

基于 OMCM 的仿真系统概念建模方法

刘 彬 米 东 杜晓明 高 鲁

(机械工程学院装备指挥与管理系 石家庄 050003)

摘 要 针对仿真系统概念模型开发中存在的模型重用性不高和缺乏管理等问题,提出了元概念模型(Meta Conceptual Model, MCM)的概念,以实现更高层次上的概念模型抽象。将本体思想引入 MCM 的设计中,提出了基于本体的元概念模型(Ontology-based MCM, OMCM)概念,并给出了 OMCM 的层次结构和建模方法。通过将 OMCM 和概念模型进行映射,实现了基于 OMCM 的概念模型建模。最后,将该方法应用于装备保障仿真系统概念模型的建模中,起到了很好的效果。

关键词 本体,元模型,概念建模,统一建模语言

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Conceptual Modeling Method of Simulation System Based on OMCM

LIU Bin MI Dong DU Xiao-ming GAO Lu

(Department of Equipment Command & Management, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract The problems of model's low reusability and lacking management are presented in the conceptual model's development of simulation system. To solve the above problems, the concept of meta conceptual model(MCM) was presented for realizing the conceptual model's abstract in the higher arrangement. The ontology conception was introduced to the MCM's designing, and the modeling method of ontology-based MCM(OMCM) was presented. The OMCM's hierarchy and modeling method were given too. By mapping the OMCM to conceptual model, the conceptual model's modeling was realized. Finally, the method was applied in the conceptual model's modeling of equipment support simulation system, and the better validation was obtained.

Keywords Ontology, Meta-model, Conceptual modeling, Unified modeling language(UML)

概念模型(Conceptual Model, CM)是对真实世界被关注成分或现象的一种描述,近似一种“认识标准”,可以促进专业人员和仿真人员之间的沟通与协作,使不同知识背景的人在概念模型的基础上进行交流,对于仿真系统的合理性和准确性起到了关键作用。目前,在概念模型开发过程中,存在着模型可重用性不高和缺乏有效管理的问题^[1],这些问题将直接影响概念模型开发的效率和仿真系统的可靠性。

为解决以上问题,提出了元概念模型(Meta Conceptual Model, MCM)的概念,即通过在更高层次对概念模型进行抽象,建立对概念模型语法和语义的描述,提高概念模型的重用性。在此基础上,本文将本体思想引入到 MCM 的设计中,提出了基于本体的元概念模型(Ontology-based MCM, OMCM)概念,并通过将 OMCM 与概念模型进行映射,实现了概念模型的建模。

1 相关概念

1.1 元概念模型

“元”意味着“超”或“基本”的意思,其本身并不单独使用,常常与其它名词例如语言、模型、数据等结合,形成“元语言”、“元模型”和“元数据”等概念^[2]。元概念模型(Meta Conceptual

Model, MCM)是对创建一个富含语义的概念模型所需要的构造元素和规则的一个精确的定义。在为某个特定领域相关的系统进行概念建模的时候,人们发现这些概念模型共享了很多共同的构造,通过抽象这些不同的模型,可以得到这些相关模型都遵循的模型,这就是所谓的元概念模型。简单地说,元概念模型就是概念模型的模型,它比概念模型的抽象程度更高。

元概念建模是指建立 MCM 的过程,其主要目标是希望找到一组很少的、一致的和简单的核心构造来捕获多级框架建模中的基本思想。借鉴 OMG 组织批准的元对象设施(Meta Object Facility, MOF)技术^[3],本文提出了 4 层的元概念模型层次结构,如表 1 所列。

表 1 元概念模型层次结构

层次	描述
元元概念模型 M3	定义了描述元概念模型的语言
元概念模型 M2	M3 的一个实例,定义描述概念模型的语言
概念模型 M1	M2 的一个实例,定义描述现实世界的语言
现实世界 M0	M1 的一个实例,对现实世界的说明

1.2 本体

本体的概念最初源于哲学领域,20 世纪后期开始被应用

到稿日期:2011-06-07 返修日期:2011-09-15 本文受国家自然科学基金项目(60904071)资助。

刘 彬(1984-),男,博士生,主要研究方向为装备保障建模与仿真,E-mail:liubin840210@163.com;米 东(1953-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为装备保障信息化、装备保障建模与仿真。

于计算机和人工智能领域^[4]。关于本体的定义,不同学者存在不同认识,但基本的认识是把本体当作关于一个主题(领域)知识的层次清晰的规范说明,其目标是获取、描述和表示相关的领域知识,提供对该领域知识的共同理解,确定该领域内共同认可的词汇,并从不同层次的形式化模式上给出这些词汇和词汇之间相互关系的明确定义。

本体描述方法是指应用某种本体表示语言来说明和描述本体,从而使人们可以更方便地创建本体。目前经常使用的本体表示语言包括 Ontolingua、Cycl、Loom、Flogic、KL-ONE、OWL 等。这些本体表示语言虽然具有丰富的表达能力且易于计算机推理,但由于采用了大量逻辑符号和复杂语法,难以被普通用户理解和掌握,因此在应用上还存在较大限制。UML(Unified Modeling Language)是目前国际上标准的面向对象建模的代表性语言和方法。利用 UML 的抽象类建模作为桥梁,使建立本体的 UML 描述框架。特别是 UML 的类图为定义领域本体中的概念以及概念之间的关系提供了丰富的图形符号,使利用面向对象方式来进行本体建模^[5]成为可能。

1.3 基于本体的元概念模型

从前面内容可知,本体是对领域概念的显式规格说明。具体来说,某个领域的本体就是关于该领域的一个公认的概念集,其中的概念含有公认的语义,这些语义通过概念之间的各种关联来体现。因此,利用本体模型建立面向语义的元概念模型,能够描述领域概念本身和概念之间的关系,是解决概念建模重用问题的一种有效方式。基于以上分析,本文认为可以将本体思想引入到元概念模型的建立中,形成基于本体的元概念模型(Ontology-based Meta Conceptual Model, OM-CM)。

传统的面向对象建模方法一般以语言学意义来理解元建模体系结构以及实例化关系,缺乏足够的语义描述能力,没有解释如何将元模型中的表示与现实世界相联系,即不提供概念建模的基本原理,从而限制了元模型间的互操作。OMCM 通过借鉴本体的概念化思想,可以建立面向语义的、可扩展的 MCM,更好地实现 MCM 的重用。同时,面向对象建模方法缺乏有效的模型检验机制,难以保证各种术语(概念)及其相互间关系的有效性与一致性,而 OMCM 可以运用本体推理机制较好地实现这一点。

2 OMCM 的建模过程

OMCM 的建模过程是指运用本体来建立 MCM 的过程。根据 OMCM 的内涵和概念,本文将 OMCM 建模的过程描述为图 1。由图可以知道,OMCM 建模过程可以分为两个阶段,即本体构建和 MCM 构建。

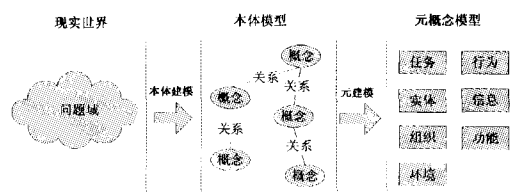


图 1 OMCM 建模过程

本体的构建过程是:从用户概念化的世界,通过本体建模的方法,加以本体化的改造,得到符合本体要求的模型。目前比较成形的本体开发模式包括 Uschold&King 方法、TOVE

方法、METHONOTOLOGY 方法等。通过分析这些方法可以看出,一个领域本体原型的构建,基本包括了领域范围界定、领域知识获取、本体元语的提取、本体的描述和本体确认这 5 个过程。

MCM 的构建过程包括 3 个步骤:MCM 基本元素的提取、本体-MCM 映射和 MCM 描述。

Step1 提取 MCM 基本元素。

MCM 基本元素是指能够反映领域本质的元概念。本文采用多视图的方法来提取相应的元概念。视图是领域模型的横向空间维,描述了领域属性或行为的不同侧面。各个不同视图集成起来,形成一个一致的整体,它们存在相互关联的关系。根据系统科学的理论,将领域系统分为组成、结构、过程、功能、信息和环境 6 个视图^[6]。从组成视图中提取出实体元概念,从结构视图中提取出组织元概念,从过程视图中提取出任务和行为元概念,从功能视图提取出功能元概念,从信息视图提取出信息元概念,从环境视图提取出环境元概念。

Step2 本体-MCM 映射。

在确定了领域的元概念后,需要对其进行描述和解释。在构建领域本体的元概念基础上,通过建立本体-MCM 映射的方式实现本体和元概念的结合。本体-MCM 映射的方式是:为每种元概念定义相应的本体元语(概念、属性、关系等),清晰地描述出这些元语之间的关系。如行为元概念与角色、行为、信息等本体元语相关,角色和行为之间是参与(Participate-In)关系,行为与信息之间是产生(Work-Out)关系。

Step3 MCM 描述。

MCM 描述是指在本体-MCM 映射的前提下,运用某种模型描述方法描述领域的每个元概念,形成相应的 MCM 描述图。由 Step1 可知,领域系统可以抽象为 7 个基本元素,这些元素分别对应相应的元概念模型,即实体 MCM、行为 MCM、任务 MCM、功能 MCM、环境 MCM、信息 MCM 和组织 MCM。我们将采用 UML 的表示方法分别描述这些 MCM。

3 MCM 到 CM 的映射

3.1 映射过程和映射规则

引入 MCM 可以增强 CM 的可重用性。MCM 和 CM 相对应,相当于软件工程中的类与对象的关系。MCM 是 CM 的纲,CM 是 MCM 的赋值。为了实现 MCM 到 CM 的转换,需要建立两者之间的映射关系。可以将其形式化描述为一个三元组,即 $M = \langle SM, TM, R \rangle$,其中 SM 表示映射的源模型,即 MCM;TM 表示映射的目标模型,即 CM;R 表示元模型和目标模型的映射规则。为了更直观地说明 MCM 到 CM 的映射,可以用图 2 来表示这个过程。

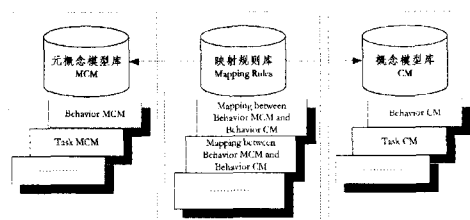


图 2 元概念模型与概念模型的映射过程

映射规则(Mapping Rules)是一套方法和规定,用于修改

一个模型,以便得到另一个模型。在 MCM 向 CM 的映射过程中,主要包括 3 类映射,即概念映射、属性映射、结构映射,因此将映射规则也分为 3 类:概念映射规则、属性映射规则和关系映射规则。

(1)概念映射规则

概念映射表示 MCM 的相关概念和 CM 中相关概念之间的映射变换。这种映射本质上是一种语义映射,需要根据概念模型的实际语义赋予其名称,如 Behavior MCM 作为一种元概念模型,可以映射为多种行为的概念模型(如机动行为概念模型、抢修概念模型等),且 MCM 中的相关概念在 CM 中也应有所体现。

(2)属性映射规则

属性是概念特征的信息集合,属性映射表示 MCM 的属性和 CM 的属性之间的映射变换。这种变换是一个语义赋值的过程,也是一个实例化的过程。通过属性映射可以使概念更明确。例如,在 Behavior MCM 中,行为所包含的属性有“标识、名称、含义、状态等”,在机动行为概念模型中,则需要对这些属性进行语义赋值。

(3)关系映射规则

MCM 是建立在各种本体概念关系之上的模型。当 MCM 向 CM 映射时,需要将概念之间的关系进行映射,且遵循一对一的映射原则。元概念内部的关系除了 UML 规定的 4 类关系外,还可以根据具体情况扩展更多的关系。在关系映射时,这些扩展的关系也应实现映射。例如,在 Behavior MCM 中,“角色”和“行为”是执行(Perform)关系,则在机动行为概念模型中,“保障分队”和“机动”也是执行关系。

3.2 MCM 与 UML 模型的映射

本文在构建 OMCM 时采用了 UML 类图的表示方法。相应地,在建立系统概念模型时,同样采用 UML 建模语言。UML 建模语言的内容可以由下列 5 类图来定义:第一类是用例(use case)图,表示从用户角度捕捉系统功能,并指出各功能的操作者;第二类是静态图(static diagram),包括类图、对象图和包图;第三类是行为图(behavior diagram),描述系统的动态模型和组成对象间的交互关系;第四类是交互图(interactive diagram),描述对象间的交互关系;第五类是实现图(implementation diagram),包含构件图和配置图^[7]。MCM 和 UML 模型的对应关系如表 2 所列。

表 2 概念模型与 UML 模型的对应关系

概念模型	UML 模型
功能概念模型	用例图、类图
任务概念模型	用例图、类图
实体概念模型	类图
组织概念模型	类图
行为概念模型	活动图
信息概念模型	类图、顺序图
环境概念模型	类图

4 实例分析

在研究装备保障仿真系统的过程中,我们开发了装备保障系统的本体模型,构建了系统的 OMCM,并在此基础上开发了仿真系统的 CM。下面描述应用的具体过程。

4.1 装备保障系统的本体构建

从知识工程的角度来说,装备保障系统的本体指的是装

备保障系统领域知识的概念化,并对领域概念进行本体知识描述。根据本体建模思想,本文重点对装备保障系统的概念和关系进行分析。

定义 1 装备保障系统的概念空间 $ESSC=\langle C,R\rangle$,其中 $C=\{c_1,c_2,\dots,c_n\}$ 为装备保障系统的概念集合; $R=\{r_1,r_2,\dots,r_n\}$ 为装备保障系统概念的关系集合,若 $i\in[1,n]$,则有 $r_i\subseteq C\times\dots\times C\rightarrow\{\text{True,False}\}$ 。

在装备保障系统本体建模过程中,用类(class)表示装备保障系统中相关概念的归属集合。主要的概念包括环境(Environment)、组织(Organization)、实体(Entity)、规则(Rule)、过程(Process)、功能(Function)、事件(Event)、资源(Resource)、信息(Information)、任务(Task)、行为(Behavior)、目标(Goal)、角色(Character)。每个概念都包含了相应的属性,用类图表示。由于篇幅限制,在此不对每个概念进行详细描述。

在描述装备保障系统的元关系时,除了 UML 中的关联(Association)、聚合(Aggregation)、泛化(Generalization)和依赖(Dependency)关系之外,我们还根据所描述领域的特点,构造出了触发(Trigger)、隶属于(Belong-To)、执行(Perform)等关系,具体说明如表 3 所列。

表 3 装备保障系统元关系描述

关系名称	关系描述
触发(Trigger)	表示事件和将要执行的结果之间的关系
隶属于(Belong-To)	表示实体之间或实体与组织之间的关系
以...为目的(Aim-To)	表示行为和目的的关系
执行(Perform)	表示某个组织或实体执行某种任务或行为
参与(Participate-In)	表示角色与任务或行为的关系
遵守(Abide)	表示某实体遵守某种规则
约束(Constrain)	表示规则约束任务的执行或目标的实现
拥有(Own)	表示实体或组织与角色的关系
负责(Respond)	表示人员和组织的关系
扮演(Play)	表示实体与某种角色的关系
产生(Work-Out)	表示任务与事件,行为与信息的关系
改变(Change)	表示任务的执行将改变实体的状态
分解(Part-of)	表示实体之间、任务与行为之间的关系
影响(Affect)	表示两个目标之间可能存在的关系
存在于(Present-In)	表示实体或组织与环境的关系
决定(Decide)	表示功能和任务或行为的关系

4.2 装备保障仿真的 MCM 构建

根据 OMCM 方法,得到装备保障仿真 MCM 如下:实体元概念模型(Entity MCM)、行为元概念模型(Behavior MCM)、组织元概念模型(Organization MCM)、信息元概念模型(Information MCM)、功能元概念模型(Function MCM)、任务元概念模型(Task MCM)、环境元概念模型(Environment MCM)等。其总体描述如图 3 所示。

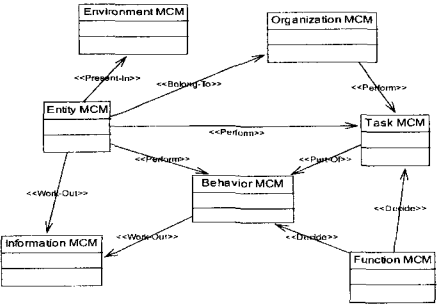


图 3 装备保障仿真 MCM 总体描述

由于篇幅限制,本文仅对 Behavior MCM 进行描述。实体能够执行某种行为,说明其具有相应的功能。某种行为往往不是孤立地被执行的,而是从属于一定的任务。在行为的执行过程中,往往受到行为规则的约束,其结果可能产生一些信息。因此,与行为相关联的概念还包括功能、任务、规则、事件、信息。Behavior MCM 描述如图 4 所示。

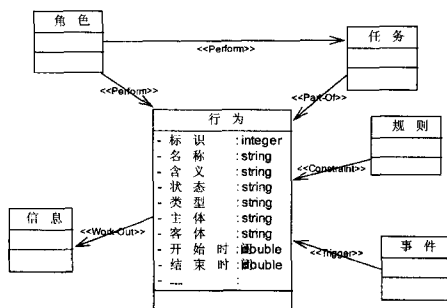


图 4 基于本体的 Behavior MCM 描述

4.3 装备保障仿真的 CM 构建

在建立装备保障系统的 OMCM 后,需要实现 OMCM 到概念模型的映射。本文以机动行为模型的构建为例,描述 Behavior MCM 向机动行为概念模型映射的过程。

在 UML 中,UML 活动图是 UML 用于对系统的动态行为建模的图形工具之一,描述了从活动到活动的流。其建模技术思想主要来源于事件图、SDL 状态建模技术和 Petri-Net 技术,非常适合于描述工作流和并发处理行为。UML 活动图的主要元素包括初始节点(Initial Node)、结束节点(Final Node)、活动(Activity)、动作(Action)、泳道(Swimlane)、对象节点(Object Node)、注释(Note)、控制流(Control Flow)、对象流(Object Flow)、分叉或结合(Fork/Join)、分支或合并(Branch/Merge)。

为了实现 Behavior MCM 向行为 CM 的映射,需要将 Behavior MCM 中的元素与 UML 活动图的基本元素进行关联。由图 4 可知,Behavior MCM 的元素包括行为、角色、任务、规则、事件和信息。其中,行为对应活动图中的动作;角色对应活动图中的泳道,每一个被泳道分开的部分表示不同的角色;任务可以认为是一种复杂的行为,因此也可以用活动图中的动作描述;规则是对行为逻辑的规范和约束,在 UML 活动图中,主要通过控制流、对象流、分叉或结合、分支或合并来描述;事件是驱动行为执行的激励,在活动图中用标有触发事件名的边表示;信息表达了实施行为过程中的交互情况,在活动图中用注释来表示。

本文以 Behavior MCM 向机动行为 CM 映射为例,用 UML

活动图来描述保障分队机动行为模型,其过程如图 5 所示。

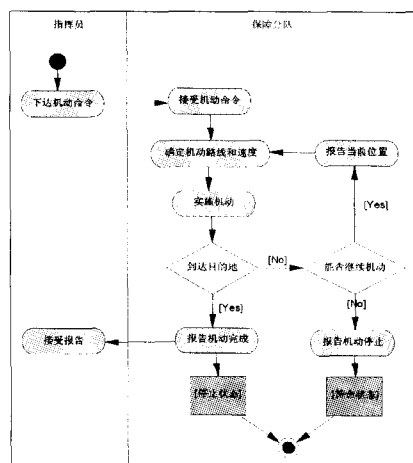


图 5 装备保障机动行为流程图

结束语 本文针对概念模型开发中存在的问题,引入本体思想和元建模思想,提出了基于本体的元概念模型(OM-CM)的概念。通过将 OMCM 和概念模型进行映射,实现了概念模型的建模,体现了良好的重用性。通过将基于 OMCM 的概念建模方法应用于装备保障仿真系统概念模型的构建,证实了本方法的可行性和有效性。

参考文献

- [1] Balci O, Arthur J D, Nance R E. Accomplishing Reuse with a Simulation Conceptual Model[C] // Mason S J, Hill R R, Mönch L, et al., eds. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference. Miami, FL: IEEE, 2008: 959-965
- [2] 何克清, 何扬帆, 王翀, 等. 本体元建模理论与方法及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008
- [3] Heaton L. OMG Meta Object Facility(MOF) 1. 4 Specification [EB/OL]. <http://www.omg.org/mda/specs.htm>, 2010-03-05
- [4] Guarino N, Giaretta P. Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification[C] // Mars I, ed. Towards very Large Knowledge Bases-Knowledge Building and Knowledge Sharing. N J: IOS Press, 1995: 25-32
- [5] Evermann J. A UML and OWL description of Bunge's upper-level ontology model [J]. Software and Systems Modeling, 2009, 8(2): 235-249
- [6] 苗东升. 系统科学大学讲稿[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2007
- [7] 国刚, 周峰, 孙更新. UML 与 Rational Rose2003 软件工程统一原理与实践教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007

(上接第 101 页)

- [2] Wang Y, Wang C X. Modeling The Effects of Timing Parameters on Virus Propagation [A] // Proceedings of the ACM CCS Workshop on Rapid Malcode(WORM 2003) [C]. Washington D C: ACM Press, 2003: 61-66
- [3] Dantu R, Cangussu J, Yelimeli A. Dynamic control of worm propagation[J]. Information Technology, 2004, 1(3): 419-423
- [4] 文伟平, 卿斯汉, 蒋建春, 等. 网络蠕虫研究与进展[J]. 软件学报, 2004, 15(8): 1208-1219
- [5] Zhou L, Zhang L, McSherry F. A first look at peer-to-peer worms: Threats and defenses[A] // Proceedings of 4th Interna-

tional Workshop on Peer-to-Peer Systems(IPTPS) [C]. 2005: 24-35

- [6] 徐延贵, 钱焕延, 李华峰. IPv6 网络中的路由蠕虫传播模型[J]. 计算机应用研究, 2009: 3920
- [7] 张殿旭, 彭军, 何虹. Internet 蠕虫传播模型研究[J]. 网络通讯与安全, 2007: 1244-1246
- [8] 张新宇, 卿斯汉, 李琦, 等. 一种基于本地网络的蠕虫协同检测方法[J]. Journal of Software, 2007: 412-421
- [9] 赵广松, 张涛. 基于蠕虫传播特性的蠕虫检测系统设计[J]. Computer Security, 2009: 114-118