

军事概念模型分层次验证方法研究

顾 闯 杜晓明 刘 彬 王桂起

(军械工程学院装备指挥与管理系 石家庄 050003)

摘 要 概念模型验证是建模与仿真校核、验证与确认中的重点和难点。军事概念模型的内涵丰富、层次多、种类多,因而难以在一个层次上验证其全部内容。鉴于此,提出了军事概念模型分层次验证方法,将其划分为系统层、模型层、设计层3个层次,然后分析了各个层次的验证内容、验证指标、验证过程和验证方法。该方法的优点是明确了概念建模各个阶段的验证内容和验证方法,分解了验证工作的复杂性,增强了验证工作的阶段性、层次性、针对性和可操作性。

关键词 军事概念模型,分层次验证,本体,规则推理

中图分类号 TP391.9 文献标识码 A

Research on Layered Validation Methods for Military Conceptual Models

GU Chuang DU Xiao-ming LIU Bin WANG Gui-qi

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

Abstract The validation of conceptual models are still important and difficult in the verification, validation and accreditation of modeling and simulation. It is hard to validate conceptual models in single level because of their abundant, various and multi-level contents. A layered validation method of military conceptual models was advanced. The validation of military conceptual models is divided into three layers; system layer, model layer and design layer. The validation contents, the validation index, the validation process and the validation methods of each level of the conceptual models validation were analyzed. Advantages of the advanced method are to clear validation content and validation methods of each stage of conceptual modeling, decompound complexity of validation work and enhance the stage, hierarchy, pertinence and maneuverability of the validation work.

Keywords Military conceptual model, Layered validation, Ontology, Rule reasoning

1 引言

概念模型是对真实世界的首次抽象,是从需求分析到系统设计的一个桥梁,在仿真系统的开发与验收中发挥着极其重要的作用,但前提是其本身是正确、可信的。概念模型是否正确、可信,需要通过概念模型验证来确认。概念模型验证是保证其正确、可信的有效方法,也是降低系统开发费用和 risk,保证和提高整个仿真系统可信性、可重用性以及互操作性的重要手段。

军事概念模型具有内容庞杂、模型层次多、种类多、数量多等特点,其验证工作困难、复杂、繁琐,难以在单一层次上或不分层次地对其进行验证,因此需要将其分解为不同层次、不同类别进行验证。国防科学技术大学的唐见兵博士从信息论的角度将概念模型验证划分为语法验证、语义验证、语用验证、数据一致性验证4个层次^[1],笼统地分析了各层的验证内容和验证指标。这种划分方法没有体现概念模型描述对象内涵的层次性特点,难以具体确定各层的验证内容和验证方法。哈尔滨工业大学的王勇博士提出从数据层、语法层、语义层和

应用层这4个层次评估复杂仿真系统概念模型的质量,给出了各层评估指标的形式化获取方法^[2]。该方法仅仅适用于其所提出的一体化建模方法,一些评估指标获取仍然依赖于专家主观评定,而且该方法仅能尽量降低评估结果的主观因素。装甲兵工程学院的王杏林博士从概念模型本身和其描述形式的角度将概念模型验证划分为仿真需求、静态结构、动态行为以及仿真表现能力这4个层次^[3],分析了各层的验证内容、验证指标、验证方法。但是这种划分方法没有包含完整的军事概念模型的验证内容,也没有体现概念建模过程的阶段性。以上划分方法都是合理的,但是缺乏对概念模型内涵、建模过程的考虑,导致难以归纳各个层次上验证内容的共性,难以在各个层次实施分阶段、分类别的验证。本文依据军事概念模型的内容及其开发过程,并结合其特点,从宏观上将概念模型验证划分为系统层、模型层、设计层3个层次,然后再具体分析各个层次的验证内容、验证指标、验证过程、验证方法。这种划分方法较好地体现了军事活动的阶段性、军事世界的层次性、军事概念建模的阶段性的特点,进而可以分解验证工作的复杂性,增强验证工作的阶段性、层次性、针对性和可操作性。

到稿日期:2013-06-06 返修日期:2013-10-22 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; 杜晓明(1970—),男,博士,教授,主要研究方向为装备保障建模与仿真; 刘 彬(1984—),男,博士,主要研究方向为装备保障建模与仿真。

2 概念模型验证概述

概念模型验证是指从 M&S 预期应用角度,在领域专家的共同参与下,通过一系列检查、比较和修改等活动,分析并确定概念模型的正确性、一致性、完整性和可用性等特性,判断其是否满足建模与仿真需求的过程。概念模型验证主要包括两方面的含义:1)检查概念模型是否正确、完整地描述了真实系统;2)检查概念模型是否满足 M&S 的预期应用需求。

2.1 概念模型的内容

为了明确概念模型的验证内容,首先需要明确其本身包含的内容。由于目前对于概念模型的作用及其在仿真开发中的起始位置尚未形成定论,导致建模仿真界对于概念模型有很多不同的理解,对概念模型本身包含的内容尚未达成共识。本文总结现有的各种观点^[4-6],将军事概念模型的内容界定为如下 4 个部分:

1)背景知识库。背景知识库是真实世界各种专业领域的权威知识。它是概念描述的知识源,包括模型属性、假设约束、理论依据、军事系统的环境、组织结构、军事条令、军事规则等。

2)对真实世界的概念描述。主要描述真实军事系统“是什么”、“包含什么”、“如何运作”,具体包括对真实系统的实体、任务、结构、状态、行动、交互等元素的描述。

3)建模需求与仿真目标。主要描述所要实现的仿真系统“是什么”、“要做什么”、“要做到什么程度”等。建模需求包括用户需求和开发人员需求。用户需求是面向仿真系统最终用户的,主要反映用户对系统的期望。开发人员需求是面向系统开发人员的,将用户需求转化为对系统实现的具体要求,即所谓的“功能性需求”、“非功能性需求”。

4)剧情想定。剧情想定是仿真建模的初始化工作。它将仿真的目的和内容通过直观、简便的方式组织起来。

2.2 概念模型验证的实质

概念模型验证的实质是比较,其过程就是一系列对比活动的集合。其中蕴含的比较包括 3 个方面:1)概念模型产品之间一致性的比较;2)与现实世界进行比较,看是否与真实世界的情况相符,以及符合的程度;3)与需求的比较,看是否满足需求,以及满足的程度^[7]。具体而言,包括以下 4 种情况。

1)概念模型内部及相互之间的比较。例如概念模型在语法层次和语义层次的一致性检查,看是否有语法不一致或语义冲突的情况。

2)跟领域专家的经验、标准比较。例如在人工评审中领域专家利用已有的经验和标准来判断概念模型的质量。

3)跟用户头脑中的“期望”比较。看是否与用户的期望、预想和要求一致。例如在对概念模型的验证中,模型验证分析人员借用可执行模型方法,将概念模型的行为“展示”给用户看,进而与用户头脑中的“预想”相比较。

4)跟现实条件、标准和模板比较。例如在进行概念模型完整性判断时,需要与已有的模板进行比较,来判断内容或结构是否完备。

3 概念模型的多层次验证内容和指标

3.1 验证层次

概念模型验证具有一定的层次性。针对服务于任务类或过程类仿真的军事概念模型,本文从宏观上将其划分为系统层、模型层、设计层 3 个层次。其中系统层描述仿真需求和仿真目标,并阐明建模的前提、假设与约束,具体内容包括仿真背景、仿真目标、剧情想定;模型层运用形式化、结构化的语言以及算法、公式等来构架真实系统的模型,具体内容包括对军事问题中所涉及到的实体、实体的状态、实体之间的关系、实体所执行的任务、实体完成这些任务包括哪些行动、实体间有哪些交互、交互的效果是什么等进行详尽、规范、规范化的描述;设计层描述了如何从概念模型来划分和组建联邦成员,具体包括与 FOM&SOM 表的对应规则、与联邦成员功能划分的对应关系。

该划分方法结合了概念建模的全要素和全过程,依据这种划分方法可以较好地确定概念建模各阶段各层次的验证内容,进而构建完整的概念模型验证任务体系,实现对概念建模的全过程、全要素进行分阶段、分层次、分类别验证。

3.2 验证内容

在上小节对概念模型内容进行分层和界定的基础上,对军事概念模型各层的验证内容分析如下。

概念模型的系统层是具体模型开发的前提和基准,重点关注问题域研究范围和边界、建模的前提、相关假设条件与约束,其验证内容主要包括仿真需求、仿真目标、剧情想定、假设条件与约束等。

概念模型的模型层从实体、任务、结构、状态、行动、交互这 6 个方面对真实系统进行结构化、逻辑化、数学化和算法化的描述,可以将其归纳为任务模型、实体模型、结构模型、状态模型、行为模型、交互模型 6 类模型。它是概念模型的核心部分,其验证内容主要包括这 6 类模型自身及其相互关系。可以从模型自身、同类模型之间以及异类模型之间这 3 个方面来确定模型层验证的具体内容。

概念模型的设计层描述了如何从概念模型来划分和组建联邦成员,重点关注模型层的内容如何分解组织形成联邦成员,其验证内容主要包括详细想定,联邦成员的规划、设计与配置,联邦成员的功能和性能。

3.3 验证指标

概念模型验证的指标是指用以评价概念模型质量的一组属性。依据上节中对概念模型各层验证内容的分析和层次划分,以下具体分析其各个层次的验证指标。

概念模型系统层的验证指标包括从用户域需求和问题域需求映射得到的仿真目的,仿真范围,仿真域需求的完整性、准确性、可追溯性,以及假设与约束条件的合理性。

概念模型模型层的验证指标包括 6 类模型对原型系统建模的准确性、完备性、逼真性、完整性、可用性等以及 6 类模型相互之间的一致性。

概念模型设计层的验证指标包括概念模型元素表示的详细想定的正确性、想定活动时间表的合理性、联邦成员的规划与设计的合理性、联邦成员配置信息的正确性、联邦成员功能

与性能的完整性。

综上所述,概念模型的验证层次、验证内容和验证指标,可总结为图1所示。

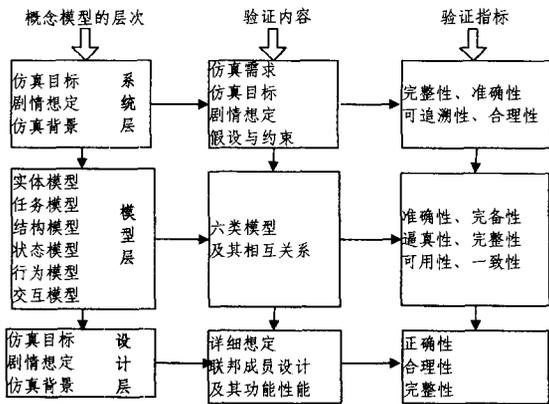


图1 概念模型验证的层次、内容和指标

4 概念模型的多层次验证过程和方法

4.1 验证过程

文献[8,9]阐述的验证过程模型较为笼统,本文对其进行深化,给出了一个较为详细的9步骤过程模型,如图2所示。



图2 概念模型验证9步骤过程模型

明确仿真用途是指明确概念模型的最终仿真用途是什么。分析仿真需求是指明确开发概念模型的需求是什么。确定验证范围是指依据仿真用途和仿真需求确定需要验证概念模型哪些内容以及验证到什么程度。制定可接受标准是指明确概念模型应该具备的功能、性能、标准及要求。分解可接受标准是把一般性的可接受标准逐步分解成具体的和可比较的标准,进而明确需要收集的数据和进行的评估活动,以便使M&S用户或权威认可机构做出最终认可决策。获取比较基准是根据分解的可接受标准,从领域专家、权威数据源获取数据。确定验证内容与指标是根据获取到的比较基准,确定可以验证的概念模型内容和指标。选取恰当的验证方法是根据确定的验证内容与指标,选取合适的验证方法。实施验证步骤是指使用验证方法实施验证,并分析结果、查找不足、分析原因。

4.2 验证方法

通过分析各个层次验证内容的特点,给出各个层次适用的验证方法。

1) 系统层

系统层是多方人员相互协商的结果,是具体模型开发的起点、前提和基准,具有指导性、约束性、抽象性等特点。内容上定性成分多,定量成分少,表现形式上主要有自然语言和图形化模型两种。该层的验证主要依赖于领域专家、相关业务人员、最终用户、仿真专家、项目开发人员和项目评审人员的知识经验,并且需要他们达成一致意见。该层的验证方法主要是非形式化验证方法,包括自查、走查、审核、检查、审查、桌面检查法、表面验证法、专家评审法等。

2) 模型层

模型层是在系统层的指导约束下,对现实世界的本质属性、客观规律、相关数据的结构化、逻辑化、数学化和算法化描述,是概念模型的核心部分。内容上业务性、数据性较强,模型的种类、数量、定量成分较多,主要有图、文、表、数据4种表现形式。该层可以采用定性定量相结合的验证方法,定性验证方法有专家评审法,定量验证方法有仿真验证法、可执行验证法^[10,11]。定性验证方法的验证内容有限,定量验证方法的验证过程较繁琐、验证效率较低、验证成本较高,适用的验证内容较窄。为了降低验证方法的复杂性,提高验证方法的通用性、验证效率及拓展验证范围,本文提出一种基于本体与规则推理的半形式化验证方法,用于验证模型层的6类模型的属性及其相互关系的正确性。模型的属性及其之间的相互关系是该层的主要内容,因此该方法的适用性较强,使用这种方法就可以完成需要综合几种方法才能完成的验证内容,效率较高。

它的基本原理是:将自然语言、图形化语言、形式化语言描述的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库,然后运用本体的查询推理机制,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验证人员,供其对概念模型进行修正。其基本思路是:首先将非形式化语言描述的军事概念模型转化为本体描述语言OWL(Web Ontology Language)描述的支持语义推理的形式化模型,并运用规则描述语言SWRL(Semantic Web Rule Language)构建军事验证规则,通过在推理机中进行模型的自动推理,检验模型是否满足验证规则,进而对概念模型进行检查、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,在计算机上实现语义的自动化验证。该方法可以实现概念模型语义验证的自动化,降低形式化验证方法的复杂性,减少专家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。

3) 设计层

设计层描述了如何依据模型层内容来分解和组织形成联邦成员,如何分配成员功能与对象,以及如何构建整个仿真系统。表现形式上主要有自然语言和表格。该层主要由仿真设计人员完成,因此其验证需要借助于仿真专家的知识经验。在该层可以采用基于领域本体的验证方法,对仿真想定进行验证^[12];采用基于时态逻辑的形式化校核方法和基于Petri网的形式化校核方法,对联邦概念模型的逻辑和行为进行验证^[13];采用基于行为及其影响的定性推理方法,对联邦概念模型的功能和行为进行验证^[14];由于该层的内容离系统的仿真模型很接近,还可以借鉴软件工程测试的理论和方法对其进行验证。

结束语 本文在分析军事概念模型验证内容的特点和验证实质的基础上,提出军事概念模型多层次验证方法。依据军事概念模型的开发过程,从宏观上将其验证划分为系统层、模型层、设计层3个层次,并分析了各层的具体验证内容、验证指标、验证过程及验证方法。这分解了验证工作的复杂性,增强了验证工作的阶段性、层次性、针对性和可操作性。根据模型层概念模型的特点,将其验证内容归纳为6类模型自身的属性及其相互关系,并提出基于本体与规则推理的验证方法来验证该层内容。本文的研究工作进一步明确了概念模型

验证工作的目标、阶段、层次、内容、指标、方法、过程,为后续从概念建模的全过程、全要素的角度来对其验证打下了基础。

参考文献

[1] 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

[2] 王勇. 复杂仿真系统概念模型建立与评估方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009

[3] 王杏林. 概念建模[M]. 北京:国防工业出版社,2007:125-131

[4] Pace D K. Ideas About Simulation Conceptual Model Development[J]. Johns Hopkins APL Technical Digest, 2000, 21(3): 327-336

[5] Johnson, Thomas H. Mission Space Model Development, Reuse and the Conceptual Models of the Mission Space Toolset[C]// Spring Simulation Interoperability Workshop Papers, 2003: 893-900

[6] 吴水波,何晓晔,谭东风. 军事建模仿真中概念模型定义比较

[J]. 火力与指挥控制,2007,32(11):49-53

[7] 刘彬. 仿真系统概念模型验证方法的分析与选择[J]. 计算机仿真,2012,29(5):111-115

[8] 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

[9] 张琦,王达,黄柯棣. 概念模型描述方法和验证过程[J]. 计算机仿真,2004,21(12):70-72

[10] 黄力. 基于 Statechart 图的 C4ISR 系统体系结构验证方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2004

[11] 付广胜. 基于 xUML 可执行模型的概念模型需求开发与验证方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2007

[12] 陈健. 基于本体的仿真想定校验方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2009

[13] 杨惠珍,李家宽,康凤举. 联邦概念模型及其 VV&A 研究[J]. 计算机仿真,2009,26(7):109-112

[14] 胡鹏,邵晨曦. 一种军事仿真概念模型的完整性评估方法[J]. 系统仿真学报,2008,20(16):4207-4210

(上接第 244 页)

4 实例分析

采用文献[7]实例分析中的数据来说明本文的决策方法。

一个家庭欲购买一台冰箱,现有 5 种品牌冰箱 $x_i (i=1, 2, \dots, 5)$ 可供选择,主要的评价属性有 6 项: u_1 为安全性; u_2 为制冷性能; u_3 为结构性; u_4 为可靠性; u_5 为经济性; u_6 为美观性。利用统计方法,得到方案 x_i 对属性 u_j 的满足程度 μ_{ij} 和不满足程度 $\nu_{ij} (i=1, 2, \dots, 5; j=1, 2, \dots, 6)$, 记为直觉模糊数 $\tilde{r}_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$, 具体如表 1 所列。

表 1 直觉模糊决策矩阵

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6
x_1	(0.3, 0.5)	(0.6, 0.3)	(0.6, 0.4)	(0.8, 0.2)	(0.4, 0.5)	(0.5, 0.3)
x_2	(0.7, 0.3)	(0.5, 0.3)	(0.7, 0.2)	(0.7, 0.1)	(0.5, 0.4)	(0.4, 0.1)
x_3	(0.4, 0.3)	(0.7, 0.2)	(0.5, 0.4)	(0.6, 0.3)	(0.4, 0.3)	(0.3, 0.2)
x_4	(0.6, 0.2)	(0.5, 0.4)	(0.3, 0.2)	(0.3, 0.2)	(0.5, 0.4)	(0.7, 0.3)
x_5	(0.5, 0.3)	(0.3, 0.5)	(0.6, 0.3)	(0.6, 0.2)	(0.6, 0.2)	(0.5, 0.2)

基于直觉模糊决策矩阵,建立二次规划模型,利用式(11)求得最优属性权重向量为

$$w^+ = (0.1204, 0.1151, 0.2409, 0.1454, 0.2141, 0.1641)^T$$

然后利用式(12)计算各方案的综合属性值:

$$\tilde{r}_1 = (0.5623, 0.3596); \tilde{r}_2 = (0.6023, 0.2060);$$

$$\tilde{r}_3 = (0.4874, 0.2871); \tilde{r}_4 = (0.5844, 0.2686);$$

$$\tilde{r}_5 = (0.5454, 0.2573)$$

计算各方案的综合属性值的得分函数值:

$$s(\tilde{r}_1) = 0.2027; s(\tilde{r}_2) = 0.3963; s(\tilde{r}_3) = 0.2003;$$

$$s(\tilde{r}_4) = 0.3158; s(\tilde{r}_5) = 0.2881$$

由于 $s(\tilde{r}_2) > s(\tilde{r}_4) > s(\tilde{r}_5) > s(\tilde{r}_1) > s(\tilde{r}_3)$, 得分函数值全不相等,不需要计算精确函数值,故决策者选择的优先顺序为 $x_2 > x_4 > x_5 > x_1 > x_3$, 即首先考虑冰箱 x_2 作为最优购买方案。

结束语 本文的主要贡献是针对属性权重完全未知且属性值为直觉模糊数形式的多属性决策问题,提出了一种基于

二次规划模型的决策方法。该方法的基本思想是充分利用已有的决策信息,基于属性值偏差平方和最大建立一个二次规划模型,通过求解该模型获得属性权重。然后利用集结算子进行集结,得到各方案的综合属性值,并根据其得分函数和精确函数值的大小对方案进行优劣排序。实例分析表明,该方法实用可行,具有很好的可操作性。

参考文献

[1] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96

[2] Zadeh L A. Fuzzy sets [J]. Information and Control, 1965, 8(3): 338-356

[3] Atanassov K. Intuitionistic Fuzzy Sets: Theory and Applications [M]. Heidelberg: Physica-Verlag, 1999

[4] Bustince H, Herrera F, Montero J. Fuzzy Sets and Their Extensions: Representation, Aggregation and Models [M]. Heidelberg: Physica-Verlag, 2007

[5] 徐泽水. 直觉模糊信息集成理论及应用[M]. 北京:科学出版社, 2008

[6] Atanassov K, Pasi G, Yager R R. Intuitionistic fuzzy interpretations of multi-criteria multi-person and multi-measurement tool decision making[J]. International Journal of Systems Science, 2005, 36(14/15): 859-868

[7] 徐泽水. 直觉模糊偏好信息下的多属性决策途径[J]. 系统工程理论与实践, 2007(11): 62-71

[8] 杨红军, 雷董礼. 基于直觉模糊集多属性决策的灰色关联分析法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(9): 155-157

[9] 张市芳, 刘三阳, 翟任何. 动态直觉模糊多属性决策的 VIKOR 扩展方法[J]. 计算机科学, 2012, 39(2): 240-243

[10] Wei Gui-wu. Maximizing deviation method for multiple attribute decision making in intuitionistic fuzzy setting[J]. Knowledge-Based Systems, 2008, 21(8): 833-836

[11] 周文坤. 一种不确定型多属性决策的组合方法[J]. 系统工程, 2006, 24(2): 96-100