

虚实一体化试验基本概念与系统结构设计

付朝博^{1,2} 郭齐胜¹ 董志明¹

摘要 为解决传统的装备试验难以检验装备体系作战效能的问题,阐述了虚实一体化试验的概念,采用 DoDAF 规范和标准,运用框架设计方法,从业务视图、能力视图和系统视图等视角对装备体系虚实一体化试验的系统结构进行了设计,旨在加深对装备试验理论与方法的认识和理解,为研究装备体系试验提供参考和借鉴。

关键词 体系试验, 虚实一体化试验, 系统结构, DoDAF

引用格式 付朝博, 郭齐胜, 董志明. 虚实一体化试验基本概念与系统结构设计 [J]. 指挥与控制学报, 2020, 6(3): 257–263

DOI 10.3969/j.issn.2096-0204.2020.03.0257

Basic Concept and System Structure Design of Virtual-Real Integration Test

FU Chao-Bo^{1,2} GUO Qi-Sheng¹ DONG Zhi-Ming¹

Abstract In order to solve the problem that it is difficult to test the combat effectiveness of equipment system of systems by traditional equipment test, the concept of virtual-real integration test is expounded in this paper. The system structure of virtual-real integration test of equipment system of systems is designed from the view of business view, capability view and system view, in order to deepen the understanding of the theory and method of equipment test. It provides reference and reference for the research of equipment system of systems test.

Key words system of systems test, virtual-real integration test, system structure, DoDAF

Citation FU Chao-Bo, GUO Qi-Sheng, DONG Zhi-Ming. Basic concept and system structure design of virtual-real integration test[J]. Journal of Command and Control, 2020, 6(3): 257–263

现代战争是体系与体系的对抗,体系作战需求牵引装备体系建设发展,而装备试验又在装备建设中起着把关、摸底、桥梁和牵引作用。装备的体系建设需求,推动装备试验由单装单要素试验向全装全要素试验拓展,由性能试验向作战试验延伸,由鉴定定型试验向全寿命周期试验转变,即由传统的装备试验向装备体系试验转变。装备体系试验的评估指标体系、试验环境构造、试验组织实施、试验结果分析等涉及要素众多、技术复杂,而传统的装备试验难以反映装备体系试验的系统性、复杂性、对抗性等特征,难以适应装备试验的发展趋势,因此需要改进传统的试验模式,探索新的试验理论和方法。

目前,国内外关于装备体系试验的理论和技术研究均取得了一些成果。美军虽然没有关于体系试验的提法和论述,但其对联合试验和一体化试验的长期研究和实践对我军装备体系试验研究提供了很好的借鉴^[1]。国内关于装备体系试验的研究起步较晚,通过借鉴学习外军的经验,从装备体系试验概念内涵^[2–3]、组织模式和运行方式^[4]、体系试验工程^[5]、

联合试验集成环境与试验流程^[6]、异构系统互操作^[7]等方面进行了研究,取得了一定的研究成果。虚实一体化试验是实装试验与仿真试验的有机结合,其系统构成复杂、要素多元、层次多样,属于典型的复杂系统。曹裕华等对装备体系试验的相关概念从理论层面进行了阐述^[8],谷国贤对虚实结合的装备试验模式进行了初步探索^[9]。本文从操作执行层面提出了虚实一体化试验的相关概念,并采用 DoDAF 规范和标准^[10–13],运用框架设计方法构建了虚实一体化试验视图模型,包括业务活动模型(OV-5b)、节点连接描述(OV-2)、活动状态转变描述(OV-6b)、能力构想视图模型(CV-1)、系统接口描述(SV-1)、系统功能描述(SV-4)、业务活动到系统功能追溯矩阵(SV-5)等模型,旨在从顶层设计层面对虚实一体化试验进行规划和研究。

1 虚实一体化试验的概念

虚实一体化试验是指将实装试验和仿真试验相结合,通过构建实况仿真、虚拟仿真、构造仿真一体化的集成试验环境^[14–17],运用实装、模拟器和数字仿真系统相融合互联的试验手段,按照装备作战使用流程,采取多种手段获取被试装备(体系)的作战效能、作战适用性和体系贡献率等相关信息,并对其评价的一系列活动。虚实一体化试验的概念如

收稿日期 2020-08-15

Manuscript received August 15, 2020

军队科研计划项目(2017YY05)资助

Supported by Military Research Projects (2017YY05)

1. 陆军装甲兵学院演训中心 北京 100072 2. 解放军 31674 部队 西藏拉萨 851400

1. Military Exercise and Training Center, Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China 2. Unit 31674 of PLA, Lhasa Tibet 851400, China

图1所示。

虚实一体化试验模式兼具实装试验和仿真试验的优长,能够在一定试验可信度条件约束下,最大限度地降低试验难度和试验成本,能够更为客观地评估装备作战效能和作战适用性,是装备试验的重要发展趋势。

2 虚实一体化试验系统结构设计

2.1 业务活动模型

在虚实一体化试验环境中,现实靶场试验和人工靶场试验在线同步运行,对两类试验运行结果进行分析比较,如两类结果一致,即可认定装备通过试验鉴定,达到预期作战能力;如两类结果不一致,则检查仿真是否正确,如仿真正确则认定装备设计存在缺陷或装备体系构成存在问题,提出改进的意见建议并形成评估报告,如仿真不正确则需要实施校核和修正仿真模型,进一步优化试验任务,进行迭代试验,最终达到对装备体系效能的检验评估^[18-19],如图2所示。

2.2 活动节点连接描述模型

在 DoDAF 中,作战资源描述既能描述作战设施的位置和作战的地理位置,也可以有选择地说明作战活动的信息流、资金流、人员流动或物流。本节以试验活动人员流为例,描述试验的人员活动,如图

3所示。

在活动节点连接描述中,管理者是指试验委托方,下达试验任务;试验设计人员负责设置试验活动的资源配置,设计试验总体方案、试验大纲、试验科目等;技术支持人员负责管理和维护试验使用的网络系统,并向分析评估人员提供试验数据;运行支撑人员是靶场资源所有者,主要负责开发虚实一体化试验的靶场,配置仿真资源或设施仪器等,并向分析评估人员提供试验数据;参训人员按照试验想定开展试验科目;导调人员主要是执行试验活动,并处理试验活动中的异常情况;分析评估人员是对试验全过程周期数据进行分析处理,实现试验态势生成、试验过程回放,生成评估报告等。

2.3 活动状态转变描述模型

虚实一体化试验活动状态转变模型以图形化的方法描述试验活动如何通过改变自身状态来响应各种事件。活动状态转变(OV-6b)产品描述试验活动对不同事件的响应及状态变化过程。以虚实一体化试验过程为例描述试验活动状态转变,如图4所示。

2.4 系统能力视图模型构建

能力是指系统为完成某项任务所具备的本领,建立虚实一体化试验系统重要目的就是实现各种试验资源的互联、互通、互操作。虚实一体化试验的系统应具备的能力如图5所示。

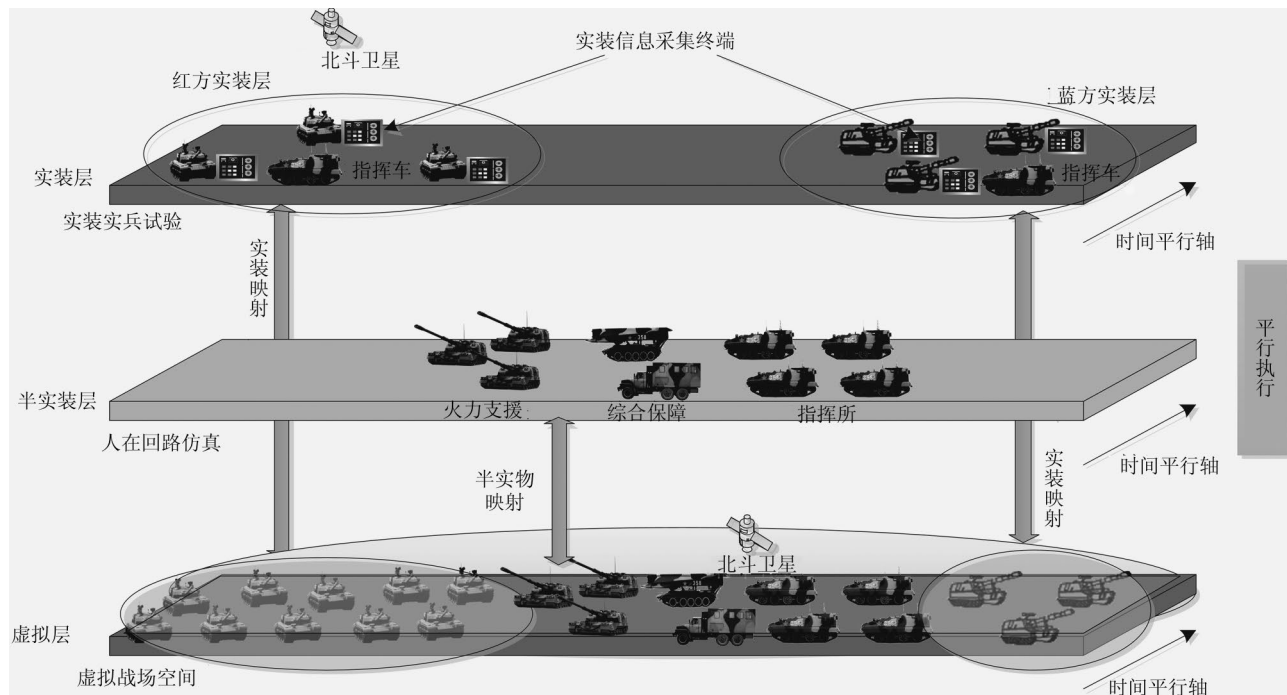


图1 虚实一体化试验概念图

Fig. 1 Conceptual diagram of virtual-real integration test

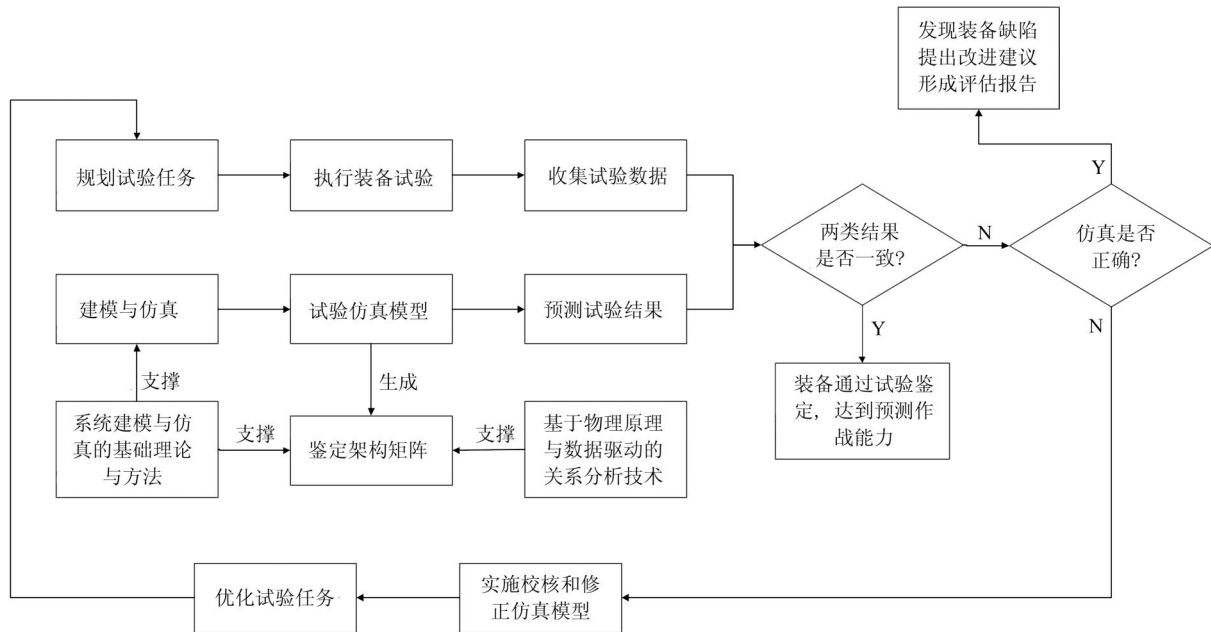


图2 系统业务活动模型 (OV-5b)

Fig. 2 System business activity model (OV-5b)

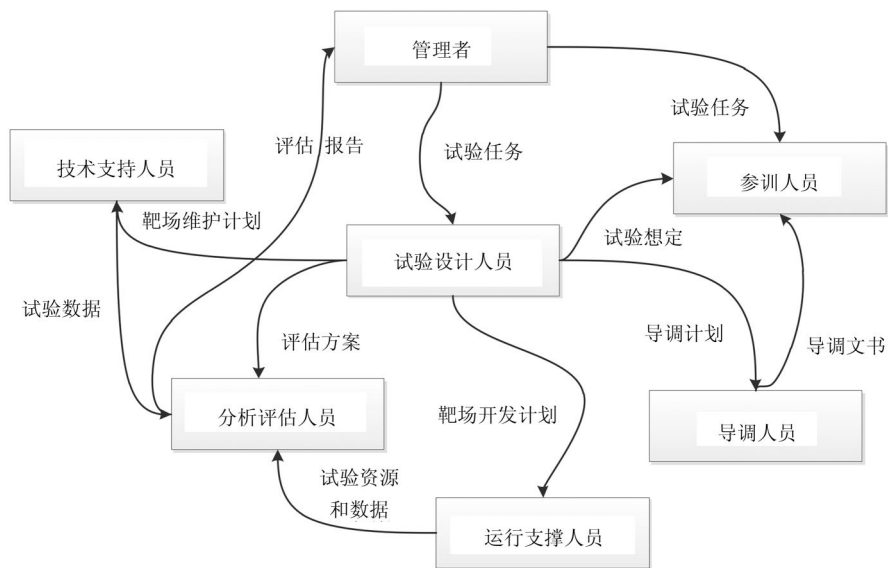


图3 系统活动节点连接关系 (OV-2)

Fig. 3 System active node connection relationship (OV-2)

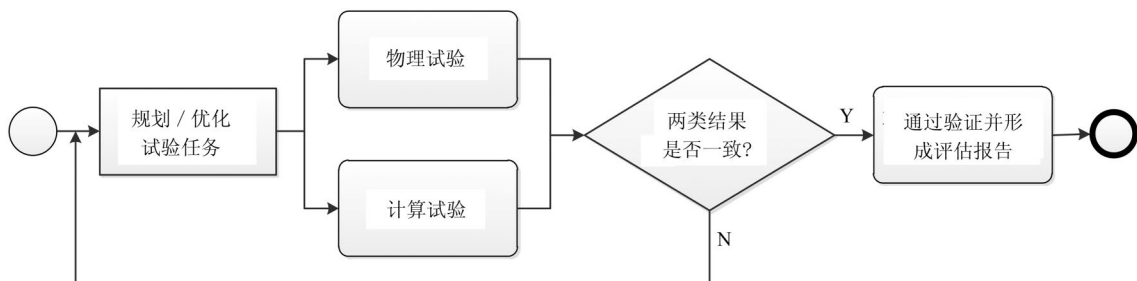


图4 系统活动状态转变描述 (OV-6b)

Fig. 4 Description of system activity state transition (OV-6b)



图5 系统结构能力构想 (CV-1)

Fig.5 System architecture capability concept (CV-1)

1) 资源管理能力. 对试验全过程周期产生的数据进行存储, 通过军事信息网络实现物理试验与计算试验的数据在线处理和实时推进, 提供在线计算资源, 支持各种试验资源的部署及升级维护.

2) 数据采集能力. 通过传感器、转发器、通信技术、计算机软硬件技术等多种手段, 感知物理试验和计算试验的状态信息以及参试装备的技术状况, 实时采集试验数据, 并按照相应的规则, 对这些数据进行管理, 为试验数据分析与决策支持提供支撑.

3) 服务管理能力. 把想定资源、模型资源、战场环境数据、装备数据、知识/规则/条令/法规/以往的试验经验教训封装成服务, 以供其他用户调用, 同时利用中间件向物理系统、人工系统、分析评估系统和靶场基础框架提供时间同步服务, 实现试验资源互联、互通、互操作.

4) 业务处理能力. 能够实现试验想定开发、试验活动策划、试验过程校验与仿真模型修正、试验任务优化等任务.

5) 分析评估能力. 运用分析评估软件实现对试验全过程周期所采集的数据进行分析处理, 生成即时试验态势, 对试验过程进行回放, 评估试验风险, 生成试验报告, 为评估装备体系效能提供支撑.

2.5 系统功能描述模型

系统功能描述视图主要用来描述人员和系统的功能. 虚实一体化试验系统主要包括物理试验环境、人工试验环境、靶场基础框架、分析评估系统4部分, 如图6所示.

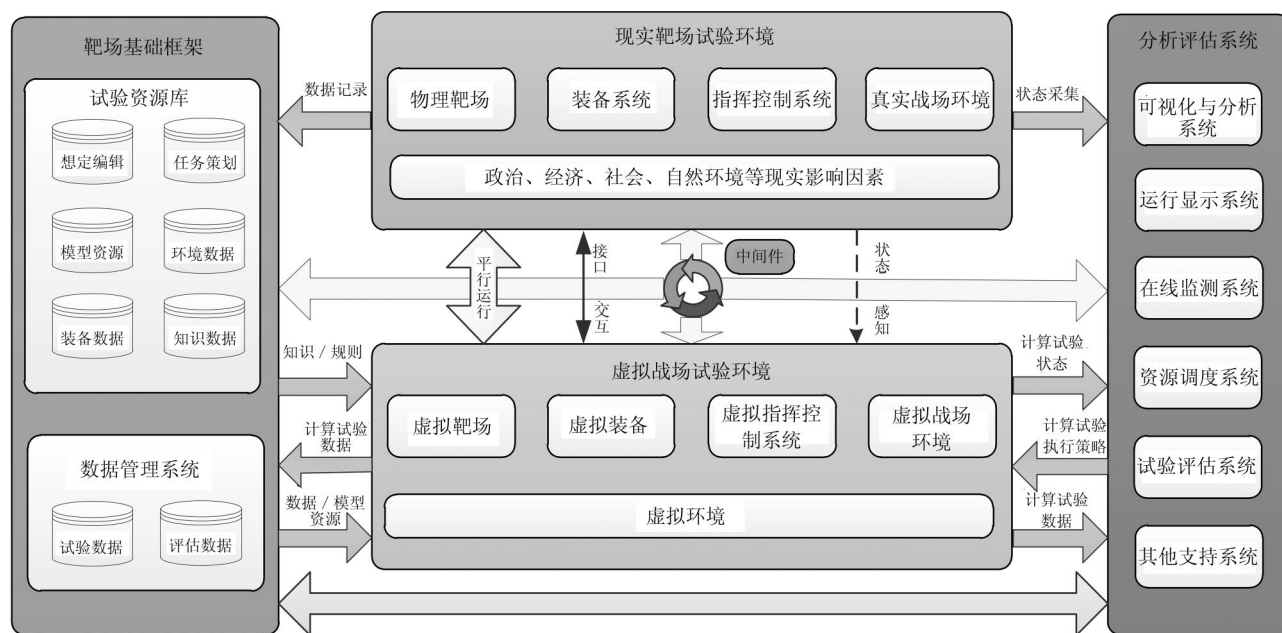


图6 系统功能描述模型 (SV-4)

Fig.6 System functional description model (SV-4)

1) 现实靶场试验环境. 主要包括物理靶场、装备系统、指挥控制系统、真实战场环境和政治、经济、社会、自然环境等现实影响因素, 这些都是真实的靶场试验条件, 其运行过程是真实的人真实的试验环境中操作真实的装备进行的试验。

2) 虚拟战场试验环境. 包括虚拟靶场、虚拟装备、虚拟指挥控制系统、虚拟战场环境等要素, 虚拟系统是基于多 Agent 建模、行为建模和计算机仿真技术等构建的数字环境, 是对现实靶场的映射和拓展, 既可利用虚拟的系统单元和现实靶场的武器单元构建信息化的网络系统, 也可利用虚拟的战场空间和兵力构成对抗态势, 从而将现实靶场中的武器装备或装备系统置于作战环境之中。

3) 靶场基础框架. 主要包括试验资源库、数据管理系统和中间件。其中, 试验资源库主要包括想定编辑工具、任务规划工具、仿真模型资源、战场环境数据、装备数据、知识/规则/条令/法规/以往的试验经验教训等资源, 数据管理系统主要包括试验过程中采集的数据和评估数据等, 中间件主要包括时间管理系统、数据分发系统、运行管理系统等, 用于实时信息交换。

4) 分析评估系统. 主要包括可视化与分析系统、运行显示系统、在线监测系统、试验资源调度系统、

试验评估系统以及其他支持系统等, 主要是对试验进行分析和评估。

虚实一体化试验系统功能主要包括试验资源管理、数据采集、服务管理、业务处理、分析评估、角色管理等功能模块, 如图 7 所示。

2.6 系统接口描述模型

在虚实一体化试验中, 现实靶场试验环境、虚拟战场试验环境、试验资源库、分析评估系统、中间件、数据管理系统、试验角色管理系统之间均存在接口关系, 并且不止一条接口关系 (为简化图形复杂度, 仅描述一条接口关系), 从中可以看出, 虚实一体化试验的体系构成关系比较复杂, 节点之间的连接及交互关系多样。虚实一体化试验活动业务节点间接口关系模型如图 8 所示。

2.7 业务活动到系统功能追溯矩阵

业务活动到系统功能追溯矩阵主要体现虚实一体化试验系统的业务视图与系统视图之间的关系, 描述试验活动与系统之间的映射关系。业务活动来自业务视图中的活动模型, 系统功能与 SV-4 中的系统功能一致。业务活动到系统功能追溯矩阵如表 1 所示。

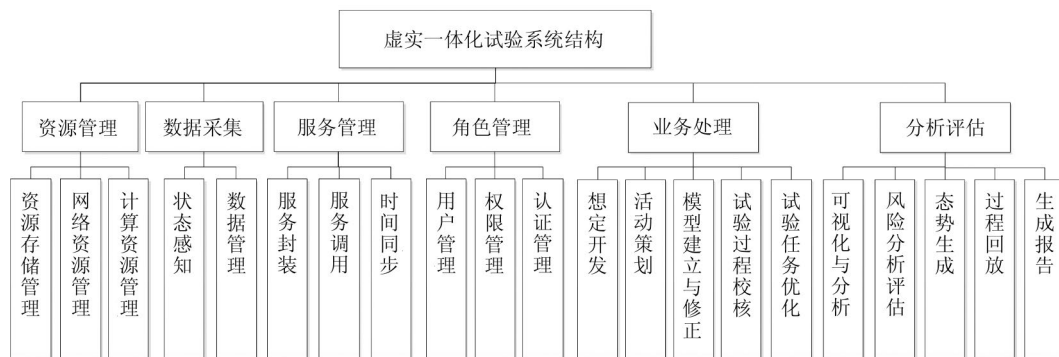


图 7 虚实一体化试验系统结构功能

Fig. 7 Structure and function of virtual-real integration test system

表 1 虚实一体化试验的作战活动到系统功能追溯矩阵 (SV-5)

Table 1 Virtual-real integration test combat activity to system function traceability Matrix (SV-5)

子系统	资源管理能力	数据采集能力	服务管理能力	业务处理能力	分析评估能力	人员管理能力
资源管理	★	□	★			
数据采集	★		□	□		
服务管理	★	△		△	△	△
业务处理	★	□	△	★	□	
分析评估	★	△			★	
角色管理	★					△

注: ★表示全部功能已经提供并已部署, □表示功能已经列入计划但还没有开发出来, △表示部分系统功能已经提供 (或全部已经提供但系统没有部署), 空白单元格表示对该业务没有支持系统或是业务活动和系统功能之间没有支撑关系。

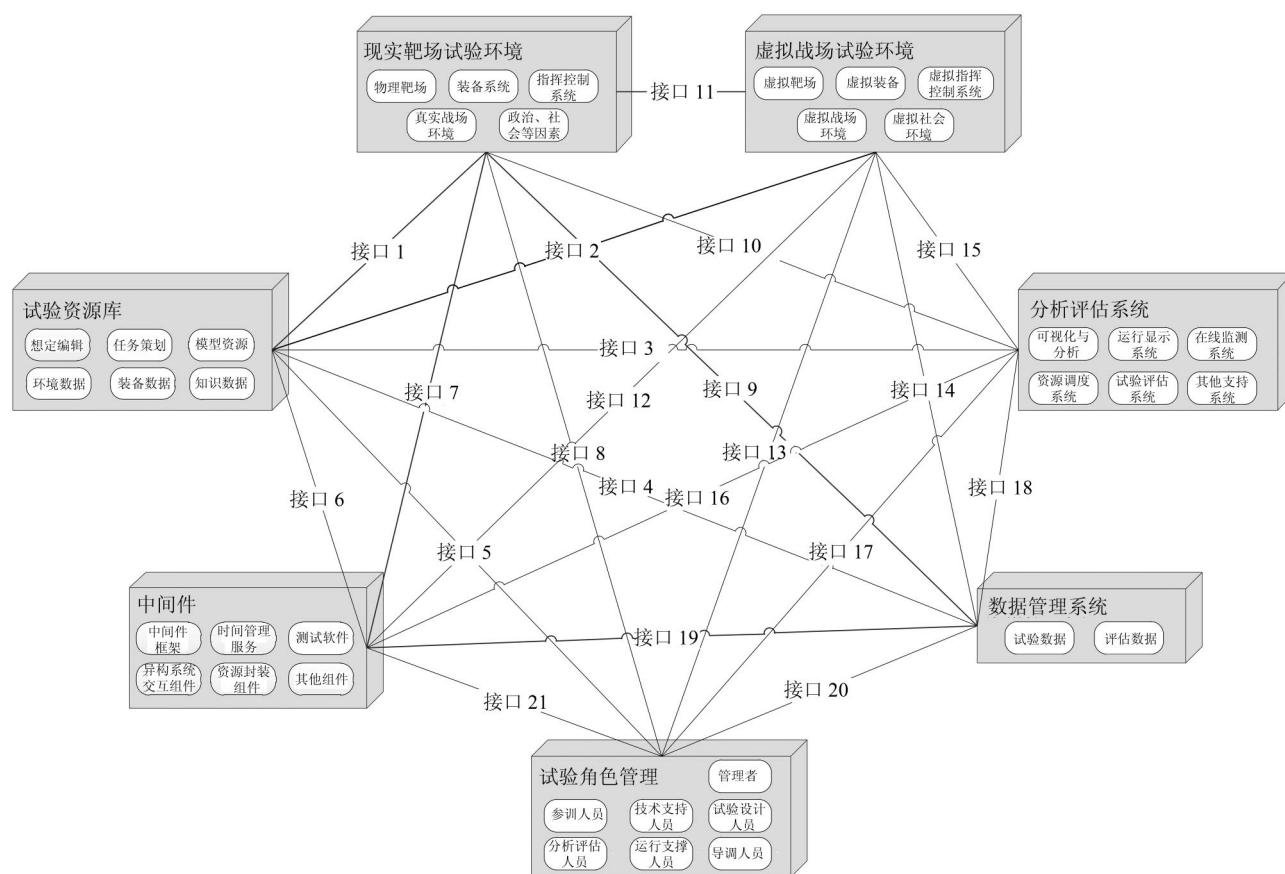


图8 系统业务节点间系统接口关系模型 (SV-1)

Fig. 8 System interface relationship model between system service nodes (SV-1)

3 结论

虚实一体化试验是基于复杂系统理论,在计算机技术发展、人工智能和计算科学进步的基础上探索提出来的,是解决装备体系效能评估问题的有效途径.目前关于虚实一体化试验的理论与方法仍处在研究探索中,基于Agent和靶场在回路的仿真试验尚处于应用探索阶段,但采用虚实一体化方法研究解决装备体系试验问题的思路和方法是可行的,是装备体系试验的重要发展趋势.本文从虚实一体化试验的基本概念出发,运用DoDAF框架设计方法从业务视图、能力视图和系统视图等视角设计了虚实一体化试验系统结构模型,有助于加深对装备体系试验理论与方法的理解.下一步,将对虚实一体化试验的战术互联网虚实融合、虚实战场实时同步、逻辑靶场资源管理等关键技术进行进一步研究和探索.

References

- 1 石实,曹裕华.美军武器装备体系试验鉴定发展现状及启示[J].军事运筹与系统工程,2015,29(3): 46-51.
SHI S, CAO Y H. Development status and enlightenment of test and appraisal of weapon equipment system of the US army[J]. Military Operations and Systems Engineering, 2015, 29(3): 46-51.
- 2 刘盛铭,冯书兴.美军面向联合试验的能力试验法及启示[J].装备学院学报,2015,26(3): 116-120.
LIU S M, FENG S X. American military capability test method for joint test and its enlightenment[J]. Journal of Equipment Institute, 2015, 26(3): 116-120.
- 3 李进,张连仲.武器装备体系试验内涵与模式研究[J].装备学院学报,2015,26(5): 110-112.
LI J, ZHANG L Z. Research on the connotation and mode of weapon system of systems test[J]. Journal of Equipment Institute, 2015, 26(5): 110-112.
- 4 尚娜,洛刚.联合试验组织模式及程序方法探讨[J].装备学院学报,2015,26(5): 101-104.
SHANG N, LUO G. Discussion on organization mode and procedure method of joint test[J]. Journal of Equipment Institute, 2015, 26(5): 101-104.
- 5 郭齐胜,姚志军.武器装备体系试验工程研究[J].装甲兵工程学院学报,2013,27(2): 1-5.
GUO Q S, YAO Z J. Research on weapon equipment system test engineering[J]. Journal of Academy Force Engineering, 2013, 27(2): 1-5.
- 6 傅好华,邢继娟.武器装备体系联合试验研究[J].军事运筹与系统工程,2015,29(1): 65-70.
FU S H, XING J J. Study on joint test of weapon system of systems[J]. Military Operations and Systems Engineering, 2015, 29(1): 65-70.
- 7 刘兆鹏,司光亚.面向仿真推演的异构系统互操作方法[J].指挥与控制学报,2019,5(1): 18-24.

- LIU Z P, SI G Y. Interoperation method of heterogeneous systems for simulation deduction[J]. Journal of Command and Control, 2019, 5(1): 18–24.
- 8 曹裕华, 张连仲. 装备体系试验与仿真 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 182–185.
- CAO Y H, ZHANG L Z. Test and simulation of equipment system[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2016: 182–185.
- 9 谷国贤. 虚实结合的陆军数字化试验装备体系分析与设计研究 [D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2016.
- GU G X. Analysis and design of army digital test equipment system based on virtual reality[D]. Beijing: Journal of Academy Force Engineering, 2016.
- 10 梁振兴, 沈艳丽. 体系结构设计方法的发展及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 172–233.
- LIANG Z X, SHEN Y L. Development and application of architecture design method[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012: 172–233.
- 11 ZIMERMAN G, NEUNEIER R. Multi-agent market modeling of foreign exchange rates[J]. Dalam Advances in Complex Systems, 2001, 4(1): 29–43.
- 12 TESFATSION L. Agent-based computational economics growing economics from the bottomup, ISU economic working[M]. Ames: Low a Low a States University, 2002.
- 13 刘俊民, 罗爱民. 外军架构框架发展趋势分析 [J]. 指挥与控制学报, 2018, 4(1): 1–7.
- LIU J M, LUO A M. Analysis on the development trend of foreign military framework[J]. Journal of Command and Control, 2018, 4(1): 1–7.
- 14 王飞跃. 指控 5.0: 平行时代的智能指挥与控制体系 [J]. 指挥与控制学报, 2015, 1(1): 107–120.
- WANG F Y. CC 5.0: Intelligent command and control systems in the parallel age[J]. Journal of Command and Control, 2015, 1(1): 107–120.
- 15 丁剑飞, 司光亚, 杨镜宇, 等. 关于体系作战效能评估指标体系构建方法的研究分析 [J]. 指挥与控制学报, 2016, 2(3): 239–242.
- DING J F, SI G Y, YANG J Y, et al. Analysis on construction methods of indicator system to system of systems effectiveness evaluation[J]. Journal of Command and Control, 2016, 2(3): 239–242.
- 16 王寿彪, 李新明, 裴忠民, 等. 基于大数据的装备体系认知计算系统分析 [J]. 指挥与控制学报, 2016, 2(1): 54–59.
- WANG S B, LI X M, PEI Z M, et al. Methodology analysis of cognitive computing system for equipment system of systems based on big data[J]. Journal of Command and Control, 2016, 2(1): 54–59.
- 17 徐海波, 邹建华, 汪彩玲, 等. 一种装备体系作战试验综合能力评估方法 [J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(7): 157–159.
- XU H B, ZOU J H, WANG C L, et al. An evaluation method of integrative capacity for equipment system's operation test[J]. Fire Control & Command Control, 2018, 43(7): 157–159.
- 18 贾哲, 王锐华, 马贤明. 数据链装备作战试验评估指标体系 [J]. 指挥与控制学报, 2020, 6(1): 21–27.
- JIA Z, WANG R H, MA X M. A evaluation index systems for data link equipment operational test[J]. Journal of Command and Control, 2020, 6(1): 21–27.
- 19 武永乐, 刘铁林, 李三群, 等. 基于模糊综合评判的武器装备体系运用风险评估 [J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(10): 74–78.
- WU Y L, LIU T L, LI S Q, et al. Evaluation for risk of equipment system of systemsemployment based on fuzzy synthetic evaluation method[J]. Fire Control & Command Control, 2018, 43 (10): 74–78.
- 付朝博** (1983–), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为军事装备需求论证、装备试验. 本文通信作者.
E-mail: fcb713100@sina.com
- 郭齐胜** (1962–), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为军事装备需求论证、作战仿真、试验评估.
- 董志明** (1977–), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为军事装备需求论证、作战仿真、试验评估.