

doi: 10.7690/bgzd.2023.06.015

# LVC 联合仿真可信度评估研究

张安民, 崔连虎

(中国人民解放军 91336 部队, 河北 秦皇岛 066326)

**摘要:** 针对真实—虚拟—构造 (live-virtual-constructive, LVC) 联合仿真可信度评估问题, 深入分析 LVC 联合仿真系统体系结构、模型构成、应用方向及仿真流程。将系统构建阶段的模型校验与仿真应用阶段的分析评估相结合, 提出一套工程实用的仿真可信度评估技术框架, 并结合具体案例给出可信度评估实施方法流程, 实现 LVC 联合仿真可信度量化评估。应用结果表明: 该方法可融合领域专家经验知识, 客观反映仿真系统可信程度, 形成与专家认知相一致的量化评估结论, 可有效支撑仿真可信度提升与应用效益发挥。

**关键词:** LVC; 联合仿真试验; 模型校验; 仿真可信度; 可信度评估

**中图分类号:** TP391.9 **文献标志码:** A

## Research on Credibility Evaluation of LVC Co-simulation

Zhang Anmin, Cui Lianhu

(No. 91336 Unit of PLA, Qinhuangdao 066326, China)

**Abstract:** Aiming at the credibility evaluation of live-virtual-constructive (LVC) co-simulation, the architecture, model composition, application direction and simulation process of LVC co-simulation system are analyzed in depth. Combining the model verification in the system construction phase with the analysis and evaluation in the simulation application phase, a set of practical technical framework for simulation credibility evaluation is proposed, and the implementation method and process of credibility evaluation are given with a specific case to realize the quantitative evaluation of LVC co-simulation credibility. The application results show that the method can integrate the experience and knowledge of experts in the field, objectively reflect the credibility of the simulation system, and form a quantitative evaluation conclusion consistent with the expert cognition, which can effectively support the improvement of simulation credibility and the exertion of application benefits.

**Keywords:** LVC; co-simulation test; model verification; simulation credibility; credibility evaluation

## 0 引言

随着电子信息技术在军事领域的广泛应用, 武器装备朝着信息化、体系化的方向快速发展, 体系对抗正成为信息化战争的重要特征。在体系化军事思维指导下, 武器装备试验工作的重点正从传统的性能试验转向作战试验, 特别关注某一武器装备在装备体系下的连通性、适应性, 体系支撑下的作战效能以及体系贡献率等内容, 更加关注武器装备在实战条件和对抗环境下的作战效能发挥问题。为适应这一变化, 基于真实—虚拟—构造 (LVC) 的虚实合成试验技术得到迅速发展, 其核心思想是利用分布式交互技术, 将多个靶场的实装、虚拟和构造仿真等现有试验资源结合起来, 用系统集成方法构建一个与体系化武器装备特征相匹配的虚实合成仿真试验环境条件, 考核武器装备的体系适应性、在体系环境下任务效能和体系贡献率<sup>[1-3]</sup>。LVC 虚实合成试验环境具有通用可扩展性强、支持异构系统互

联互操作、系统实时交互等优点, 但存在系统结构复杂、模型粒度不一等实际问题, 导致仿真试验用户难以准确理解和掌握仿真可信度, 一定程度上制约了其应用效益的发挥; 因此, 有必要深入研究 LVC 虚实合成仿真试验的可信度评估技术框架, 面向特定应用给出关于仿真可信度的量化评价, 提高开展仿真试验的信心和应用效益。

笔者以海战场导弹攻防对抗联合仿真试验为应用背景, 提出 LVC 联合仿真可信度评估技术框架, 指导工程实践。

## 1 LVC 联合仿真及其可信度评估问题

### 1.1 LVC 联合仿真试验

LVC 联合仿真技术在武器装备试验领域得到了普遍重视和快速发展。基于 LVC 技术开展作战仿真试验, 本质上是把想定的作战场景分别投射到外场试验、内场半实物仿真和数字仿真等各个试验域,

收稿日期: 2023-02-18; 修回日期: 2023-03-15

作者简介: 张安民 (1977—), 男, 河北人, 高级工程师, 从事精确制导仿真试验、电子对抗仿真试验与评估研究。E-mail: 18931908202@189.cn。

各试验域分别仿真作战场景中的不同部分，并通过 LVC 联合试验基础支撑平台实现互联互通，共同模拟一个完整的作战场景及作战过程<sup>[2-4]</sup>。以海战场导弹攻防对抗作战仿真为例，作战场景映射关系如图 1 所示。

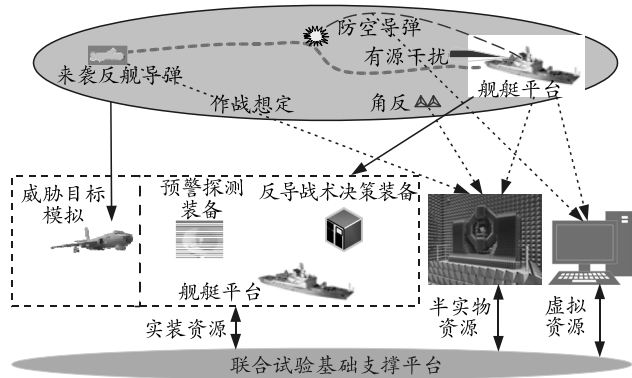


图 1 作战场景与 LVC 资源映射关系

上图中，作战场景想定为单枚反舰导弹攻击我方舰艇，我舰艇综合利用舰载有源干扰、无源干扰（角反）、防空导弹抗击来袭反舰导弹。试验目的包括 2 方面：1) 检验软硬武器协同反导流程的合理性、可行性；2) 考核舰艇反导作战效能，并找出存在的薄弱环节。为此，基于现有条件构建 LVC 联合试验环境：在外场，结合训练演习，采用飞机或无人机模拟来袭反舰导弹，实装舰艇利用舰载雷达等预警探测设备搜索跟踪威胁目标，并输出抗击反舰导弹的战术决策；在内场，半实物仿真系统采用实装导引头和弹道仿真模型相结合模拟来袭反舰导弹，采用目标、干扰模型和模拟器在微波暗室内模拟舰船、有源干扰、角反干扰，仿真软武器反导对抗过程；数字仿真系统采用全数字仿真模型模拟舰空导弹拦截来袭反舰导弹的对抗过程。3 类资源同时接入联合试验基础支撑平台，共同模拟完整的导弹攻防对抗作战过程。通过 LVC 联合试验，可快速利用现有资源搭建试验环境，又可以各取所长，充分发挥各类试验资源特点优势，更好地开展体系仿真试验。

### 1.2 可信度评估问题与挑战

LVC 联合试验系统结构复杂、应用场景多样，是典型的复杂仿真系统。对复杂仿真系统及模型进行可信度评估，面临输入变量组合爆炸、输出变量复杂耦合、评估数据多源异构、评估指标一致聚合等方面的问题与挑战<sup>[5-7]</sup>，一定程度上制约了仿真技术的推广应用。具体到 LVC 联合仿真系统构建与应用，在可信度评估与模型校验方面还需要特别关注

以下情况：

- 1) 所集成的试验资源多数是已有仿真系统或试验设施，其建设目的各不相同，模型颗粒度不一，模型校验工作开展程度参差不齐；
- 2) 从资源建设到体系运用的时间跨度长、参与人员多，模型校验工作很难做到统一规划；
- 3) 体系仿真系统构建完成后，应用需求随时调整和增加，模型校验工作必须动态调整；
- 4) 体系仿真试验多数属于探索性分析，所获取的新知识必须谨慎确认。

## 2 可信度评估技术框架

对仿真系统(模型)开展可信度评估，以模型校验(VV&A)为基础，其基本原理是基于仿真模型与建模对象之间的功能结构相似性原理或者输出结果差异性原理。

### 2.1 总体技术框架

根据 LVC 联合试验系统特点及应用方式，区分资源集成和试验应用 2 个阶段，按照输出结果差异性分析为主、功能结构相似性分析为辅的思路，设计总体技术框架如图 2 所示。

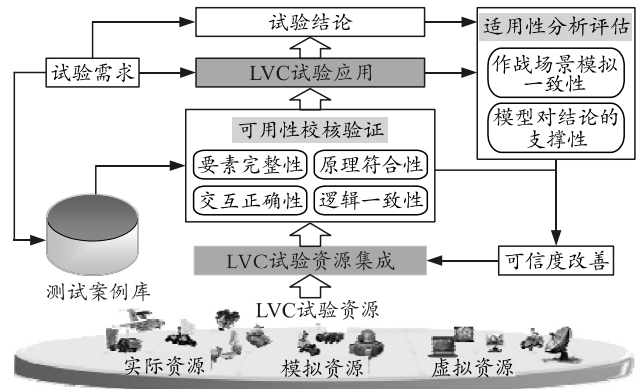


图 2 LVC 试验可信度评估总体框架

在 LVC 资源集成阶段，围绕试验应用目的设计测试案例库，分别对各个接入资源开展验证性测试，确认其模拟要素完整性及与装备工作原理符合性，重点说明单个资源本身是正确的、可用的；同时，结合资源集成调试过程，测试各个资源之间信息交互的正确性、完整性，以及交互逻辑的一致性。

在 LVC 试验应用阶段，全面记录各仿真节点、试验资源产生的过程数据、状态信息。试验结束后，针对试验结论再次开展可信度评估，重点检查与试验结论直接相关的作战场景在各试验资源中的投射是否一致，支撑试验结论的模型属性、状态、行为特性是否完整和准确等。

最后，通过案例测试后迭代开展试验应用，进一步修正仿真试验结果和结论。

## 2.2 可用性校核验证

在 LVC 资源集成阶段，一般需要综合考虑试验目的、资源类别、建设应用情况、对外交互能力等方面。以海战场导弹攻防对抗作战仿真为例，校验及评估要素如表 1 所示。

表 1 导弹攻防对抗 LVC 仿真可信度分析因素集

序号	资源类别	模拟要素	可信度分析因素集
1	实装	反舰导弹	飞行速度、弹道高度、RCS 特性
2	半实物	反舰导弹	飞行速度、高度，导引头技术体制、频段、作用距离、跟踪精度、抗干扰能力
3	半实物	舰艇	物理尺寸、RCS 特性、运动及机动特性
4	半实物	有源干扰	干扰功率、干扰样式、战术使用策略
5	半实物	角反	物理尺寸、RCS 特性等
6	数字	反舰导弹	飞行速度、弹道高度、机动特性
7	数字	防空导弹	飞行速度、机动特性、截获概率、拦截概率等
8	资源集成		信息交互数据率是否匹配、延时是否可接受、流程逻辑是否一致、场景模拟是否一致等

## 2.3 适用性分析评估

通过建设和使用，单一试验资源在满足某些特定应用方面通常具有一定的可信度；但从实践经验来看，仍需要在仿真应用过程中迭代开展模型验证和可信度评估工作。比如，在海战场导弹攻防对抗作战仿真应用中，假设通过试验得出了一条基本结论：抗击  $L_1$  至  $L_2$  距离范围内的亚音速掠海飞行的反舰导弹，同时采用舷外有源干扰和防空导弹拦截 2 种手段，可以达到较高的抗击成功概率。那么，需要用怀疑的眼光看待这一基本结论，通过领域专家提出一系列质疑性问题：

1) 舷外有源干扰的模拟，是否考虑了作战场景中各个雷达辐射源对信号侦察分选、干扰资源分配等因素的影响；

2) 防空导弹数字仿真过程中，是否考虑了有源干扰信号对制导雷达的影响，是否存在电磁兼容相关的使用约束问题；

3) 按照“以硬抗击为主”的总体策略，为灵活运用防空导弹，是否需要舷外有源诱饵的释放位置进行约束，战情想定中是否予以考虑；

4) 对于自然环境条件，舷外有源干扰和防空导弹拦截这 2 种手段是否有不同的要求，仿真模型及场景想定中是否考虑了相关自然环境条件。

## 2.4 可信度评估流程

对于 LVC 联合仿真而言，通常将系统整体的可信度评估分解为各个分系统的可信度评估子任务，最后通过向上综合，得到整个仿真系统的可信度。主要步骤<sup>[8-10]</sup>如下：

- 1) 构建分层递进的评估指标体系；
- 2) 获取评估数据，包括先期模型校验数据、典型案例测试数据和试验应用数据；
- 3) 采用模糊层次分析法等方法完成指标计算与综合评估。

## 3 结束语

根据 LVC 联合仿真系统特点及其应用方式，区分资源集成和试验应用 2 个阶段，设计可信度评估技术框架，并结合工程案例给出了可信度评估的方法流程。应用结果表明：该方法可以有效吸纳多名领域专家知识经验，全面综合多个影响要素，能给出符合人类认知规律的可信度评估结论，有效支撑 LVC 联合仿真应用，具有较强的工程实践指导意义。

## 参考文献：

- [1] 曹裕华, 李巧丽, 高化锰, 等. 体系化装备试验与评估[M]. 北京: 国防工业出版社, 2019: 66-89.
- [2] 张传友, 贺荣国, 冯剑尘, 等. 武器装备联合试验体系构建方法与实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017: 50-61.
- [3] 董志明, 高昂, 郭齐胜, 等. 基于 LVC 的体系试验方法[J]. 系统仿真技术, 2019, 15(3): 170-175.
- [4] 赵严冰, 崔连虎. 基于 LVC 的舰艇电子对抗反导能力试验研究[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(7): 161-165.
- [5] 徐忠富, 杨小军, 唐见兵, 等. 复杂仿真模型可信度评估: 挑战与方法[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(17): 6711-6719.
- [6] 李伟, 林圣琳, 周玉臣, 等. 复杂仿真系统可信度评估研究进展[J]. 中国科学: 信息科学, 2018, 48(7): 762-782.
- [7] 戚宗峰, 李林, 刘文钊, 等. 电子信息系统仿真可信度评估理论方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 7-12.
- [8] 唐见兵, 查亚兵. 作战仿真系统校核、验证与确认及可信度评估[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 133-158.
- [9] 杨惠珍, 康凤举, 李俊. 基于模糊 AHP 的系统仿真可信度评估方法[J]. 计算机仿真, 2003, 20(8): 43-45, 122.
- [10] 张玉平, 王有成, 赵铜星, 等. 区间直觉模糊决策在联合作战指挥员能力评估中的应用[J]. 兵工自动化, 2013, 32(11): 45-48.