节介绍的基于 UML-OPN 建模方法的第一步，可以得到基层级修理机构对象类的 Petri 网模型，如图 9 所示，库所、变迁说明见表 1。

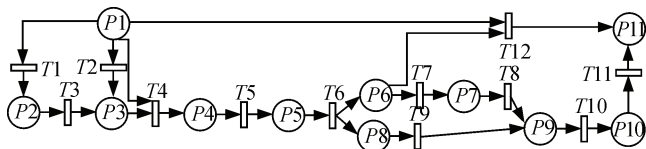


图 9 基层级修理机构对象类的 Petri 网模型

$C(P1) = \{E_k, k = 1 \sim 9\}$ ， E_1 为仿真初始化事件， E_2 为仿真运行事件， E_3 为仿真暂停事件， E_4 为仿真终止事件， E_5 为待修装备事件；

表 1 基层级修理机构对象类的 Petri 网库所、变迁

库所	状态	变迁	事件
P1	输入事件库所	T1	接收到初始化事件
P2	初始化状态库所	T2	接收到控制指令事件
P3	维修系统等待状态	T3	初始化完毕
P4	故障检测与定位状态	T4	开始工作
P5	拆卸与分解状态	T5	故障检测与定位完毕
P6	获取备件状态	T6	拆卸与分解完毕
P7	更换备件状态	T7	备件获取完毕
P8	原件修理状态	T8	更换备件完毕
P9	装配调试状态	T9	原件修理完毕
P10	装备交付状态	T10	装配调试完毕
P11	输出事件库所	T11	装备交付完毕
		T12	提交备件申请信息

$$C(T2) = \{E_k, k = 2 \sim 4\};$$

$C(P3) = \{(E_k, R), k = 2 \sim 4\}$ ， R 为系统处于空闲可用状态；

$C(T6) = \{H_k, k=1 \sim 2\}$, H_1 受损部件报废事件, H_2 受损部件未报废事件;

$C(P6) = \{Q_k, k=1 \sim 2\}$, Q_1 备件充足事件, Q_2 为备件缺少事件;

$C(P11) = \{O_k, k=1 \sim 2\}$, O_1 为装备完好状态事件, O_2 为备件申请状态事件。

基层级修理机构对象类 Petri 网模型的运行过程为:

当库所 P1 中有托肯 E_1 时, 变迁 T1 由 E_1 触发转移到 P2 中, 尔后触发变迁 T3 转移到 P3 中构成

托肯 R; 当库所 P1 中有 E_2 、 E_3 或 E_4 时, 托肯触发 T2 并转入 P3 中构成相应托肯; 当库所 P1 中有托肯 E_5 且库所 P3 中有托肯 (E_2, R) 时, 触发 T4, 开始工作; 当变迁 T6 触发且有托肯 H_1 时, 构成库所 P6 发生, 并且 P6 中有托肯 Q_1 时, 则触发 T7 直至库所 P11 中状态 O_1 ; 当 P1 中 E_4 并且 P6 中有托肯 Q_2 时, 仿真终止, 构成 P11 中 O_2 ; 当变迁 T6 触发且有托肯 H_2 时, 构成库所 P8 发生, 直至库所 P11 中状态 O_1 。

根据基于 UML-OPN 建模方法的第 2 步, 可以得到装甲装备维修保障系统的 OPN 模型, 如图 10。

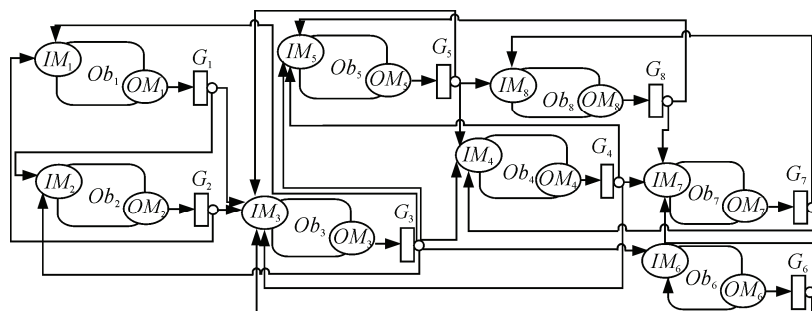


图 10 装甲装备维修保障系统的 OPN 模型

图中 IM_i 和 OM_i 分别是系统的第 i 个对象类 Ob_i 的输入事件库所和输出事件库所, G_i 表示系统中对象 Petri 网模型之间的连接关系, 其中输入库所包括送修装备、维修响应、备件供应等, 输出库所包括送修装备、维修申请、备件申请等。

该系统 OPN 模型的运行过程为: 装甲装备维修保障系统的对象类 Petri 网模型 Ob_1 的输出库所 OM_1 中的托肯激发门变迁 G_1 后使得 IM_2 或 IM_3 发生; Ob_2 的输出库所 OM_2 中的托肯激发门变迁 G_2 后使得 IM_1 或 IM_3 发生; Ob_3 的输出库所 OM_3 中的托肯激发门变迁 G_3 后使得 IM_1 、 IM_2 、 IM_4 、 IM_5 或 IM_6 发生; Ob_4 的输出库所 OM_4 中的托肯激发门变迁 G_4 后使得 IM_3 、 IM_5 或 IM_7 发生; Ob_5 的输出库所 OM_5 中的托肯激发门变迁 G_5 后使得 IM_3 、 IM_4 或 IM_8 发生; Ob_6 的输出库所 OM_6 中的托肯激发门变迁 G_6 后使得 IM_3 或 IM_7 发生; Ob_7 的输出库所 OM_7 中的托肯激发门变迁 G_7 后使得 IM_4 、 IM_6 或 IM_8 发生; Ob_8 的输出库所 OM_8 中的托肯激发门变迁 G_8 后使得 IM_5 或 IM_7 发生。在对系统 OPN 模型动态分析和验证的基础上, 对系统 UML 模型进行修正, 直至满意为止。

4 结束语

笔者基于 UML 模型和面向对象 Petri 网理论的互补性, 将二者结合, 并合理地应用到装甲装备维

修保障系统的模型建立中。通过将系统分为静态和动态行为进行分析描述, 极大地降低了系统模型的复杂度, 使其更清晰、易懂, 且具有良好的可重用性和可扩展性。但此模型还不足以完整地反映系统的能力, 下一步将深入研究能否添加系统参数, 依托软件等工具仿真, 获得系统指标值, 从而为系统优化等问题提供依据。

参考文献:

- [1] 玄克诚, 于洪敏, 于同刚, 等. 新装备保障能力建设评估指标体系研究[J]. 兵工自动化, 2008, 27(12): 22-23.
- [2] 张耀辉, 张仕新, 刘颖. 装备维修工程[M]. 北京: 装甲兵工程学院, 2003: 2-3.
- [3] 吴建, 郑潮, 汪杰. UML 基础与 Rose 建模案例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007: 3-7.
- [4] 吴哲辉. Petri 网导论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 1-6.
- [5] 袁崇义. Petri 网原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 2-10.
- [6] 顾妍午, 王遵彤, 吴启迪. 面向对象 Petri 网技术在系统建模中的应用[J]. 同济大学学报, 2010, 38(3): 437-441.
- [7] 齐胜利, 武昌, 赵晓明, 等. UML-OPN 的建模方法及其在通信装备维修保障系统中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2006(10): 50-56.
- [8] 张德育, 刘治国, 贾艳宇. 基于 UML 和 OPN 的通信系统建模技术[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(4): 65-67.
- [9] 吕会强. 战时装甲装备维修保障系统建模研究[D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2004.
- [10] 杜海东. 基于仿真的装甲机械化部队维修保障能力评估方法研究[D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2011.