

文章编号:1000-6788(2006)01-0136-05

基于UML和Petri网的武器装备体系需求分析方法

沈如松¹,张育林²

(1. 海军航空工程学院一系,山东烟台264001;2. 东风航天中心,甘肃兰州732750)

摘要: 将武器装备体系分为逻辑体系结构和物理体系结构,给出对体系进行需求分析的过程。探讨了利用UML对武器装备体系进行需求描述的方法和步骤,以海洋监视与打击体系为例,利用UML中的协作图和活动图从顶层分别描述了体系的物理体系结构和逻辑体系结构。建立了利用UML构建的体系静态结构模型到利用着色随机Petri网构建的动态运行模型之间的映射关系。针对实例建立了相应的评估模型,利用可达树分析法初步分析了体系的一些逻辑性能。在构建体系结构模型和评估模型的过程中,各模型间既有延续性,又从不同角度反映了体系结构的不同方面,既可保证需求描述和分析模型的一致性,又可比较全面地分析装备体系结构。

关键词: 武器装备;体系结构;需求分析;UML;Petri网

中图分类号: E917;TP391.9

文献标识码: A

Method of Analyzing Requirements of Weapon Equipment Architecture Based on UML and Petri Net

SHEN Ru-song¹, ZHANG Yu-lin²

(1. Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China; 2. Dongfeng Space Center, Lanzhou 732750, China)

Abstract: According to its characteristics, weapon equipment architecture was divided into logical architecture and physical architecture. The process of analyzing requirements of the architecture was given. The method and steps of describing weapon equipment requirements using UML were discussed. Taking ocean surveillance and hitting target architecture as example, its physical architecture and logical architecture were described by using of activity diagram and collaboration diagram in UML from top level, respectively. The mapping relations between the static architecture model built using UML and the dynamic model built using colored stochastic Petri net were presented. The evaluation model for the example was made. Some logical performances of the architecture was analyzed preliminarily using the reachable tree approach. In the process of building the architecture models and evaluation model, all models not only maintain continuity, but also reflect the different aspects of the architecture from different angles. Hence, unity between the models is guaranteed, and the architecture can also be analyzed completely.

Key words: weapon equipment; architecture; requirements analysis; unified modeling language; Petri net

1 引言

利用面向对象语言来描述需求,可以直观地被用户和设计部门理解,便于他们之间的沟通和需求的描述和修改。统一建模语言(UML)作为面向对象分析与设计中的一种标准建模工具,运用面向对象思想,统一了面向对象建模的基本概念、术语及其图形符号,提供了一些可以相互组合的图形元素,建立了易于理解、便于交流的共同语言,为使系统设计过程中所涉及的用户、系统分析人员和设计人员之间能够互相理解和达成一致提供了一种组织方式,使得建立一个可视化、规范化、结构化、文档化的面向对象的系统成为可能。UML的内容十分丰富,是一种比较好的系统分析、需求描述和建模语言,可使用户和分析人员对问题的描述达到相同的理解,减少语义差异,使分析的正确性得到保障。利用UML从多个视图来描述一个系统可减少忽略某些需求的可能性。同时,面向对象的特点决定了采用这种方法描述体系,方便根据不同的

收稿日期:2004-09-23

资助项目:“十五”国防预研基金项目(413200102)

作者简介:沈如松(1971-),男,山东临沂人,讲师,博士研究生,研究方向为航天装备体系作战效能评估;张育林(1958-),男,陕西千阳人,教授,博士生导师,主任,博士,研究方向:飞行器系统。

需求扩展体系内容、确定模型粒度,很容易增删其中的物理实体或装备,改变装备应用方式,从而探讨不同体系配置满足需求的情况.因此可以利用 UML 描述武器装备体系结构,作为对武器装备体系进行需求分析的工具之一.

由于 UML 描述一个系统要做什么,而并不告诉我们系统是如何被实施的^[1].虽然协作图、活动图和顺序图可以描述系统的行为特性,但它是不可执行的,只是对动态行为的静态描述.因此为进一步确定对各系统的需求情况,还需结合其它评估模型对体系进行评估,其中 UML 和 Petri 网相结合是一种有前途的方法.

Petri 网在离散事件动态系统中是一种逻辑层次的建模方法,很适于描述并行和异步发生的事件,能较好地描述系统的功能、系统的结构、系统的动态行为、系统各部分之间及其与环境之间的交互作用,表示系统中的并行、同步、冲突及因果依赖等关系,并以网图的形式,简洁、直观地模拟离散事件动态系统,分析系统的动态特性^[2].它能在各种抽象级别上描述系统,具有比较完善的结构分析技术,可以分析系统的有界性、活性、可达性、冲突、死锁等结构性质.

本文给出了武器装备体系需求分析过程,从顶层角度探讨了利用 UML 进行武器装备体系需求描述的方法和步骤.建立了从 UML 所描述的静态体系结构到利用 Petri 网所建立的动态运行模型之间的关系.对海上目标指示与打击想定下的航天装备体系进行了需求描述,定义了着色随机 Petri 网,并利用它建立了相应的动态运行模型,对航天装备体系结构的一些逻辑性能进行了初步分析.

2 武器装备体系需求分析过程

一个基本的需求分析过程如图 1 所示.首先根据作战任务拟定作战想定,通过分析作战想定,确定为完成任务所涉及的武器装备体系结构.为了完整描述一个装备体系,需要从多个视角,从不同侧面来描述.一个完整的作战过程是信息流和物质流在武器装备体系中的动态流动变化过程.完整的装备体系是由若干相关的装备互相联系互相制约而构成的一个整体.因此,可将武器装备体系结构分为物理体系结构和逻辑体系结构.物理体系结构是对构成系统的物理实体及其连通性的表述.逻辑体系结构是对构成武器装备体系的各组成部分的逻辑行为及各组成部分间的逻辑关系的描述^[3].由于从不同角度描述了体系结构的不同侧面,还需要进行一致性检验.这种需求描述虽然描述了一些体系结构的动态行为,但只是反映了武器装备体系的静态结构,还需可执行的评估

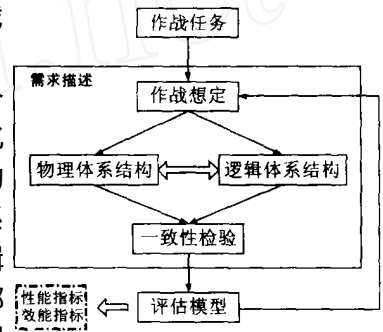


图 1 需求分析过程

模型反映武器装备体系各单元的动态关系,对所描述的需求进行评估和分析,获取对装备体系性能和效能的评估,并通过迭代得到满足需求的武器装备体系结构.这种评估同时也可以验证需求描述的完整性和充分性.

3 基于 UML 的装备体系需求描述

3.1 需求描述方法和步骤

1) 提出作战想定和总体需求

这是根据未来可能面临的形势和作战任务,提出为应对这种形势和完成预定任务应采取的作战样式和具体想定,描述如何达成预定目标,并据此确定对武器装备体系的总体需求,作为需求描述的基础.

2) 建立用例模型,确定关键物理实体和系统边界

由于在实际中用户知道的常常比他们能清楚表达的要多,采用用例模型有助于用户和系统分析人员理解体系的预期行为,确认装备体系所涉及的关键物理实体及系统边界.用例模型由参与者和用例图组成.参与者用直立人形图标表示,代表体系所涉及的物理实体.用例图用椭圆形表示,代表体系所涉及的关键行为.

3) 构造所需的物理实体

在用例模型的基础上,以面向对象概念中的类来构造所需的物理实体并进行分组.所构造的类包含物

理实体的名称、描述物理实体的属性(关键性能指标)以及物理实体的功能. 根据与其它物理实体的关系确定这些属性和功能是私有、受保护或公有的, 分别用 -, #, + 来表示, 体现了与其它物理实体的接口关系. 可以利用从属、继承和多重性等概念对所构建的物理实体进行聚合分组.

4) 利用协作图建立物理体系结构模型

协作图用来表示各物理实体之间的关联和它们之间的消息传递. 关联附近的箭头线表示实体之间传递的消息, 箭头指向消息接收对象. 消息和消息序号附在箭头线附近. 消息序号表示消息触发的顺序.

5) 利用活动图或顺序图建立逻辑体系结构模型

活动图用来描述作战过程及涉及的活动, 表示各物理实体的状态变化及相互关系, 反映了各物理实体的逻辑关系. 活动用圆角矩形表示, 活动图中的起点用实心圆表示, 终点用公牛眼形的图标表示. 顺序图和活动图是等价的^[1], 但二者的侧重点不同, 顺序图着重体现各实体之间活动发生和消息传递的时间顺序.

6) 进行一致性检验

由于采用多个视图从不同角度描述对装备体系的需求, 并且随着需求描述的深化, 可能会对需求进行修改、扩充和完善, 这会造成模型之间不一致. 因此应对开发的各个模型进行一致性检验, 以保证各模型之间协调一致.

3.2 需求描述实例

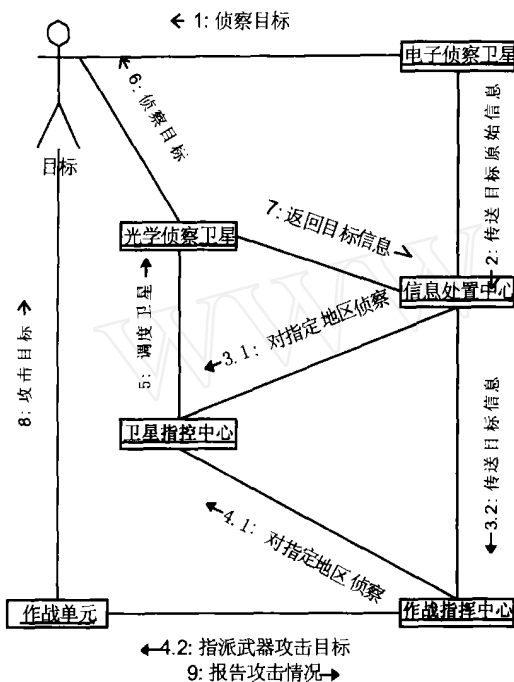


图2 描述物理体系结构的协作图

下面以海上目标指示和打击想定下的航天装备体系为例给出需求描述的具体实例. 由于篇幅所限, 本文只给出所构建的与建立评估模型紧密相关的物理体系结构模型和逻辑体系结构模型, 完整的需求描述过程已另文给出.

图2为利用协作图所建立的物理体系结构模型. 协作图用来表示组成体系的物理实体及各物理实体之间的相互关系. 各物理实体间关系的内涵以消息来表示. 消息前面的序号表示消息触发的顺序. 两条线箭头的表示简单消息, 表示从一个对象到另一个对象的控制流的转移; 实心箭头表示同步消息, 表示如果一个对象发送了一个同步消息, 那么它要等待对方对消息的应答, 收到应答后才能继续自己的操作; 半边箭头为异步消息, 表示发送异步消息的对象不需要等待对方的应答便可以继续自己的操作^[1].

图3为利用活动图所建立的逻辑体系结构. 活动图描述构成海洋监视、目标指示和打击体系的逻辑关系. 图中的菱形表示条件关系.

对比图2可以发现, 协作图侧重于表现物理实体及其相互关系(通过消息), 活动图侧重于表现为完成作战任务所需的作战想定, 展现各物理实体在作战过程中的状态变化和互动关系.

4 评估模型的构建

4.1 CSPN的定义

定义 着色随机 Petri 网定义为七元组 $(P, T, C, A, R, \cdot, M_0)$, 其中:

- 1) P 为位置集合, T 为变迁集合, 且 $P \cap T = \emptyset, P \cap T = \emptyset$;
- 2) C 为颜色集合, $C = \{C(p) | p \in P\}$, 定义了每个位置中令牌的数量和属性;
- 3) A 为有向弧集合, $A \subseteq P \times T \cup T \times P$, 反映位置和变迁节点间的关系;
- 4) R 为引发规则集合, $R = \{R(t) | t \in T\}$, 定义了每个变迁的引发条件;
- 5) μ 为变迁平均实施速率集合, $\mu = \{\mu(t) | t \in T\}$, 表示在可实施的情况下单位时间内平均实施次数, 其倒数为变迁的平均实施延时或平均服务时间^[4], 有实际的物理意义;

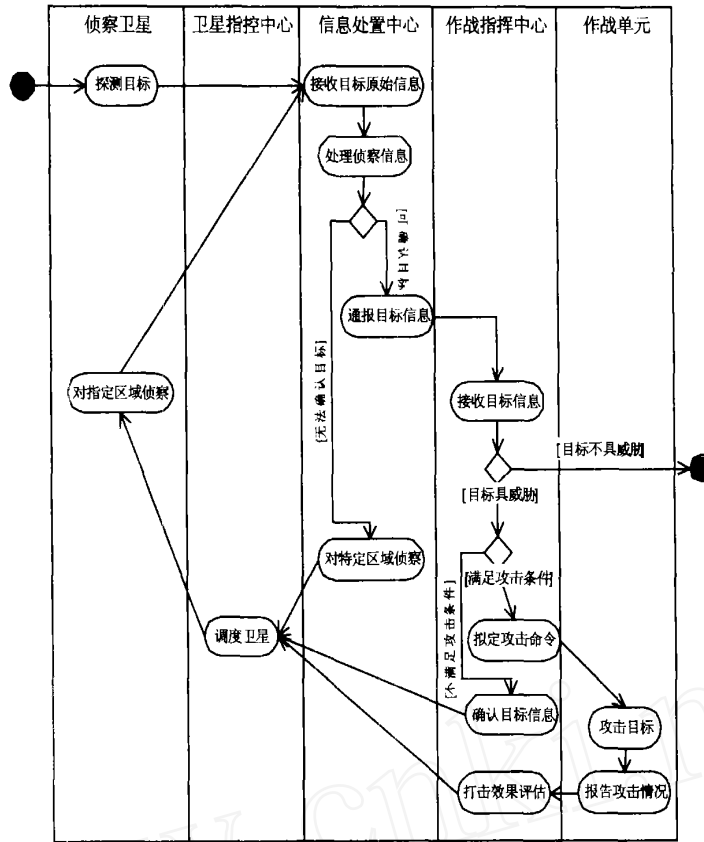


图 3 描述逻辑体系结构的活动图

6) M_0 为初始标识,反映初始令牌在网的位置中的分布情况,定义系统初始状态.

4.2 UML 模型与 CSPN 模型的映射关系

1) 位置的确定

对同类对象进行聚合,在此基础上参照活动图,将对象映射成位置.

2) 变迁的确定

将协作图中对象之间的关联映射成变迁,变迁的含义由消息确定.

3) 有向弧的确定

位置和变迁间的连接(有向弧)由活动图确定.

4) 令牌属性的确定

同类对象在同一位置中以不同颜色区别标示,令牌属性根据对象的属性确定.

5) 引发规则和初始标识的确定

引发规则及变迁延迟时间由类图所提供的对象的属性和操作确定,初始标识根据作战想定和设想的初始敌我态势确定.

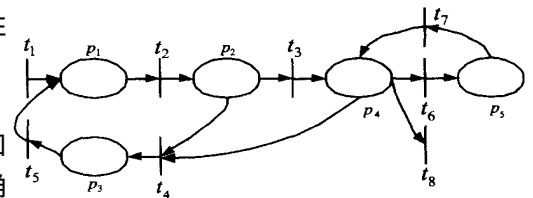


图 4 航天装备体系评估模型

图 4 为依据利用 UML 描述的物理体系结构和逻辑体系结构所建立的航天装备体系评估模型.

位置 p_4 、 p_5 、 p_1 中令牌的颜色集分别为 $C(p_4) = \{ \text{目标无威胁, 确认目标, 发射弹道导弹攻击, 发射巡航导弹攻击} \}$, $C(p_5) = \{ \text{弹道导弹, 巡航导弹} \}$, $C(p_1) = \{ \text{海洋监视卫星, 光学侦察卫星} \}$.

由于是立足于从顶层对体系的需求进行分析,可将同一位置中不同颜色的令牌作为同一类对象看待,因此可以利用可达树分析法对体系的逻辑特性进行分析.利用可达树分析法可得在给定初始标识下的可达标识集如表 2 所示.

表1 各位置和变迁的含义及各变迁延迟时间

位置	变迁	变迁平均延迟时间
P_1 : 侦察卫星	t_1 : 侦察目标	由有关侦察卫星组成的卫星网的平均响应时间
P_2 : 信息处置中心	t_2 : 传送原始信息	信息下传延迟时间
P_3 : 卫星指控中心	t_3 : 处理分发信息	信息处理分发延迟时间
P_4 : 作战指挥中心	t_4 : 对指定地区侦察	决策和发送请求所需平均时间
P_5 : 作战单元	t_5 : 调度卫星	卫星机动时间
	t_6 : 向作战单元发送命令	决策和发送命令所需平均时间
	t_7 : 攻击目标并报告	作战单元反应时间和攻击武器飞行时间
	t_8 : 目标不具威胁	判定时间

表2 可达标识集

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
M_0	0	0	0	0	0
M_1	1	0	0	0	0
M_2	0	1	0	0	0
M_3	0	0	0	1	0
M_4	0	0	0	0	1
M_5	0	0	1	0	0

由可达标识集可得以下结论:可达标识集为有限的,因此所构造的 Petri 网是有界的,也就意味着此体系结构不致引起信息阻塞;从分析过程中可知在给定初始标识下任何变迁都可以引发,即所构造的 Petri 网中不存在死锁;变迁 t_3 和 t_4 及变迁 t_4 、 t_6 和 t_8 会产生冲突,这需要由决策来决定引发,体现了人在作战回路中的作用;从侦察目标到完成攻击目标的最短引发顺序为 $M_0[t_1 M_1[t_2 M_2[t_3 M_3[t_6 M_4[t_7 M_5[t_8 M_0$,这是完成一个攻击过程的最小支撑树,这一引发过程是影响装备体系作战效能最重要的环节。

5 结束语

将 UML 和 Petri 网相结合,方便建立装备体系结构模型和评估模型,建模方法规范、直观.利用 UML 构建的模型体现装备体系的静态结构,反映装备体系配置和组成装备体系的物理实体的逻辑关系,完整地描述了装备体系结构.通过整个描述过程,可初步确定为满足需求所需的关键系统及其相互关系,明确体系的运行模式.利用 Petri 网构建的评估模型体现了装备体系的动态特性,通过分析动态运行过程评估了装备体系配置及在作战中体系的运行模式.由于在构建装备体系结构模型和评估模型的过程中,各模型间既有延续性,又从不同侧面反映了体系结构的不同方面,因此构模过程既可保证各模型的一致性,又可比较全面地分析装备体系结构.

本文主要目的是为了探讨 UML 和 Petri 网相结合构建武器装备体系结构模型的方法,只是给出了利用 UML 进行装备体系描述方法、UML 与 Petri 网的映射关系及利用可达树分析装备体系逻辑结构的方法.为更加全面评估装备体系的性能和效能,必须综合利用 Petri 网的一些分析方法,结合装备的物理特性和作战效能模型^[2],而方便与其他模型相结合正是 Petri 网的优势.

参考文献:

- [1] Schmuller J. UML 基础、案例与应用[M]. 李虎,王美英,万里威译.北京:人民邮电出版社,2002.
Schmuller J. The Basic, Cases and Application of UML [M]. Translated by Li Hu and Wan Liwei. Beijing: Posts & Telecommunications Press, 2002.
- [2] 沈如松,张育林. 航天装备体系作战效能建模与仿真方法[A]. 系统仿真技术及其应用[C]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2003.
Shen Rusong, Zhang Yulin. Modeling and simulation method for operational effectiveness of space equipment architecture [A]. System Simulation Technology & Application [C]. Hefei: Science & Technology University of China Press, 2003.
- [3] Levis A H. Handbook of Systems Engineering and Management[M]. John Wiley and Sons, Inc. 1999.
- [4] 林闯. 随机 Petri 网和系统性能分析[M]. 北京:清华大学出版社,2000.
Lin Chuang. Stochastic Petri Net and System Performance Assess[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000.