

装备保障仿真概念模型的语义验证方法研究

顾 闯^{1,2} 刘 彬² 张 星² 田书超² 王桂起²

(中国人民解放军 73902 部队 南京 210000)¹ (军械工程学院装备指挥与管理系 石家庄 050003)²

摘 要 概念模型验证是保证概念模型正确、可信的重要手段。针对现有概念模型形式化验证方法复杂、繁琐,非形式化验证方法的主观性较强、可信性不高等问题,采用本体理论和语义网技术,提出了一种基于本体与规则推理的装备保障仿真概念模型语义验证方法。该方法的思路是:首先将 UML 描述的概念模型转化为本体描述语言 OWL 描述的概念模型;然后根据领域知识构建验证规则,并运用语义网规则描述语言 SWRL 描述验证规则;最后将模型和规则转换为 Jess 规则引擎识别的数据格式,输入到 Jess 规则引擎中进行模型与规则的语义推理,检查概念模型是否符合验证规则。实例表明,该方法使用验证规则和语义推理机替代领域专家在计算机上自动对概念模型的语义内容进行验证,提高了验证效率,减少了专家验证的主观性和不确定性,降低了形式化验证方法的复杂性。

关键词 装备保障仿真,概念模型,语义验证,本体,规则推理

中图法分类号 TP391.9 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.09.003

Research on Semantic Validation Methods of Equipment Support Simulation Conceptual Model

GU Chuang^{1,2} LIU Bin² ZHANG Xing² TIAN Shu-chao² WANG Gui-qi²

(Troops 73902 PLA, Nanjing 210000, China)¹

(Department of Equipment Command&Management, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)²

Abstract Conceptual model validation is an important measure to guarantee its correctness and creditability. Aimed at the complexity of conceptual model formal validation methods and subjectivity of conceptual model informal validation methods, a conceptual model semantic validation method based on ontology and rule reasoning was advanced by using ontology and semantic Web technology. The method contains four steps. Firstly, conceptual models described by UML are translated into models described by OWL. Secondly, validation rules are constructed based on domain knowledge and described by semantic Web rule language. Thirdly, the model and rules are transformed into the data format recognized by Jess rule engine. Fourthly, the model is compared with the rules to check whether the model accords with validation rules. At last, an example was used to show that the method reduces the complexity of the formalized validation methods, decreases subjectivity and uncertainty of informal validation methods and improves the efficiency of conceptual model validation by replacing domain experts with validation rules and semantic reasoning machine to validate the semantic content of conceptual models automatically in the computer.

Keywords Equipment support simulation, Conceptual model, Semantic validation, Ontology, Rule reasoning

1 引言

装备保障仿真概念模型是对装备保障领域知识的第一次抽象,是开发装备保障仿真系统的基础。唯有正确、完整、一致的概念模型才能准确、全面地反映真实的装备保障系统,才能尽量减少仿真设计和实现阶段犯错误的可能性,实现可信度高的仿真,所以必须在将概念模型开发为仿真模型之前对其进行验证。

目前概念模型的验证方法主要有非形式化方法、静态方法、动态方法和形式化方法。非形式化方法^[1]和静态方法^[2]简单易行、成本较低,但存在着主观性强、可信性低、对概念模

型动态部分难以适用等问题。动态方法^[3-5]可以对概念模型的一些动态特性进行验证,但其验证过程较复杂繁琐,验证工作量较大,实用性较低。形式化方法^[6-8]是一类较精确、严格的验证方法,但其对模型描述的形式化要求高,还难以应用于实际工程。

随着本体理论在概念模型建模应用研究中的不断深入,海军航空工程学院的齐玉东和杨斌提出将本体理论应用到概念模型验证中^[9],并针对军事概念模型中各种要素之间的部分-整体关系的表示和验证,提出使用描述逻辑对其进行形式表示,然后基于 RBox 兼容性检查方法对各种关系的正确性进行检查^[10]。国防科技大学的唐见兵提出针对采用领

到稿日期:2013-11-05 返修日期:2014-04-08 本文受国家自然科学基金项目(60904071)资助。

顾 闯(1984—),男,博士生,主要研究方向为装备保障建模与仿真 VV&A, E-mail: guchuang2009chuang@163.com; 刘 彬(1984—),男,博士,讲师,主要研究方向为装备保障建模与仿真; 张 星(1985—),男,硕士,主要研究方向为装备保障建模与仿真; 田书超(1982—),男,硕士,主要研究方向为装备保障建模与仿真; 王桂起(1983—),男,硕士,主要研究方向为装备保障建模与仿真。

域本体描述的作战仿真需求的验证,可以采用基于领域本体检验的方法进行校核,从语法、语义和语用3方面检查每一项需求是否满足领域本体中的公理集合^[11]。解放军理工大学的王智学针对UML描述的C4ISR能力需求模型验证问题,提出将其转换成OWL DL描述的本体模型,然后利用本体查询语言nRQL定义模型检验规则,然后在RacerPorter环境下采用自动推理引擎Racer检验模型的完整性和一致性^[12]。国防科学技术大学的刘忠和钱猛针对联合作战计划编制过程中的作战行动过程验证问题,提出了基于描述逻辑的作战行动过程检验方法和基于SWRL规则的作战行动过程检验方法^[13,14],前者主要是通过建立作战行动过程的描述逻辑公理,再通过推理机进行推理,进行计划要素的分类检验、概念和属性的一致性检验,并生成推理模型;后者利用概念的实例化个体所具有的知识,建立SWRL推理规则,针对具体的联合作战行动过程实例,进行推理,生成个体断言和属性断言,即推理得到作战行动过程,并以此为据,与事先拟定的作战行动过程预案进行对比、检验,发现不一致和不兼容的问题。

针对现有概念模型验证方法的不足,本文借鉴本体理论在作战仿真需求、C4ISR系统需求、作战计划验证中的研究成果,提出一种基于本体与规则推理的装备保障仿真概念模型语义验证方法。该方法的基本思路是:将UML描述的概念模型转化为本体描述语言(Web Ontology Language, OWL)描述的概念模型,根据概念建模要求和领域知识构建验证规则,并运用语义网规则描述语言(Semantic Web Rule Language, SWRL)描述验证规则,然后在规则推理机中进行模型与规则的语义推理,通过检验模型是否符合验证规则来实现概念模型的语义验证。

2 装备保障仿真概念模型的语义验证方法设计

2.1 基本原理

装备保障仿真概念模型的语义验证方法的基本原理是:首先将自然语言、UML语言描述的概念模型转换为OWL本体语言描述的概念模型,输入到描述逻辑推理机中进行初步的推理验证,并依据领域条令条例和专家的知识经验构建模型验证规则;运用规则描述语言SWRL描述验证规则,然后将OWL语言描述的概念模型和SWRL描述的验证规则转换为本体推理机识别的数据格式,并输入到推理机中进行模型与规则的语义推理;最后根据推理引擎的反馈信息,分析判断概念模型的语义是否符合验证规则,进而实现对概念模型的语义验证。

2.2 总体框架及实施流程

该方法的总体框架如图1所示。其实施流程包括以下6个步骤:

步骤1 利用可扩展样式语言转换(eXtensible Stylesheet Language Transformation, XSLT)将UML描述的装备保障仿真概念模型转换为OWL描述的概念模型,形成计算机可读的语义概念模型知识库;

步骤2 将OWL描述的概念模型输入到描述逻辑推理机Racer中,再利用Racer的推理功能,推理出隐含知识和完整的层次结构,得到满足一致性和层次化更好的概念模型;

步骤3 领域专家根据领域知识提炼总结出概念模型验证规则,并采用SWRL语言描述验证规则;

步骤4 利用Racer推理机,结合JessTab窗口,将OWL概念模型转换为Jess规则引擎所要求的格式—Jess事实库;

步骤5 利用XSLT将SWRL描述的验证规则库转化为Jess规则引擎所要求的格式—Jess规则库;

步骤6 利用Java专家系统外壳(Java Expert Shell System, Jess)规则引擎对Jess事实库与Jess规则库进行推理,验证事实是否满足验证规则;

步骤7 依据Jess推理结果,分析判断概念模型是否存在语义问题,如果存在则找到相应的错误位置,并修改相应的装备保障仿真概念模型。

本文将对步骤1、步骤3和步骤6等关键环节展开说明。

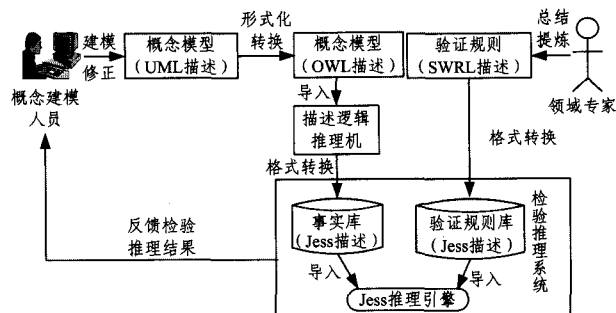


图1 仿真概念模型语义验证的总体框架

2.3 装备保障仿真概念模型的形式化转换流程

UML是用于面向对象建模的标准语言,具有表达简洁、直观等特点。然而,UML语言缺乏精确的形式化语义基础,难以对其进行语义验证。OWL是万维网联盟(W3C)提出的标准本体建模语言,对本体具有很强的语义描述和推理能力。然而,其复杂的符号、语法难以被理解和掌握,因此不适合直接作为军事概念建模语言。为了对基于UML描述的装备保障仿真概念模型进行语义验证,本文提出将其转换为OWL描述的模型,然后利用基于描述逻辑的推理机和基于一阶谓词逻辑的规则推理引擎对其进行语义验证。

(1) UML与OWL对比分析

UML和OWL之间既有不同点,也有共同点。两者的建模目的不同,UML模型则用于消除和简化不必要的概念与关系,只选择必要的知识解决某个特定的问题,而OWL模型则用于知识表达,往往需要囊括一个领域中所有的知识,强调知识的完备性^[15];两者的表现形式也不同,UML模型是图形化的表示方式,而OWL模型则是形式化的表示方式;两者的逻辑基础也不同,UML模型的逻辑基础弱,不具备推理能力,而OWL模型基于严格的逻辑基础,具备推理能力;两者也存在许多共性,例如:两者都是表达现实世界中可以用来处理的概念,都建立在类概念和关系之上。两者都既能描述静态模型,又能描述动态模型。

(2) UML-OWL的映射规则

根据UML模型与OWL模型的相似性,可以定义两种语言的特征元素之间的转换规则,进而将UML模型转换为OWL模型。定义UML-OWL之间特征元素的映射规则是实现模型间转换的关键,具体可以参考文献[15-17]进行。

(3) 形式化转换流程

由于OWL本体本身就是一个标准的XML文档,而利用UML建立的模型同样可以方便地转换为XML文档,因此,

UML 模型和 OWL 本体之间的转换实际上是两种 XML 文档之间的转换。而可扩展样式语言转换 XSLT 正是 XML 技术家族中对 XML 文档进行转换的一种工具^[18]。利用 XSLT 进行的转换流程如图 2 所示。

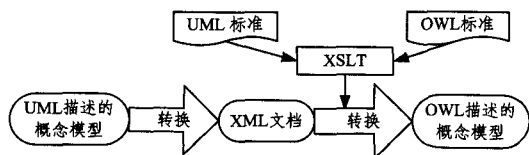


图 2 形式化转换流程

其主要包括 3 个步骤：

步骤 1 使用 UML 建模工具将 UML 描述的装备保障仿真概念模型文件转换为 XML 格式的文档；

步骤 2 建立 UML 和 OWL 之间的元素映射规则，设计采用 XSLT 样式表；

步骤 3 利用 XSLT 处理器按照预先定义的 XSLT 样式表，将装备保障仿真概念模型转换为 OWL 描述的概念模型。

2.4 验证规则的构建

装备保障仿真概念模型验证规则主要是根据装备保障的条令、条例、保障理论，用定性或定量的方法对概念模型所关注的装备保障仿真现象进行结构化抽象，形成具有一定规范性和约束力的语义规则。建立规则的知识来源主要包括相关文献资料、以往开发系统的相关文档、领域专家的知识经验等。本文主要是通过分析概念模型的核心构成要素实体、任务、行动、交互之间的相互关系来构建部分验证规则。

目前对本体的描述比较多的是采用 OWL 语言，但是其对规则的表达能力比较弱。SWRL 是 W3C 推出的一种综合了本体语言 OWL、一元与二元 Datalog RuleML 的规则描述语言^[19]。它很好地把规则与 OWL 本体结合起来描述推理规则，能实现规则知识与 OWL 描述的本体知识之间的重用与互操作。因此，本文采用 SWRL 描述验证规则。例如，在装备抢修仿真概念模型中，在执行次序上机动行动应优先于修理行动，如果在概念模型中将两者的顺序颠倒，则违反了领域规则。两者的先后关系的验证规则，使用 SWRL 表示如下：

$$\text{MoveBehavior}(\text{?x}) \wedge \text{RepairBehavior}(\text{?y}) \rightarrow \text{PriorTo}(\text{?x}, \text{?y})$$

2.5 规则推理过程

规则推理是整个验证框架中最核心的部分，主要用于检验概念模型知识是否符合验证规则。在构建好 OWL 格式的概念模型知识库和 SWRL 格式的验证规则库之后，需要借助基于规则推理的推理引擎实现对概念模型知识库与验证规则库的语义推理验证。目前并没有专门针对 SWRL 规则推理的推理引擎，在现有的基于规则的推理引擎中，Jess 是一款性能良好的开放式推理机。理论上只需要为 Jess 提供相应的领域规则和事实，它就可以处理各种领域的推理任务^[20]。因此，只需要将 OWL 格式的概念模型知识库和 SWRL 格式的验证规则库转换成 Jess 可以识别的事实和规则，就可以利用 Jess 对概念模型进行语义验证。基于 Jess 的规则推理步骤如下：

(1)将规则和事实输入至工作内存；(2)使用模式匹配将规则库中的规则和事实比较；(3)如果执行规则存在冲突，将冲突的规则放入冲突集合；(4)解决冲突，将激活的规则按顺

序放入议程中；(5)执行其中的规则，修改事实库，重复步骤(2)至(5)，直到事实库无变化推理结束。

3 装备保障仿真概念模型验证的内容与验证规则分析

本文主要从概念模型的核心组成要素实体、任务、行动之间的相互关系分析其语义验证内容，具体包括实体之间关系的正确性验证、实体与任务之间关系的正确性验证、实体与行动之间关系的正确性验证、行动之间关系的正确性验证。

3.1 实体之间关系的正确性验证

装备保障系统的实体之间存在分类关系、组合关系、关联关系。

(1)分类关系

实体的分类关系是指某一实体概念是另一实体概念的一个子类。例如，装备指挥所可以分为前进指挥所、基本指挥所和后方指挥所。分类关系的表述形式为：Is-Instance-of(A, B)，即 A 是 B 的一个子类。

(2)组合关系

实体的组合关系是指某一实体概念由哪些下层实体概念组成。例如，一个机动保障群由一个抢救抢修队、一个器材补给队、一个勤务保障队等共同组成。组合关系的表述形式为：Has-part-of(A, B)，即 B 是组成 A 的一部分。

(3)关联关系

实体的关联关系，是两个实体在活动过程中表现出来的一种比较稳定的交互作用方式。如上级与下级的指挥关系、同级之间的支援关系等。装备保障系统实体间的关联关系按照实体的功能类型可以分为以下几类：指挥关系、指导关系、接替保障关系、维修支援关系、器材供应关系、装备运输关系。它们可分别形式化表述为：STZH(A, B)、STZD(A, B)、STJTBZ(A, B)、STWXZY(A, B)、STQCGY(A, B)、STZBYS(A, B)。

装备保障仿真概念模型的实体之间关系的验证，主要是依据以上 3 类关系验证概念模型实例中实体之间的相互关系是否正确。

3.2 实体与任务之间关系的正确性验证

装备保障系统的任务按照任务的实施进展，可分为部署任务、指挥任务、维修任务、器材保障任务、装备运输任务 5 大类。装备保障系统中的实体依据其功能，可分为指挥实体、维修实体、装备运输实体、器材保障实体。各类任务与其可执行实体类型的对应关系如表 1 所列。

表 1 任务类型与可执行实体类型对应表

任务类型	可执行实体类型
部署任务	所有实体
指挥任务	指挥实体
维修任务	维修实体
器材保障任务	器材保障实体
装备运输任务	装备运输实体

实体-任务之间关系正确性验证，主要是依据上表制定实体-任务之间关系的验证规则，验证概念模型实例中实体是否与其所执行的任务的类型相匹配。

3.3 实体与行动关系正确性验证

装备保障系统中每类实体的可执行活动类型如表 2 所列。

表2 实体类型-行动类型对应表

实体类型	实体活动类型
指挥实体	维修决策、部署决策、器材保障决策、运输决策、部署转移活动等
维修实体	伴随修理、現地修理、定点修理、维修接替、维修支援等
器材保障实体	器材接收、器材接取、器材供应、器材保障接替等
装备运输实体	装备运输、装备运输支援等

实体-行动之间关系正确性验证,主要是依据上表制定实体-行动之间关系的验证规则,验证概念模型实例中实体与其所执行的行动的类型是否匹配。

3.4 保障行动之间关系正确性验证

装备保障任务由具有一定执行次序的行动完成。保障行动之间存在顺序执行、同步执行、重复执行和条件执行等4种关系。每类装备保障任务的保障行动及其相互关系基本相同,因此可以以此为依据,制定行动-行动之间关系的验证规则,验证概念模型实例中装备保障行动之间的关系是否正确。

4 模型验证实例分析

下面以装备保障仿真概念模型中的保障行动关系的正确性验证为例,验证本文所提方法的有效性。假设概念建模人员在构建火炮抢修仿真概念模型时,颠倒了活动“机动”和“展开”之间的顺序关系,形成了如图3所示的错误的花炮抢修活动图。

对于活动图的描述逻辑转换,本文先将其转换为如图4所示的类图描述的形式,然后由类图转换为OWL表示的概念模型。

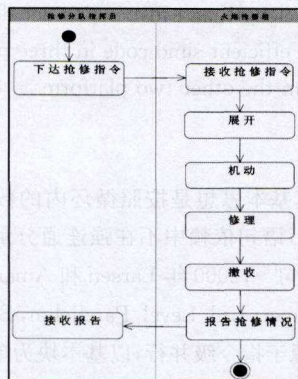


图3 错误的火炮抢修过程模型的UML活动图描述

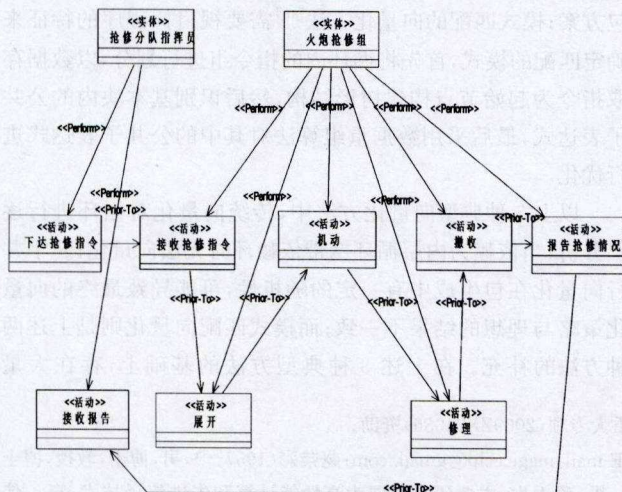


图4 错误的火炮抢修过程的类图描述

通过采用UML和OWL之间的转换方法,可以得到如图5所示的活动模型的OWL描述代码片段。

```

</owl:ObjectProperty>
<Entity rdf:ID="RepairUnitCommander"/>
<Behavior rdf:ID="IssueRepairCommand">
  <Prior-To>
    <Behavior rdf:ID="ReceiveRepairCommand">
      <Prior-To>
        <Behavior rdf:ID="SpreadBehavior">
          <Prior-To>
            <Behavior rdf:ID="MoveBehavior">
              <Prior-To>
                <Behavior rdf:ID="RepairBehavior">
                  <Prior-To>
                    <Behavior rdf:ID="WithdrawBehavior">
                      <Prior-To>
                        <Behavior rdf:ID="ReportRepairCondition">
                          <Prior-To>
                            <Behavior rdf:ID="ReceiveReport"/>
                        </Behavior>
                      </Prior-To>
                    </Behavior>
                  </Prior-To>
                </Behavior>
              </Prior-To>
            </Behavior>
          </Prior-To>
        </Behavior>
      </Prior-To>
    </Behavior>
  </Prior-To>
</Behavior>
<Entity rdf:ID="CrawlerChassisRepairGroup"/>

```

图5 活动模型的OWL描述

采用SWRL对装备抢修过程中行动之间的时序关系进行形式化的描述,如图6所示。

```

ReceiveRepairCommand(?x) ^ MoveBehavior(?y) -> Prior-To(?x,?y)
MoveBehavior(?x) ^ SpreadBehavior(?y) -> Prior-To(?x,?y)
SpreadBehavior(?x) ^ RepairBehavior(?y) -> Prior-To(?x,?y)
RepairBehavior(?x) ^ WithdrawBehavior(?y) -> Prior-To(?x,?y)
WithdrawBehavior(?x) ^ ReportRepairCondition(?y) -> Prior-To(?x,?y)

```

图6 验证规则的SWRL描述

在得到OWL表示的活动图概念模型之后,利用描述逻辑推理机—Racer对其进行初步的语法推理验证,推理出隐含知识和完整的层次结构,然后在Protégé中利用描述逻辑推理机Racer,结合Jess推理机,实现OWL模型向Jess格式事实库的转换。在得到SWRL描述的验证规则之后,使用Protégé中的SWRLJessBridge插件实现SWRL描述规则向Jess格式的转换。最后运行“Run Jess”进行推理,得到如图7所示的推理结果。

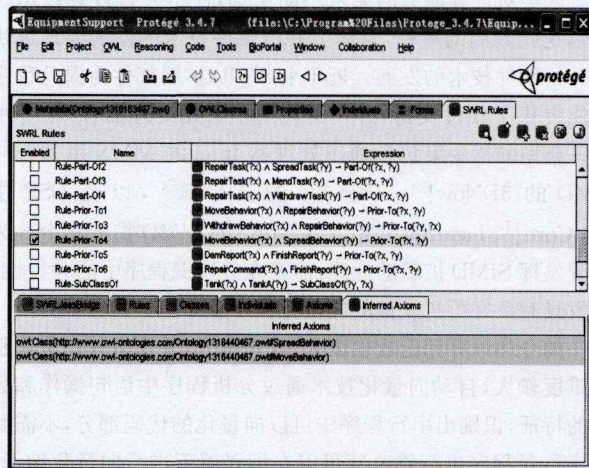


图7 Jess推理的结果

从图7所示的推理可以看出,火炮抢修活动概念模型中的SpreadBehavior行动和MoveBehavior行动的时序关系与规则Rule-Prior-To4冲突,这表明找到了预设的模型错误,进而证明了本文所提方法的有效性。

(下转第37页)

port on database research[J]. SIGMOD Record, 2008, 37(3): 9-19

- [4] Flinn J, Satyanarayanan M. Energy-aware adaptation for mobile applications[C]//Proceedings of the ACM symposium on Operating systems principles, 1999: 48-63
- [5] Bellosa F. The benefits of event-driven energy accounting in power-sensitive systems[C]//Proceedings of the Workshop on ACM SIGOPS, 2000: 37-42
- [6] Li T, John L K. Run-time modeling and estimation of operating system power consumption[C]//Proceedings of the ACM International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, 2003: 160-171
- [7] Bircher W L, John L K. Complete System Power Estimation: A Trickle-Down Approach Based on Performance Events[C]//Performance Analysis of Systems & Software, 2007: 158-168
- [8] Economou D, Rivoire S, Kozyrakis C. Full-system power analysis and modeling for server environments[C]//Workshop on Modeling, Benchmarking and Simulation, 2006

- [9] Do T, Rawshdeh S, Shi W S. pTop: A process-level power profiling tool[C]//Proceedings of the Workshop on Power Aware Computing and Systems, 2009
- [10] Chen H, Li Y, Shi W S. Fine-grained power management using process-level profiling[J]. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 2012, 2(1): 33-42
- [11] 李晓, 李战怀, 刘文洁, 等. 计算机系统实时估算方法: 中国, CN102221874 A [P]. <http://www.google.com/patents/CN102221874A?cl=zh>, 2011-10-19
- [12] Laudon J. Performance/Watt: The New Server Focus[J]. SI-GARCH Computer Architecture News, 2005, 33(4): 5-13
- [13] Geer D. Chip makers turn to multicore processors[J]. Computer & Processing, 2005, 38(5): 11-13
- [14] Bostoen T, Mullender S, Berbers Y. Power-Reduction Techniques for Data-Center Storage Systems[J]. ACM Comput. Surv., 2013, 45(3): 1-38
- [15] Clam AntiVirus[OL]. <http://www.clamav.net/>

(上接第 27 页)

结束语 概念模型验证是建模与仿真校核、验证与确认中最重要、最困难的问题之一,对于提前修正概念模型的错误,降低仿真开发的风险和成本,提高仿真系统的可信性具有重要意义。然而现有概念模型验证方法,要么过于依靠专家的知识经验,主观性强,要么验证过程复杂繁琐,成本高。本文采用本体论和语义网技术,提出了一种基于本体与规则推理的装备保障仿真概念模型语义验证方法。该方法主要是通过模型的描述形式转换、模型验证规则构建、模型的格式转换、语义推理等环节实现。其实质是将基于 UML 描述的概念模型转换为本体推理机可读的 OWL 描述的语义模型,并将专家的验证知识、验证经验以及领域知识提炼为验证规则,在计算机上实现概念模型语义验证的自动化。最后通过实例验证了本文所提方法的有效性,它可以减少专家验证的主观性和不确定性,降低形式化验证方法的复杂性,提高验证效率。

参考文献

- [1] Robert G S. Verification and Validation of Simulation Models [C]//Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, 2010: 173-176
- [2] 王勇,杨明. 复杂仿真系统概念模型评估技术研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(24): 6808-6810
- [3] 樊浩,黄树彩. 基于 Petri 网的概念模型验证方法研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(3): 999-1002
- [4] Ynag Hui-zhen, Hao Li-li. Colored Petri Nets-based Formal Modeling and Validation for Federation Conceptual Model[J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(7): 1361-1365
- [5] 岳增坤,陈炜. 基于 xUML 的 C4ISR 系统可执行对象模型设计[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(8): 2190-2194
- [6] 何晓晖,徐培德,沙基昌. 任务空间概念模型轻量级形式化校核

方法初探[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(5): 1108-1109

- [7] 骆翔宇,苏开乐,顾明. 一种求解认知难题的模型检查方法[J]. 计算机学报, 2010, 33(3): 406-414
- [8] 夏薇,姚益平,慕晓冬. 基于 TLA 的事件图模型形式化验证方法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(11): 406-414
- [9] 杨斌,齐玉东,孟凡磊,等. 本体在概念建模中的应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 5(21): 246-249
- [10] 齐玉东,杨斌,郭天杰. 军事概念模型中的部分-整体关系的表达与推理[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(11): 2537-2541
- [11] 唐见兵. 作战仿真系统可信性研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2009
- [12] 王智学,董庆超. 基于 UML 模型的 C4ISR 系统能力需求分析与验证[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(9): 1561-1564
- [13] 刘忠,钱猛. 基于语义推理的作战计划验证方法[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 5(32)
- [14] 钱猛,刘忠. 使用本体和 SWRL 验证作战计划的方法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(8): 208-212
- [15] 刘振中,刘勇. 基于 UML 类图的 OWL 本体映射方法[J]. 计算机应用研究, 2009, 35(13): 40-43
- [16] 王翀,何克清,刘进. 基于 OWL 元模型的本体建模研究[J]. 武汉大学学报, 2004, 50(5): 581-585
- [17] 郁书好,苏守宝,刘仁金. UML 和 OWL 在本体建模中的比较研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(1): 155-157
- [18] James C. XSL Transformations (XSLT) Version 2.0 [EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/xslt2.0>, 2009-10-10
- [19] W3C. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML [EB/OL]. <http://www.daml.org/rules/proposal>, 2012-1-12
- [20] Sandia National Laboratories. Jess, the Rule Engine for the Java Platform [EB/OL]. <http://Herzberg.ca.sandia.gov/jess>, 2012-1-12