

doi: 10.7690/bgzdh.2019.05.020

基于体系结构的内外场合成试验环境构建

张 伟¹, 向杨蕊²

(1. 中国人民解放军 92941 部队 41 分队, 辽宁 葫芦岛 125001;

2. 中国人民解放军 91388 部队 91 分队, 广东 湛江 524000)

摘要: 为解决评估结论的可信度要求与试验信息匮乏之间的矛盾, 以导弹靶场为背景, 构建具备内场仿真和外场实装的内外场合成试验环境。在内外场合成试验环境体系结构和试验资源构建方法的基础上, 针对不同的任务需求建立试验任务系统, 通过对靶场试验资源进行分类, 提出多样性目标系统的建设方案, 构建半实物仿真系统, 并对时空一致性、参数化建模方法及试验评估方法等关键技术进行分析。该研究可为开展边界条件下试验和作战试验提供参考依据。

关键词: 体系结构; 内外场; 试验环境; 模型框架

中图分类号: TP203 **文献标志码:** A

Construction of Integrated Internal and External Test Environment Based on Architecture

Zhang Wei¹, Xiang Yangrui²

(1. No. 41 Team, No. 92941 Unit of PLA, Huludao 125001, China;

2. No. 91 Team, No. 91388 Unit of PLA, Zhanjiang 524000, China)

Abstract: In order to solve the contradiction between the reliability requirement of evaluation conclusion and the lack of test information, an integrated test environment is constructed with infield simulation and outfield weapon in the background of missile range. Based on architecture of infield and outfield test environment and method for test resource building, the construction of test task system can satisfy requirement of different task. With the classified test resource, the constructing scheme of multiform target system and hardware-in-the-loop simulation system is promoted. The key technologies such as spatiotemporal consistency, parameterized modeling method and test & evaluation method are analyzed. The research can give reference for test in boundary condition and test in operational environment.

Keywords: architecture; internal and external environment; test environment; model framework

0 引言

随着新军事变革的开展, 武器装备性能越来越复杂。要为武器装备的作战性能指标作出正确的分析与评定, 足够的信息十分关键^[1]。由于受靶标、航区等外场试验条件限制, 对武器装备试验鉴定, 只能开展少量或极少量的原型试验, 必然引发评估结论的可信度要求与试验信息匮乏之间的矛盾。为了缓解该矛盾, 导弹靶场需要将自然环境、武器平台、靶标、测量设施、时统通信、指挥控制中心等有机集成并优化运行, 为导弹武器系统构建一个模拟真实战场、可控、可测的内外场合成试验环境^[2], 通过构造单靠外场不能重建的试验条件, 进行等效替代试验, 增加试验子样数, 扩大试验的深度和广度, 特别是为开展边界条件下试验和作战试验提供参考依据。

1 体系结构设计

内外场合成试验环境可针对不同的任务需求将靶场内外场资源整合, 灵活地建立试验任务系统。其中真实装备、虚拟的仿真模型、构造的物理模型等按需配置和相互替代, 使任务系统具有良好的互操作性、可重用性、可组合性和演进性。然而大量靶场设施是针对型号任务需求构建的, 具有不同的接口和特点, 其位置分散且通常只能为特定的系统提供单一服务, 缺乏可重用性和扩展性, 因此以互操作性、可重用性和可组合性为目的的体系结构设计则成为内外场合成试验环境构建的关键环节。参考试验训练使能体系结构(test and training enabling architecture, TENA), 采用中间件作为异构系统的“黏合剂”, 能够克服靶场烟囱式设计、实现靶场资源之间的互操作、重用和可组合的机制^[3-6]。笔者对

收稿日期: 2018-12-05; 修回日期: 2019-01-18

作者简介: 张 伟(1968—), 男, 山东人, 学士, 高级工程师, 从事导弹武器系统试验总体、导弹武器系统仿真试验技术、仿真模型及系统的 VV&A 技术研究。

靶场的应用需求进行分类和抽象，内外场合成试验环境的体系结构如图 1。

1) 靶场试验资源。

靶场试验资源不仅包括完成特定功能的各类参试和被试设备，还包括设备所处的综合自然环境。在构建试验系统时，各类实物、半实物及虚拟模型经过资源封装通过实时性中间件进行信息交互。

2) 试验数据采集和录取。

测量和录取综合试验平台运行时的数据，将各试验节点产生的数据存储于试验数据库中。

3) 试验数据处理。

试验数据处理主要对试验过程中产生的各类数据分析和评估，包括综合试验设计系统、综合试验信息处理系统、综合试验分析评估系统。

4) 综合试验信息表现。

将综合试验平台运行状态以视觉和听觉形式显示综合试验控制、靶场指控等相关人员，包括可视化节点。

5) 综合试验运行控制。

支持综合试验的规划、安排、指令、系统初始化、试验配置和资源控制，能够为包括导弹综合试验控制系统、导弹综合试验协同系统。

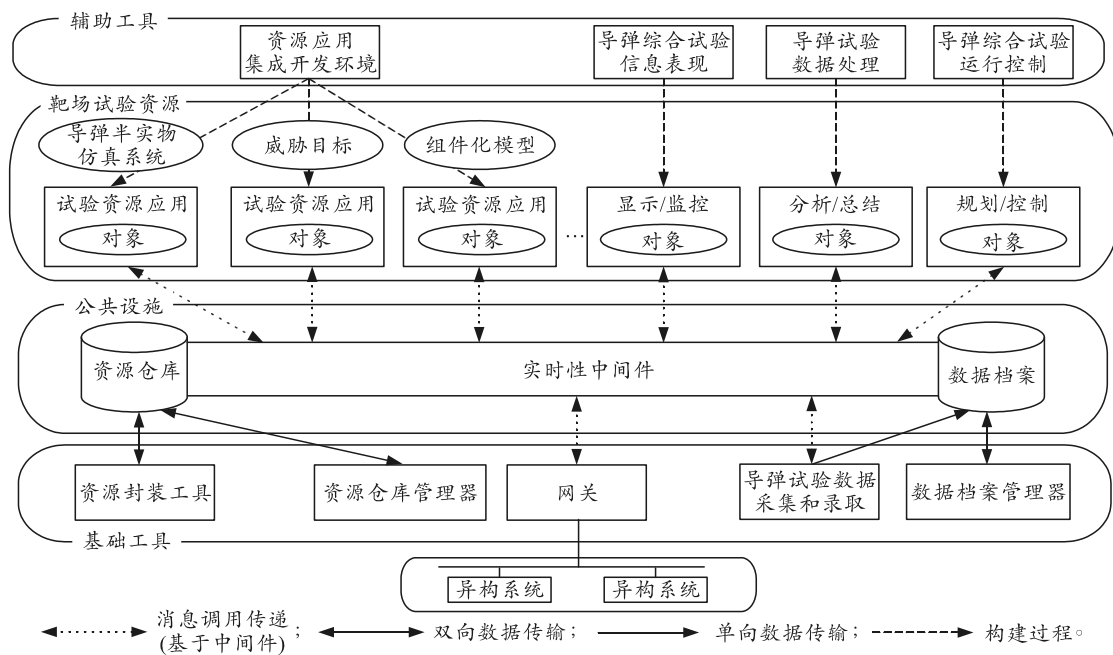


图 1 内外场合成试验环境体系结构

2 靶场试验资源构建

靶场试验资源除包含武器装备实装、仿真试验系统和模拟器等靶场设施，还应包含复杂的自然环境、干扰环境和威胁目标，即试验场地、地理特征、人文特征、气象特征、战场中的各类电磁、声、光等信号、相关武器系统的干扰及相互影响等。为了构建高逼真度、高置信度贴近实战的试验环境，还

需要在大量的模型基础上完成多样性威胁目标的构建，以及半实物仿真试验环境构建。

2.1 内外场合成试验环境模型框架

通过对靶场试验资源进行分类，建立内外场合成试验环境模型框架，并且采用组件化模型封装方法，便于模型的集成和调用。内外场合成试验环境模型框架如图 2 所示。

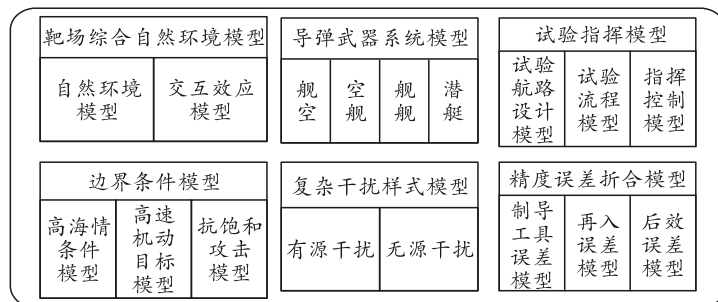


图 2 内外场合成试验环境模型框架

2.2 多样性威胁目标构建

随着武器装备技术的发展和作战使用方式的变化，新型武器系统面临的作战目标种类越来越多，目标运动特性、散射特性越来越复杂。在靶场试验过程中，多类型、多批次目标的实体靶标供靶难度很大，需要根据多型武器系统的目标探测跟踪系统的战术技术指标，例如频率、发射功率、脉冲重复频率、脉宽、数据率以及信息格式等，结合信息武器系统拦截典型目标的特性，提出多样性目标系统的建设方案，包括组成、功能、原理、战技指标等，并对其模拟目标的机动性、目标散射回波的特性、多批多类型目标生成等关键技术进行研究。同时，依据武器系统面临的典型作战任务和作战对手，分析、研究假想敌方目标的技术性能参数和战术应用方式，设计典型作战环境及不同方向、不同高度层、不同速度、多种类型目标攻击的技术方案。设计多样性目标系统的布站、使用时机、模拟参数等，构建内外场合成试验用多样性目标系统的使用方案。

2.3 半实物仿真系统

在内外场合成试验环境中，通常针对外场无法考核的指标，开展高海情试验、抗饱和攻击试验、高速机动目标试验和抗干扰试验等试验项目。这些项目通常要采用虚实结合的方法构成端到端的全武器系统回路。由于对被试武器系统的某些部分建模非常困难，需要构建半实物仿真系统。以导弹武器系统为例，一般构建导引头半实物仿真系统与其他仿真模型进行交互，建立真实的飞行过程环境，在试验初始化过程中，根据仿真试验目的不同设置不同的目标和干扰方式，试验运行后，目标仿真模型按照目标飞行状态给出相对位置、环境及噪声的射频信号。在自控段终点，导引头进行目标搜索，当捕获目标并稳定跟踪后，按照制导方程形成控制信号，操纵舵系统作相应偏转，仿真计算机根据导弹状态计算气动参数、导弹飞行姿态、舵负载力矩、导弹位置和相对目标位置，将其送给目标模拟器、三轴转台以及舵负载模拟器。在整个仿真试验过程中，目标、导弹连续运动，导引头不断接收目标信息，产生制导指令控制导弹飞行，直至命中目标或导弹自毁。仿真原理如图 3。

3 关键技术分析

3.1 时空一致性

时空一致性问题是在内外场合成试验环境中的本质和核心问题^[7]。由于网络传输延迟的客观存在，

各试验节点间的消息不能即时到达，会引发时序关系混乱和消息序错乱等情况，导致试验运行结果混乱。此外，时空一致性问题还会影响系统的公平性和正确性，使得试验结果不可信^[2]。由于内外场合成试验环境具有组合和扩充的需求，且动用外场兵力试验耗费大，在建立新的内外场合试验系统后，要对该系统进行时空一致性测试，以保证试验能够顺利实施。这就要求内外场合合成试验环境采用时空一致性控制技术来避免时序关系混乱和消息序错乱，采用时空一致性评估技术评估各试验节点对试验的观察是否一致。

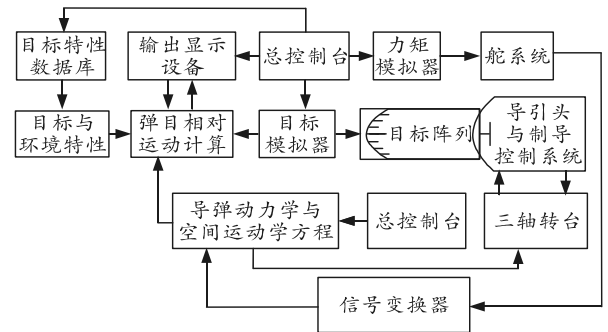


图 3 导弹半实物仿真试验原理

3.2 参数化建模方法

在内外场合成试验环境中开展替代等效试验。由于试验系统、试验状态与原型试验存在差异，试验结果一般不能直接进行信息融合。在分析内外场合合成试验的模型误差、环境因子等因素的基础上，找到原型试验测量量和内外场合合成试验测量量的相关或继承关系，建立参数化模型，利用内外场合合成试验产生的数据推算原型试验的数据。常用参数化建模方法有精度折合、差异补偿等。将内外场合合成试验数据推算到原型试验状态后，还要进行多源信息的融合评估。

3.3 武器装备试验评估方法

武器装备试验具有异总体(每次试验相互独立，试验样本具有不同的总体分布)、小子样和多阶段的特点，针对这些特点，在试验评估方法上已经开展了大量的理论研究。其中，Bayes 分析方法和序贯分析方法在实际工作中有很好的应用。然而，武器装备的性能受电磁干扰和自然环境等的影响，命中精度等概率性指标难以全面反映出武器装备的综合性能，并且在多源信息融合的过程中，应采用数学方法分析归纳出多阶段、多批次、多状态的试验在技术状态和试验条件上的差异性和相似性，从而将替代试验的结果折算到原型试验状态下。这就需要

采用回归分析或神经网络等方法开展误差分析、误差折合、误差分离和误差补偿等方面的研究，在等效折算的基础上，开展边界条件内外场合成试验和复杂电磁、光电环境下抗干扰内外场合成试验。由于这类试验属于有限样本试验，所以可以采用支持向量机等机器学习方法对边界条件下和复杂电磁环境下导弹武器系统的性能进行评估。支持向量机是一种建立在统计学习理论的结构风险最小化原则和 VC 维理论基础上的新型学习机器。它将低维样本空间扩展至高维特征空间^[8]，特别适用于解决有限样本情况下的模式识别问题，可以用于有限样本多元线性回归中自变量的选择、多总体的分类判别、多总体融合结果的估计等方面^[9]。

4 结束语

笔者通过构建内外场合成试验环境，可以整合导弹靶场相互独立的内场试验资源和外场实装，形成虚实结合、实时运行、统一控制的导弹逻辑靶场，能够独立完成因为各种因素制约外场实装的仿真试验训练任务，为靶场开展导弹武器系统性能试验、作战试验鉴定和部队训练演练提供技术支撑。然而要通过内外场合成试验，实现对导弹武器系统某项战技指标进行考核，特别是复杂战场环境下武器系

统性能的考核，还需要在试验设计、试验评估、电子靶标、仿真模型等领域进一步深入研究。

参考文献：

- *****
- (上接第 61 页)
- 参考文献：
- [1] 李卫东, 宋斌. 海上联合作战卫勤保障的主要特点与对策[J]. 海军医学杂志, 2007, 28(3): 230-232.
 - [2] 王蕾. 战伤救护五项技术模拟训练系统的设计[D]. 西安: 第四军医大学, 2008.
 - [3] 王成惠, 袁明清, 张树丰, 等. 基层部队官兵战场自救互救存在的问题及对策分析[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2018, 20(11): 151.
 - [4] 徐军, 安宝航. 军事训练中的虚拟现实技术现状及启示[J]. 产业与科技论坛, 2015, 35(1): 51-52.
 - [5] 安兴, 李刚, 徐林伟, 等. 虚拟现实技术在美军模拟训练中的应用现状及发展[J]. 电光与控制, 2011, 18(10): 42-46.
 - [6] 孙柏林. 虚拟现实技术在美国军队中的应用述评[J]. 计算机仿真, 2018, 35(1): 1-7.
 - [7] 许光. 虚拟现实技术在装备研制和培训中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2016, 77(2): 164-166.
 - [8] 黄砚寒. 毁伤效能的小子样试验设计[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009.
 - [9] 向杨蕊, 姜守达, 宋国东. 虚实合成试验环境运行支撑软件的性能测试研究[J]. 黑龙江大学学报, 2013, 4(1): 88-91.
 - [10] 冯润明, 王国玉, 黄柯棣. TENA 中间件的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(11): 2373-2377.
 - [11] 赵永铁, 王永杰. 基于 C++ builder 的靶场试验相对坐标转换[J]. 兵工自动化, 2017, 36(8): 88-90.
 - [12] 冯润明, 王国玉, 黄柯棣. 试验与训练使能体系结构 (TENA) 研究 [J]. 系统仿真学报, 2004, 16(10): 2280-2284.
 - [13] 徐忠富, 王国玉, 张玉竹, 等. TENA 的现状和展望[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(23): 6325-6329.
 - [14] 张伟. 分布式大规模虚拟环境中的时序一致性[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
 - [15] 林连雷. 支持向量机算法及其在雷达干扰效果评估中的应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
 - [16] 闫志强. 装备试验评估中的变动统计方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
 - [17] 陈志, 凌丽, 王程, 等. 基于虚拟现实技术的便携式防空导弹训练装备研究[J]. 飞航导弹, 2016(6): 39-42.
 - [18] 罗批, 胡晓峰, 司光亚. 虚拟现实技术在高层决策训练中的应用研究[J]. 计算机仿真, 2009, 26(1): 24-27.
 - [19] DAVIES R C. Applications of Systems Design using Virtual Environments[Z]. Handbook of Virtual Environments Design Implementation & Applications, 2002.
 - [20] 黄勇. 虚拟现实技术在我军指挥院校实战化教学中的应用研究[J]. 计算机工程与科学, 2016, 38(1): 212-216.
 - [21] WANG H, CHIU C W. The Design and Implementation of On-Line Multi-User Augmented Reality Integrated System[M]//Augmented Reality-Some Emerging Application Areas. InTech, 2011: 227-242.
 - [22] 刘源, 张鹭鹭, 谢勇, 等. 舰艇军医急救技能模拟训练系统需求分析与设计[J]. 东南国防医药, 2018, 20(4): 24-26.
 - [23] 谭斌, 丁红波. 提高舰艇部队战伤自救互救训练水平的思考[J]. 海军医学杂志, 2010, 31(4): 308-309.
 - [24] 舒勤, 李巍, 蒋静, 等. 战场救护技能模拟训练的理论与实践[J]. 解放军护理杂志, 2009, 26(9): 77-78.