

文章编号: 1001- 2486(2009) 03- 0122- 05

复杂大系统仿真的 VV&A 理论及过程研究*

唐见兵^{1,2}, 黄晓慧³, 焦 鹏¹, 查亚兵¹

(1. 国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073;

2. 国防科技大学 指挥军官基础教育学院, 湖南 长沙 410073;

3. 国防科技大学 人文与社会科学学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 为了确保复杂大系统仿真(LCSS)的可信性, 应该在建模与仿真(M&S)的全生命周期中开展校核、验证与确认(VV&A)研究。对 LCSS 的 VV&A 进行了理论研究, 提出其方法论与原则; 以基于仿真组件构建的 HLA 仿真系统为例, 从仿真组件层、联邦成员层及联邦层三个层面研究了 VV&A 过程, 并将这些研究应用于反舰导弹突防联邦仿真中。实践表明, 研究对 LCSS 的 VV&A 工作具有很好的指导作用, 有力地保障了仿真的可信性。

关键词: 复杂大系统仿真; 校核、验证与确认; 校核与验证; 方法论; 可信性

中图分类号: TP391. 9 文献标识码: A

Research on the VV&A Theory and Process of Large-scale Complex System Simulation

TANG Jian-bing^{1,2}, HUANG Xiao-hui³, JIAO Peng¹, ZHA Ya-bing¹

(1. College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. College of Basic Education for Commanding Officers, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

3. College of Humanities and Social Sciences, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: To insure the credibility of large-scale complex system simulation, it is very significant to study verification, validation and accreditation in modeling and simulation of the whole life cycle. The VV&A methodology and principle for LCSS are represented by theoretic research. Taking the case of HLS simulators for example, the VV&A process is studied at three levels, the simulation component, federate and federation levels. The research is applied in the anti-ship missile's penetration federation. The practice shows that this research will give good guidance to the VV&A job for LCSS, which will ensure the credibility of simulation.

Key words: large-scale complex system simulation (LCSS); verification, validation and accreditation (VV&A); verification and validation (V&V); methodology; credibility

20 世纪 80 年代中期, 美国国防部提出并应用了先进分布式仿真技术, 使复杂大系统的仿真成为可能, 但是复杂大系统面临着环境、对象和任务等方面的复杂性问题, 给它的仿真带来了严峻的考验。仿真可信度能否达到要求, 直接关系到仿真系统应用的成败^[1]。因此, 为了确保复杂大系统仿真(Large-scale Complex System Simulation, LCSS)的可信度, 必须对仿真的全过程进行校核、验证与确认(Verification, Validation and Accreditation, VV&A)。

1 复杂大系统仿真的 VV&A 理论研究

LCSS 的 VV&A 理论一般包括概念、方法论、意义、原则、方法等, 国内外对一般的系统仿真的 VV&A 概念、意义、原则及方法研究比较多, 但对 VV&A 的方法论研究还没有。

1.1 VV&A 的方法论

钱学森院士提出了处理开放的复杂巨系统的方法论是“从定性到定量综合集成方法”, 简称为综合

* 收稿日期: 2008- 12- 01

基金项目: 国防部委资助项目(513040104)

作者简介: 唐见兵(1974-), 男, 讲师, 博士生。

集成方法,后来发展为“综合集成研讨厅体系”;美国工程师霍尔(A. D. Hall)提出了研究复杂大系统的“三维结构”,即时间维、逻辑维和知识维;顾基发教授提出了“物理—事理—人理(WSR)方法论”。由于LCSS面向的对象是复杂大系统,所建立的仿真系统也是复杂大系统,因此本文在借鉴上述方法论的基础上,试探性地提出了LCSS的VV&A方法论。它主要由定性与定量相结合方法、VV&A立方体和WSR视点组成,其中定性与定量相结合方法是从VV&A的整体方面进行指导,VV&A立方体和WSR视点是开展VV&A工作的角度进行指导。

(1) 定性与定量相结合方法

LCSS具有多层次性,低层仿真主要在于技术层面,它的校核与验证(Verification and Validation, V&V)工作容易开展,可以得到定量的V&V结果;而高层仿真往往会产生“涌现性”,验证工作困难,只能进行定性分析。如作战仿真,它可以划分为战略仿真、战役仿真、战术仿真及技术仿真四个层次。作为低层作战仿真(如战术层和技术层),技术成分高、规律性强、思考成分轻,对它们以定量为主、定性为辅进行V&V,而且可以将V&V结果作为高层作战仿真V&V的输入;作为高层作战仿真(如战略层和战役层),艺术成分高、规律性弱、思考成分重,系统可能会出现“涌现”现象,不符合还原论,无法对系统进行验证,只能通过测试来进行校核,对它们的VV&A很难定量,只能定性分析。综合集成方法论提出的“从多方面定性认识上升到对整体的定量认识”起到了很好的借鉴作用。

(2) VV&A立方体

本文首次试探性地给出研究LCSS的VV&A的“三维结构”——VV&A立方体,如图1所示。

在VV&A立方体结构中,时间维表示LCSS的VV&A的时间进程,即VV&A的基本过程,它分为需求校核、概念模型验证、设计校核、实现校核、结果验证以及仿真确认六个阶段;逻辑维是指每一个VV&A过程所要进行的工作步骤,包括目的、内容、参与人员、所需资源以及预期结果等五个方面;知识维是指在开展VV&A活动中需要用到知识,主要有军事学、系统科学、运筹学、管理学、社会学、计算机科学、信息技术及工程技术等方面的知识。

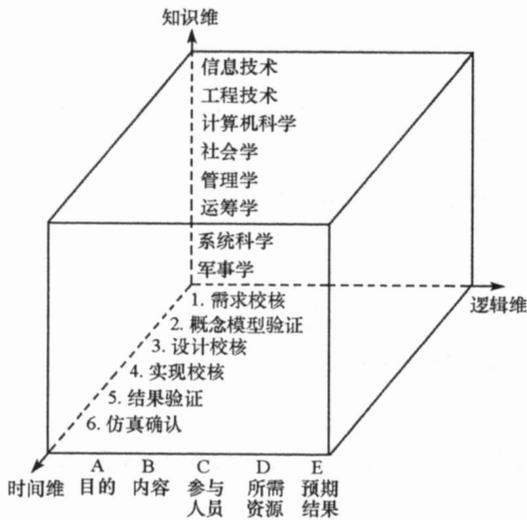


图1 VV&A立方体
Fig. 1 The cube of VV&A



图2 VV&A的WSR视点
Fig. 2 The WSR view of VV&A

(3) VV&A的WSR视点

顾基发教授提出的“WSR方法论”对LCSS的VV&A研究有很好的启示作用。因为VV&A不但是一项技术工作,需要懂“物理”;而且也是一门对LCSS的全面质量管理技术,需要明“事理”,即如何去安排VV&A工作;同时为了很好地完成VV&A工作,还需要不断地与人打交道,需要通“人理”。本文试探性地给出VV&A的WSR视点(如图2)。

图2中,“物理”是指在开展VV&A工作中需要知晓的多种技术知识,包括网络、计算机技术、软件技术、控制技术、信息技术及工程技术等;“事理”是指执行VV&A工作的道理,包括VV&A的目的、意义、原

则、规范、流程及方法等;“人理”是指为了最有利于VV&A工作的开展,哪些组织及相关人员进行沟通、协调,相关人员包括用户、设计开发人员、领域专家、第三方评测机构等。

1.2 VV&A原则

VV&A原则是指一种可接受的或被承认的VV&A行为或规则。美国国防部发表的VV&A建议指导规范归纳总结了普遍适用的12条VV&A的基本原则^[3], Balci等提出了仿真模型校核、验证与测试(VV&T)的15条原则^[3-4]。但本文认为LCSS的VV&A除了遵循上述的基本原则外,还应该遵循以下原则:

原则1: 伴随LCSS全生命周期原则

VV&A工作的对象是LCSS的产品及过程,它不是LCSS生命周期的一个阶段或步骤,而是贯穿于仿真全生命周期的一项连续活动。

原则2: 全系统原则

复杂仿真系统是由许多子系统或分系统构成,每一个子系统或分系统又可以细分为模块或单元,它们中的任何一个部分的可信性都必将影响到整个系统的可信性。

原则3: 由下而上逐层逐级实施原则

多层次性是LCSS的一个典型特征,而且随着层次的增加,仿真的规模不断扩大。VV&A工作应遵循由下而上、逐层逐级实施的原则。

原则4: 所有研制人员全程具有VV&A义务原则

除了VV&A人员全程具有VV&A义务外,参与研制的每个单位和个人都有VV&A义务,应尽可能证明自己的开发过程的每一步及其输出产品都是可信的。

原则5: 管理全方位原则

LCSS的仿真的VV&A不仅是一项仿真技术,还是一门管理技术。管理全方位VV&A包含对人员、模型、数据、文档、规范、VV&A过程以及全程的质量管理。

2 复杂大系统仿真的VV&A过程研究

VV&A过程是指开展VV&A工作的流程。Balci等将仿真生命周期概括为10个阶段和13个VV&A过程^[4],美国国防部VV&A建议指导规范把仿真系统生命周期中的VV&A工作划分为7个主要阶段^[2],文献[5]等提出了分布交互仿真VV&A的9步参考模型,文献[6]针对IEEE 1516.3版的FEDEP的8个阶段的VV&A过程,对于VV&A工作起到了较好的指导作用。

本文以基于仿真组件的HLA仿真联邦为例,提出其FEDEP及VV&A过程模型^[7-9]。如图3所示,将LCSS分为三个层面,由高到低依次定义为联邦层、联邦成员层和仿真组件层。图中正中间的虚框为联邦FEDEP,两边的实框分别为对应的VV&A活动及相应的文档信息。

2.1 仿真组件层的VV&A

仿真组件是指语义完整、语法正确且具有重用价值的仿真软件单元。它是构建HLA仿真系统可重用的基本模块,由它组装成联邦成员,进而构建联邦。

(1) 校核仿真组件需求

仿真组件需求主要分为数据、功能和质量需求。校核仿真组件需求主要检查:仿真组件的输入、输出数据以及组件内部存储的数据;仿真组件如何记录、计算、转换和传输数据,以及组件的接口功能;仿真组件执行预期的性能指标,即组件的性能、可用性、完整性和可维护性等。

(2) 验证仿真组件概念模型

仿真组件概念模型^[10]包含模式描述表、状态机、概念实体类型表和概念事件类型表。它的验证主要是根据组件需求规格说明文档来验证组件模式和状态机描述的概念模型是否符合开发人员的意图,包括语法验证和语义验证,可以采用静态检查和动态测试的方法来验证仿真组件概念模型。

(3) 校核仿真组件设计

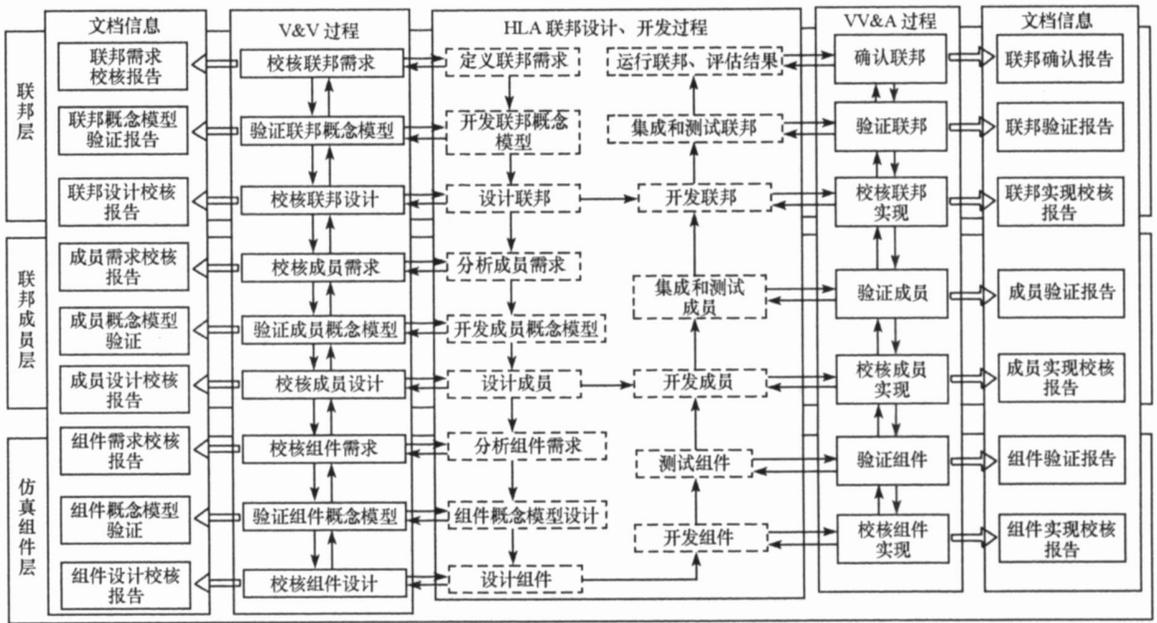


图 3 基于仿真组件的 HLA 仿真及其 VV&A 过程

Fig. 3 The process of HLA simulation and VV&A based on simulation component

仿真组件主要由组件描述文件、组件数据文件和代码执行体三部分组成^[10]。组件设计校核需要开发人员和 VV&A 人员共同参与,对组件描述文件、组件数据文件和代码执行体的设计进行一一检查、核对,最后形成组件设计校核报告。

(4) 校核仿真组件实现

校核仿真组件实现主要包括:校核需求转换,即检查从设计到代码对需求的转换过程是否正确和完整;校核程序代码,即从动态和静态两个方面对程序代码进行检查和测试,以识别潜在的错误;校核仿真组件初始化数据,保证数据应用的正确性和完整性;校核仿真组件的接口,确保仿真组件之间的互操作性。

(5) 验证仿真组件

验证仿真组件就是检验组件在一定的应用下是否满足组件的设计需求,主要包括组件功能测试、质量测试及组件接口测试^[9]。

(6) 组件确认

经过全面 V&V 后,搜集各种组件开发信息及其 V&V 文档,由确认专家对仿真组件进行确认,经过确认后的仿真组件可以存储到组件库中,以被使用和重用。

2.2 联邦成员层的 VV&A

对于基于仿真组件的 HLA 仿真系统,联邦成员通常是在系统运行前,根据成员规划信息产生的联邦成员配置信息组装仿真组件动态生成的,不需要编写代码,故联邦成员层的开发工作主要在于设计和实现。由于篇幅的原因,本文只介绍主要的 VV&A 工作:

(1) 校核联邦成员设计

首先要检查联邦成员的设计的合理性,即检查联邦成员的概念需求是否正确地分配给各个联邦成员中的每个仿真组件;其次检查联邦成员配置信息是否正确,即检查配置信息描述的构建联邦成员的仿真模型组件之间的数据公布和订购关系是否完备。

(2) 校核联邦成员实现

在将仿真组件组装成联邦成员之前,要将所有需要组装的仿真组件进行互操作性和时空一致性测试。

(3) 验证联邦成员

对所有的联邦成员进行功能和性能测试,检查其是否满足联邦成员的功能和性能需求。

经过全面 V&V 和确认后的联邦成员就可以用来构成仿真联邦。从广义上说,联邦成员也可以看成

是仿真联邦的组件。

2.3 仿真联邦层的 VV&A

文献[9]对联邦的 VV&A 工作做了详细的介绍,本文介绍与之不同之处:校核联邦设计、校核联邦实现和验证联邦。

(1) 校核联邦设计

首先评估 HLA 仿真系统的体系设计是否符合 HLA 联邦设计和 RTI 的接口要求;其次校核联邦的规划与设计,即检查联邦的概念需求是否正确分配给各个联邦成员,并且在成员以及联邦中有效地表示。

(2) 校核联邦实现

首先,校核 RTI 和已确认的联邦成员与 RTI 接口规范一致性;其次,以从顶层到底层的方式监控联邦设计的完备性和一致性,包括联邦数据交换、数据质量以及数据的合理使用;最后,校核联邦程序代码,可以采用动态和静态的方法进行分析和测试。

(3) 验证联邦

首先,检查和评估集成测试计划的完备性和恰当性;其次,对每一个联邦成员进行兼容性和互操作性测试;再次,对仿真联邦进行集成测试,参考联邦的测试文档,结合仿真联邦目标验证它是否满足设计要求,是否实现了系统的目标;最后,根据所得测试结果,对仿真联邦进行可信性评估。

以上三个层面的所有 VV&A 工作都有相关的文档信息支持。

3 应用举例

仿真需求:建立一个反舰导弹突防仿真联邦,验证在蓝方舰载反导拦截器火力防御下,红方某型号反舰导弹对蓝方某型号舰的突防打击能力。

表 1 反舰导弹突防仿真联邦的组成结构

Tab. 1 Structure of the anti-ship missile's penetration federation

联邦成员	仿真组件
反舰导弹联邦成员	反舰导弹组件、导弹火控组件、发射控制组件
舰船联邦成员	舰载探测雷达组件、编队指挥控制组件、单舰指挥控制组件、舰船平台组件
防空导弹联邦成员	导弹武器控制组件、发射控制组件、防空导弹组件
防空火炮联邦成员	发射控制组件
舰载无源对抗联邦成员	干扰弹组件、发射控制组件

通过分析与设计,该仿真是一个 LCSS,此联邦由 6 个联邦成员及若干仿真组件构成^[9-10](如表 1)。为了确保该 LCSS 的可信性,遵照前文提到的 VV&A 原则,在 LCSS 的 VV&A 方法论的指导下,从组件层、成员层及联邦层对它开展 VV&A。经过全面 V&V 后的仿真组件及联邦成员都具有较高的可信度,能够为整个仿真联邦提供了可信性支持。通过联邦集成测试,发现该仿真联邦具有较好的突防能力^[10](如图 4 所示)。综合各项评估结果,发现系统文档比较完备,模型和数据的可靠性、恰当性符合要求,但数据完整性和模型的逼真度略有欠缺。经多位专家综合评定,该仿真系统是可用的和可信的,仿真联邦能够被确认。

某反舰导弹对蓝 1 型舰和蓝 2 型舰的突防能力

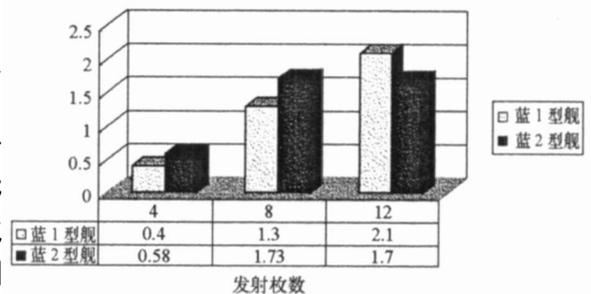


图 4 不同枚数条件下某反舰导弹的突防能力

Fig. 4 Penetration ability for the anti-ship missile

(下转第 131 页)

需要进行数据合并操作。但是,由于需要通过网上传输数据,大大增加网络负担,可能影响仿真系统的性能;分散式不需网上传输数据,数据采集不会影响仿真系统性能,但需要进行数据合并操作,不便于研究人员与仿真同步分析研究。在仿真成员数量不多时,采用集中式数据采集;反之,采用分布式数据采集。

3.3 支持评估的结果数据处理

采用同一想定,在不同的指挥体系仿真联邦中运行,采集得到各种指挥活动的时间和准确完成与否等基础数据。对采集的基础数据主要进行统计处理,得到指挥流程时间和准确完成指挥活动的次数统计量,如指挥机构领受任务后须从下达号令开始到团站级指挥机构下达指令为止的时间。根据时间和活动成功完成次数、指挥活动并行率等统计量,可以确定哪种指挥体制方案较优。

4 结束语

指挥体制方案的确立关系到联合作战中指挥体系的效率,进行定量评估,能够增强指挥体制方案选择的科学性。本文通过评估对应的实体形式——指挥体系的效能来评估指挥体制方案,构建了基于作战指挥活动能力的指挥体系效能指标体系,并采用仿真演示方法,定量计算指挥活动的完成时间和准确性,获得评估的基础数据。由于侦察、通信和决策三种基本活动的完成时间和准确性与指挥体系设置和指挥工具性能密切相关,评估又具有相对性,因此,基于仿真演示的评估方法是可行的。但是,限于时间以及软件开发运行环境,本文只是提出了联合作战中空间力量指挥体制方案评估的方法,还有不少问题有待深入研究。

参考文献:

- [1] 任海泉. 军队指挥学[M]. 北京:国防大学出版社,2007.
- [2] 汪江淮,卢利华. 联合战役作战指挥[M]. 北京:国防大学出版社,2000.
- [3] 常显奇,等. 军事航天学[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [4] 冷宣兵,王平,张立. 舰空导弹总体设计方案评估研究[J]. 武器装备自动化,2007,26(10):3-4.
- [5] 廉浩,高超. 作战飞机方案设计评估指标体系研究[J]. 计算机仿真,2007,24(7):59-61.
- [6] Buoni F B. Command Decision Modeling Overview[R]. Lockheed Martin Information Systems Orlando FL, Technical Report, ADA324298, 1997: 5-13.
- [7] Payne D. Command Decision Modeling Technology Assessment[R]. Army Artificial Intelligent Center, Technical Report, ADA334926, 1996: 16-27.
- [8] Sheridan B. An Adaptive Decision Aid for Real Environment[J]. IEEE Trans, 1995, 25(10): 1334-1391.
- [9] 江林. 军队指挥的科学[M]. 北京:军事科学出版社,2002.

(上接第126页)

4 结束语

LCSS是当前研究的热点也是难点,在国防和军事领域中有很好的应用前景,对它开展VV&A研究十分必要。本文针对LCSS,提出了其VV&A的方法论、原则及过程,这些研究在反舰导弹突防仿真的VV&A中得到了很好应用。

参考文献:

- [1] 王子才,等. 仿真系统的校核、验证与验收(VV&A):现状与未来[J]. 系统仿真学报,1999,11(5):321-325.
- [2] Defense U S. Modeling and Simulation Office (DMSO). Verification, Validation and Accreditation (VV&A) Recommended Practices Guide[R/OL]. <http://vva.dmsa.mil>, Build 2.5, 2004.
- [3] 廖英,等. 系统建模与仿真的校核、验证与确认(VV&A)技术[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2006.
- [4] Balci O. Verification, Validation and Accreditation[C]//Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1998.
- [5] Dobby V T, Lewis R O. Verification, Validation, and Accreditation (VV&A) Process Overlay for the FEDEP[C]//Spring SIW,2003.
- [6] 曹星平. HLA 仿真系统的校核验证与确认研究[D]. 长沙:国防科技大学,2004.
- [7] 唐见兵,李革. HLA 作战仿真的 VV&A 过程[J]. 计算机工程,2007,33(14):254-256.
- [8] 唐见兵,等. 基于 HLA 的作战仿真系统的 VV&A 研究[J]. 系统仿真技术及应用,2007,9(9):415-418.
- [9] 唐见兵,等. 基于 BOM 的 HLA 仿真系统可信性研究[J]. 国防科技大学学报,2008,30(5):131-134.
- [10] 龚建兴,等. 构建可扩展的 HLA 联邦成员架构[J]. 系统仿真学报,2006,18(11):3126-3130.