

基于规则推理的军事概念模型验证方法研究*

顾 闯, 刘 彬, 张学民, 孙王虎, 田书超

(军械工程学院 装备指挥与管理系, 石家庄 050003)

摘 要: 针对现有的概念模型形式化验证方法较复杂、非形式化验证方法的主观性较强, 提出了一种基于规则推理的军事概念模型验证方法, 并详细介绍了该方法的原理、框架、实施步骤、验证内容和验证规则。该方法的实质是利用验证规则和推理机代替领域专家, 在计算机上实现概念模型语义验证的自动化。它可以降低形式化验证方法的复杂性, 减少非形式化验证方法的主观性和不确定性, 提高概念模型验证的质量和效率。

关键词: 军事概念模型验证; 语义验证; 规则推理; 语义网规则语言

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2013)12-3586-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.12.017

Research on military conceptual model validation methods based on rule reasoning

GU Chuang, LIU Bin, ZHANG Xue-min, SUN Wang-hu, TIAN Shu-chao

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

Abstract: Aimed at the complexity of conceptual model formal validation methods and subjectivity of conceptual model informal validation methods, this paper developed a conceptual models validation method based on rule reasoning. Then it introduced the principle, frame, implementary steps, validation contents and validation rules in detail. The essence of the method was that replacing domain experts with validation rules and reasoning machine to validate the semantic content of conceptual models automatically in the computer. The method could reduce the complexity of the formalized validation methods, decrease subjectivity and uncertainty of informal validation methods and improved the efficiency of the conceptual model validation.

Key words: military conceptual model validation; semantic validation; rule reasoning; SWRL (semantic Web rule language)

0 引言

军事概念模型是对各类军事任务、实体、行动、交互、事件、规则和动作等要素的正规化描述。唯有正确、完整、一致的概念模型才能准确、全面地反映客观世界, 才能尽量减少仿真设计和仿真实现犯错误的可能性, 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。非形式化方法和静态方法简单易行、成本较低, 但存在着主观性强、对概念模型动态部分难以适用等问题。动态方法要求运行模型, 并根据模型的运行及其结果来对其进行评估, 包括基于 Petri 网的动态验证方法^[1,2]、基于可执行 UML 的验证方法^[3]。该类方法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。形式化方法是通过严格的逻辑运算或推理来发现概念模型的问题, 包括基于时态逻辑的验证方法^[4]、基于行为时态逻辑的验证方法^[5]、形式化证明方法^[6]、基于 Statecharts 的形式化验证方法^[7]、基于模型检验的形式化验证方法^[8]。该类方法是一类较精确、严格的验证方法, 但其对于

模型描述的形式化要求高, 难以应用于实际工程。

总的来说, 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, 要么依靠复杂繁琐的动态可执行验证方法或形式化方法, 导致概念模型验证还缺乏有效的方法。针对上述问题, 本文试图提出一种基于规则推理的概念模型验证方法, 以降低验证的复杂性, 减少验证的主观性和不确定性, 提高验证的准确性和效率。该方法涉及的概念模型是指采用 UML 描述、面向仿真设计的军事概念模型。

1 基于规则推理的军事概念模型验证方法

1.1 基本原理

基于规则推理的军事概念模型验证方法的基本原理是将概念模型转换为规则推理机识别的数据格式, 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, 运用推理机的推理机制, 对概念模型内的所有内容按照验证规则进行全面查询匹配, 把不符合验证规则的内容报告给用户, 供用户对模型作修正。其具体思路是: 将基于 UML 描述的军事概念模型转换为本体描述语言 OWL (Web ontology language) 表示的形式化模型, 并运用规则描述语言 SWRL 描述验证规则, 通过在推理机

收稿日期: 2013-03-20; 修回日期: 2013-05-09 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60904071)

作者简介: 顾闯 (1984-), 男, 湖北北京山人, 博士研究生, 主要研究方向为装备保障建模与仿真 VV&A (guchuang2009chuang@163.com); 刘彬 (1984-), 男, 江苏徐州人, 博士, 主要研究方向为装备保障建模与仿真; 张学民 (1975-), 男, 河北丰宁人, 博士研究生, 主要研究方向为装备保障建模与仿真; 孙王虎 (1984-), 男, 河北晋州人, 硕士, 主要研究方向为装备保障指挥及自动化; 田书超 (1982-), 男, 山东禹城人, 硕士, 主要研究方向为装备保障建模与仿真。

中进行模型的自动推理,检验模型是否满足验证规则,进而以实现对概念模型的验证。

1.2 总体框架及实施流程

基于规则推理的军事概念模型验证的总体框架如图1所示。

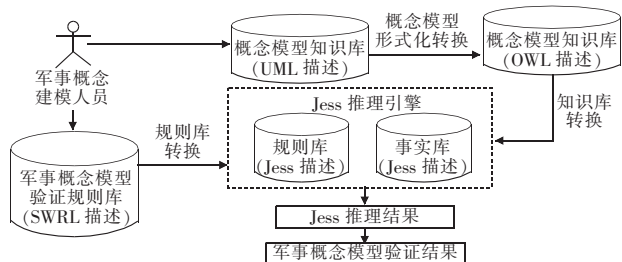


图1 基于规则推理的军事概念模型验证的总体框架

基于规则推理的军事概念模型验证的实施流程包括以下六个步骤:

- 利用可扩展样式语言转换(extensible stylesheet language transformation, XSLT)实现 UML 描述的军事概念模型向 OWL 描述的概念模型的形式化转换,形成 OWL 概念模型知识库。
- 结合 OWL 概念模型知识库中的本体、属性和实例,提炼领域规则,并采用 SWRL 建立验证规则库。
- 利用 Racer 推理机结合 JessTab 窗口,将 OWL 概念模型知识库转换为 Jess 规则引擎所要求的格式——Jess 事实库。
- 利用 XSLT 将 SWRL 描述的验证规则库转换为 Jess 规则引擎所要求的格式——Jess 规则库。
- 利用 Jess 事实库和 Jess 规则库在 Jess 规则引擎中进行推理,验证事实满足规则的程度,并产生推理结果。
- 如果 Jess 推理结果中存在事实与规则不符的现象,需要依据推理结果找到相应的错误位置,并修改军事概念模型。

在整个推理过程中,经过步骤 a) 和 b), 会产生 OWL 描述的概念模型知识库和 SWRL 描述的验证规则库,它们是实现基于规则推理验证的基础。同时,由于 OWL 概念模型知识库和 SWRL 描述的验证规则库的格式均不符合 Jess 规则引擎的格式要求,需要将它们各自转换为 Jess 规则引擎要求的语法格式才能在 Jess 中进行推理。因此,步骤 c) ~ e) 体现了事实库和规则库转换,以及利用规则引擎实施推理的过程。本文将对上述实施流程中的形式化转换和规则推理过程这两个关键环节展开说明,后文中再对规则构建环节进行详细阐述。

1.3 军事概念模型的形式化转换流程

由于 OWL 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 与 OWL 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^[9]正是 XML 技术家族中对 XML 文档进行转换的一种工具。UML 与 OWL 之间的 XSLT 转换过程可以参照文献[10,11]执行。如图2所示,UML 描述的概念模型到 OWL 描述的概念模型的转换主要包括以下三个步骤。

- 使用 UML 建模工具将现有的 UML 描述的军事概念模型转换为 XML 格式的文档;
- 建立 UML 与 OWL 之间的元素映射规则,用 XSLT 进行处理;
- 根据 UML-OWL 的元素映射规则,将军事概念模型转换

为 OWL 描述的概念模型。

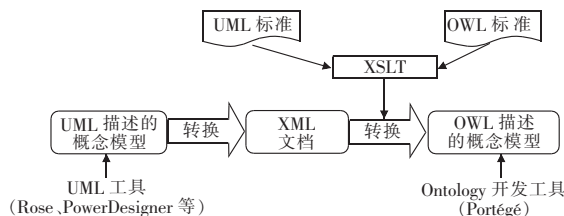


图2 军事概念模型的形式化转换流程

1.4 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,进而实现对概念模型的语义验证。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自动推理验证。

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 (Java expert shell system, Java 专家系统外壳) 是一款性能良好的开放式推理机,支持正向和反向推理,到目前为止是效率最高的推理引擎,原则上只要为 Jess 提供相应的领域规则和事实信息,可以处理各种领域的推理任务^[12,13]。因此,只需将 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 的推理步骤如下:a) 将规则和事实输入至工作内存;b) 使用模式匹配将规则库中的规则和事实进行比较;c) 如果执行规则存在冲突,即同时激活了多个规则,将冲突的规则放入冲突集合;d) 解决冲突,将激活的规则按顺序放入议程中;e) 执行其中的规则,修改事实库。重复步骤 b) ~ e), 直到事实库无变化则推理结束。

2 军事概念模型验证的内容

本文提出的方法主要适用于概念模型的语义验证。语义验证检查模型是否正确、可用、有效,是模型验证的核心。军事概念模型的语义验证包含两个方面:a) 检查军事仿真概念模型所表达的内容是否客观地反映了真实世界中的实体、任务、行动、交互等要素,以及这些要素相互作用所体现出来的功能是否满足用户域需求;b) 检查概念模型的各个部分之间是否相互一致,它主要包括语义正确性验证、语义完整性验证和语义一致性验证。

2.1 语义正确性验证

语义正确性验证是指检查概念模型组成要素自身的正确性与要素之间相互关系的正确性,以及由模型要素之间相互作用所体现出的行为、功能是否与用户对目标系统的期望相吻合等。语义正确性验证的内容比较广泛,本文仅从概念模型的核心组成要素实体、任务、行动与交互出发,对其部分验证内容进行探讨。

1) 针对实体要素,主要考察:概念模型任务和过程描述中所辨识出的实体是否已经标志,实体的属性是否正确,实体的关系是否标志正确,任务和过程中的交互是否在实体的关联关系得到正确反映等。

2) 针对任务要素,主要考察:任务的触发者与执行者的标志是否正确与完整,任务之间的关系是否正确,任务是否进行了过程化,过程的执行顺序是否正确等。

3) 针对行动要素,主要考察:行动过程是否完整,逻辑表达是否正确,规则约束是否合理,行动结果是否正确等。

4) 针对交互要素,主要考察:实体之间的关联关系是否在交互中得到正确反映,交互的双方实体是否正确描述,交互的内容是否完整,信息的传递是否在交互中得到正确反映等。

2.2 语义完整性验证

语义完整性验证是指检查概念模型所表达的内容是否完整,是否正确反映了要求的所有任务、实体、行动、交互、数据以及所应具有的预期行为,是否缺少相关的描述要素,是否满足概念建模的相关要求和规范。例如,一个装备前出维修保障的任务应该包含机动、展开、修理和撤收这四个步骤,如果建模人员建模时只给出了前三个行动,那么这个任务就是不完整的,需要进行修改。

2.3 语义一致性验证

语义一致性验证是指检查描述系统各种特征的模型在语义方面是否一致。这种一致性主要包括模型内部的一致性和模型间的一致性两种。其中,模型内部的一致性是指模型内部各要素之间不存在冲突,符合逻辑;模型间的一致性是指将多个模型组合、集成在一起时,不存在语义冲突。

3 军事概念模型语义验证规则

规则是事物发展过程中所遵循的规范与法则,事物的发展自始至终受到规则的约束。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、领域专家等。本文的军事概念模型验证规则主要是指根据我军和外军的条令、条例、训练大纲等军事条文和作战理论以及战场环境对军事活动的影响,用定性或定量的方法对概念模型所关注的军事现象进行结构化抽象,形成能够理解、便于操作的具有一定规范性和约束力的语义规则。在进行基于规则推理的军事概念模型验证过程中,必须建立军事概念模型验证规则库。本章将重点阐述军事概念模型验证规则的框架、描述方法。

3.1 验证规则框架

实体、动作、任务和交互是军事建模概念的四种基本建模元素。这些建模元素以任务为核心,相互依存、相互影响,共同描述了目标系统的基本概念及其关系。目标系统的静态结构主要由实体来描述,动态行为和功能主要由动作、任务和交互来刻画。任务是概念模型最重要的建模元素,是实体、动作和交互的粘合剂。其中,任务的执行者是实体;任务的完成通过实体执行具体的动作来实现;为了传递信息,实体在执行任务的过程中可以作为发送者与接收者发生交互。

本文的军事概念模型验证规则框架主要从实体、任务、行动、交互这四个基本建模元素自身的正确性验证、同类元素之间及异类元素之间关系的正确性验证这三个方面来构建相关的验证规则库,如图3所示。

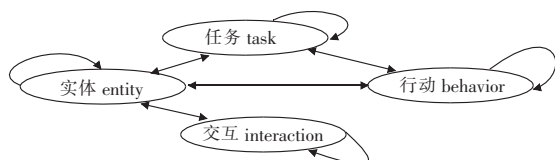


图3 规则框架描述

对于验证概念模型元素自身正确性所需的验证规则可以

从元素的属性方面进行考虑。例如,针对实体的基本、空间、行为、任务、资源配置、能力六类属性,可以分别制定相应的验证规则。

对于验证概念模型同类元素之间关系正确性所需的验证规则可以从构成概念模型的各种同类元素之间关系的正确性上考虑制定相应的验证规则。例如,针对实体与实体之间的分类关系、组合关系和关联关系,任务与任务之间的层次、时序、逻辑关系,以及行动与行动之间的时序、逻辑关系,交互与交互之间的逻辑关系可以分别建立验证规则。

对于验证概念模型异类元素之间关系正确性所需的验证规则可以从构成概念模型的各种异类元素之间关系的正确性上考虑制定相应的验证规则。例如,针对任务与实体、任务与行动之间的相关关系可以分别制定相应的验证规则。

3.2 验证规则的描述

SWRL 是 W3C(语义万维网)推出的一种综合了本体语言 OWL 的子集 OWL DL 与 OWL Lite,以及一元与二元 Datalog RuleML 的规则描述语言^[14]。它融合了 OWL 和 RuleML 的特点,具有较丰富的关系表达能力,弥补了 OWL 本体描述语言不能表示 if...then 关系的不足。它很好地把规则与 OWL 本体结合起来,使用它来描述推理规则,不仅能实现规则知识与 OWL 描述的本体知识之间的交互,还能最大化地实现 OWL 系统中规则知识之间的重用性与互操作性。在本体构建工具 Protégé 中存在 SWRL Tab 插件,用于扩展 OWL,实现 SWRL 规则的读写操作。用户可插入类、属性、实例、变量、内置 Built-in、DifferentFrom、SameAs 以及 XML Schema Datatype 等来编辑各种规则^[15]。在本文的概念模型验证方法中,采用 SWRL 描述验证规则。

一个规则原则上可以包含一个前提(body)与一个结论(head),而每个前提与结论也包含了零或多个公理的集合。此外,规则公理也可以采用 URI(universal resource identify,统一资源标志)参考的设计方式。例如:

```
rule:: = Implies ( [ URIreference ] { annotation } antecedent consequent )
```

```
antecedent:: = Antecedent ( { atom } )
```

```
consequent:: = Consequent ( { atom } )
```

其中:原子(atoms)可以由 $C(x)$ 、 $P(x, y)$ 、 $\text{sameAs}(x, y)$ 、 $\text{differentFrom}(x, y)$ 或 $\text{builtin}(r, x \dots)$ 等形式表达; C 是 OWL 的一个类; P 是 OWL 的一个属性; r 是 SWRL 中定义的 built-in; x 与 y 可为变量,OWL 的实例或 OWL 的数据数值。

例如,在装备保障仿真概念模型中,机动行动和修理行动是装备抢修过程中的行动模型,在系统运行过程中,应是先运行机动模型,再运行修理模型,即前者优先于后者,如果顺序相反,则违反了模型之间的优先/依赖关系。其 SWRL 表示如下:

```
MoveBehavior(?x) ∧ RepairBehavior(?y) → Prior-To(?x, ?y)
```

```
MoveBehavior(?x) ∧ RepairBehavior(?y) → dependency(?y, ?x)
```

4 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。本文提出的基于规则推理的军事概念模型验证方法是将 UML 的概念模型转换为支持语义推理的 OWL 描述的概念(下转第 3613 页)

- Verlag, 2006:168-181.
- [3] YANG Yi-ming, PIERCE T, CARBONELL J. A study of retrospective and online event detection[C]//Proc of the 21st Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. New York: ACM Press, 1998: 28-36.
- [4] BRANTS T, CHEN F, FARAHAT A. A system for new event detection[C]//Proc of the 26th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. New York: ACM Press, 2003: 330-337.
- [5] ZHANG Kuo, ZI Juan, WU Li-gang. New event detection based on indexing-tree and named entity[C]//Proc of the 30th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. New York: ACM Press, 2007: 215-222.
- [6] ZHANG Zhong-feng, LI Qiu-dan. QuestionHolic: hot topic discovery and trend analysis in community question answering systems[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(6): 6848-6855.
- [7] HE Qi, CHANG Kui-yu, LIM E P. Analyzing feature trajectories for event detection[C]//Proc of the 30th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. New York: ACM Press, 2007: 207-214.
- [8] ALLAN J, CARBONELL J, DODDINGTON G, *et al.* Topic detection and tracking pilot study: final report[C]//Proc of DARPA Broadcast News Transcription and Understanding Workshop. 1998: 194-218.
- [9] 张小明, 李舟军, 巢文涵. 基于增量型聚类的自动话题检测研究[J]. *软件学报*, 2012, 23(6): 1578-1587.
- [10] WANG C, ZHANG M, MA S, *et al.* Automatic online news issue construction in Web environment[C]//Proc of the 17th International Conference on World Wide Web. 2008: 457-466.
- [11] BUN K K, ISHIZUKA M. Topic extraction from news archive using TF*PDF algorithm[C]//Proc of the 3rd International Conference on Web Information Systems Engineering. [S. l.]: IEEE Press, 2002: 73-82.
- [12] ZHANG K, XU H, TANG J. Keyword extraction using support vector machine[C]//Proc of WAIM. 2006: 85-96.
- [13] SWAN R, ALLAN J. Automatic generation of overview timelines[C]//Proc of SIGIR. 2000: 49-56.
- [14] TURNEY P. Learning algorithms for keyphrase extraction[J]. *Information Retrieval*, 2000, 2(4): 303-336.
- [15] CHIEN L F. PAT-tree-based keyword extraction for Chinese information retrieval[C]//Proc of SIGIR. 1997: 50-58.
- [16] YANG W, LI X. Chinese keyword extraction based on max-duplicated strings of the documents[C]//Proc of SIGIR. 2002: 439-440.
- [17] WITTEN I, PAYYINTER G, FRANK E, *et al.* KEA: practical automatic keyphrase extraction[C]//Proc of the 4th ACM Conference on Digital Libraries. 1999: 254-255.
- [18] HE Q, CHANG K, LIM E P. Using burstiness to improve clustering of topics in news streams[C]//Proc of the 7th IEEE International Conference on Data Mining. 2007: 493-498.
- [19] FUNG G P C, YU J X, YU P S, *et al.* Parameter free bursty events detection in text streams[C]//Proc of the 31st VLDB Conference. 2005: 181-192.
- [20] LI H X, ZHANG H P, QIN P, *et al.* Keywords based hot topic detection on Internet[C]//Proc of the 5th CCIR. 2009: 134-143.
- [21] CHEN Kuan-yu, LUESUKPRASERT L, CHOU S C T. Hot topic extraction based on timeline analysis and multidimensional sentence modeling[J]. *IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering*, 2007, 19(8): 1016-1025.

(上接第3588页)

模型,并构建模型验证规则,通过在推理机中进行推理,检验模型内容是否符合验证规则,以查找概念模型中不符合验证规则的内容,进而对概念模型进行修改和完善。该方法的实质是利用验证规则和推理机代替领域专家,在计算机上实现概念模型语义验证的自动化。该方法提高了验证效率,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。本文只是给出了该方法的总体框架和具体实施流程,尚未进行实例验证,下一步将以军事概念模型验证实例对其进行检验。

参考文献:

- [1] 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, 1005.
- [2] YANG 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.
- [3] 岳增坤,陈炜,夏学知,等.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.
- [4] 杨惠珍,康凤举. HLA联邦形式化校核方法初探[J]. *系统仿真学报*, 2008, 20(22): 6039-6041.
- [5] 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): 4171-4173, 4187.
- [6] 何晓晔,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] 陈丽娜,赵建民.一种新的Statechart模型验证方法[J]. *计算机科学*, 2011, 38(2): 144-148.
- [8] 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.
- [9] JAMES C. XSL transformations (XSLT) version 2.0 [EB/OL]. (2002-05-30) [2009-10-10]. <http://www.w3.org/TR/xslt2.0>.
- [10] EVERMANN J. A UML and OWL description of Bunge's upper-level ontology model[J]. *Software and Systems Modeling*, 2009, 8(2): 235-249.
- [11] PARREIRAS F S, STAAB S. Using ontologies with UML class-based modeling: the two use approach[J]. *Data and Knowledge Engineering*, 2010, 69(11): 1194-1207.
- [12] FRIEDMAN-HILL E. Jess in action: Java rule-based systems[M]. [S. l.]: Manning Publications Co, 2003.
- [13] Sandia National Laboratories. Jess, the rule engine for the Java platform[EB/OL]. (2008-11-10) [2012-01-12]. <http://Herzberg.ca.sandia.gov/jess>.
- [14] W3C. SWRL: a semantic Web rule language combining OWL and ruleML[EB/OL]. (2004-12-05) [2012-01-12]. <http://www.daml.org/rul es/proposal>.
- [15] MA Li, YU He-long, WNAG Yue, *et al.* The knowledge representation and semantic reasoning realization of productivity grade based on ontology and SWRL[C]//Proc of the 5th International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture. Beijing: China Agriculture University, 2011: 381-389.