

doi: 10.7690/bgzd.2022.06.017

美军构建 JLVC 联邦互操作问题研究

周媛, 张源原, 朱鹏, 路欢

(海军航空大学教练机模拟训练中心, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要: LVC (live, virtual, constructive) 是美军联合训练的重要手段, 构建 JLVC (joint live, virtual, constructive) 联邦是 LVC 训练的技术支撑方式。在研究 LVC 提出背景、分布式仿真发展历程的基础上, 对美军 JLVC 联邦构建中的互操作问题进行了深入分析; 借鉴美军解决互操作问题的经验做法, 得出加快构建我军一体化联合训练的 3 方面启示。结果表明, 该分析可为我军联合训练环境建设提供有价值的参考。

关键词: LVC; JLVC; 分布式仿真; 互操作

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Research on Interoperability of JLVC Federation in US Army

Zhou Yuan, Zhang Yuanyuan, Zhu Peng, Lu Huan

(Trainer Simulation Training Center, Naval Aviation University, Huludao 125000, China)

Abstract: LVC (live virtual constructive) is an important means of joint training in the US army, and the JLVC (joint live, virtual, constructive) federation is the technical support mode of LVC training. Based on the research of the background of LVC and the development of distributed simulation, the interoperability of JLVC federation is analyzed; by learning from the experience of the US Army in solving interoperability problems, 3 Enlightenments are drawn to speed up the construction of integrated joint training of our army. The results show that the analysis can provide a valuable reference for the construction of the joint training environment of our army.

Keywords: LVC; JLVC; distributed simulation; interoperability

0 引言

随着新的军事思想和武器装备技术的不断发展, 现代战争已由传统的单一军种作战转向诸军兵种联合作战新型作战样式。将真实-虚拟-构造相结合的 LVC 训练能够实现“像作战一样训练, 像训练一样作战”的思想, 是美军联合训练的重要手段。21 世纪初, 美军联合作战司令部开始构建 JLVC 联邦作为 LVC 训练的技术支撑环境^[1], 最终目的是要创造一个真正的即插即用环境, 能够将异构的仿真技术融入一个 LVC 环境中, 无缝地进行试验和训练。LVC 训练在 JLVC 联邦的支撑下能够快速提升美军联合作战能力, 加快转变美军的训练模式, 推动军事训练向信息化发展^[2]。

1 LVC 训练方法

在从技术发展到军事应用的近 30 年间, LVC 仿真体系概念逐渐成熟。美国国防部定义了 3 类军事仿真: 实物仿真 (live)、虚拟仿真 (virtual) 和构造仿真 (constructive)。

1) 真实仿真, 是真实的人操纵真实系统。例如,

目前空军军事训练演习中经常使用空战机动仪器系统 (air combat maneuvering instrumentation, ACMI), 可将飞机的诸如位置、速度、加速度、方向及武器状态等信息传输到分布式仿真网络中, 供其他设备或人员使用, 最典型用法包括判断飞行员操纵飞机的能力、导弹的使用情况以及空战结果评判;

2) 虚拟仿真, 是真实的人操纵虚拟系统。该方法属于人在回路 (human-in-the-loop, HIL) 的训练仿真。例如, 使用飞行模拟器训练飞行员驾驶能力以及执行任务能力。

3) 构造仿真, 是虚拟的人操纵虚拟的系统。仿真过程中, 真实的人会对系统提供参数等刺激信息, 但不直接参与。这类仿真通常用来进行分辨率较低的高级别指挥决策训练。

同时包含了真实、虚拟以及构造 3 类仿真类型的仿真系统, 就是 LVC 仿真。LVC 训练方法的引入, 能够有效解决以下传统训练方法存在的问题。

1) 武器装备的实际作战能力受作战环境的限制。单一军种对武器装备的试验不足以证明该型武器是否满足作战人员的训练需求, 无法衡量在真实

收稿日期: 2022-02-24; 修回日期: 2022-03-23

作者简介: 周媛 (1992—), 女, 江西人, 工程师, 从事飞行模拟训练、模拟仿真研究。E-mail: 604650586@qq.com。

作战情况下遂行联合行动的作战效能。通过引入 LVC 的训练方法,构建一体化的联合试验训练平台,可实现多种作战环境下的武器装备试验论证。

2) 现代战争的性质,加上有限的可利用资源,无法快速组织大规模演习,所以利用 LVC 训练方法,可将不同地理位置上的各类仿真资源进行整合,同时生成大量的构造实体,生成更为逼真的作战场景,为各军兵种、各部队共同参与的联合军事演习提供条件。

3) 作战系统的技术发展超越了实战空间、可用性和技术能力^[3]。例如,美军的第五代 F-22 或 F-35 战斗机,在没有 LVC 环境的情况下,无法提供测试和训练电子对抗、多级协同态势感知与打击等科目的能力。

4) 大量的设施资源呈现出独立的“烟囱式”开发模式,造成资源浪费,同时使分布式仿真系统间互操作难度增大。将真实、虚拟、构造仿真设施集成,能够以更少的成本有效地提高试验、训练水平。

2 分布式仿真的发展历程

LVC 训练实现的关键是分布式仿真技术的发展。单个仿真系统已经不能满足当下军事试验和训练的发展需要,迫切需要将多个仿真系统联合起来,以满足多武器系统、多军兵种参与下的联合训练需求。这种分布广、范围大的联合试验和训练需求是分布式仿真技术产生的直接原因。图 1 显示了每种仿真体系结构在过去 25 年中的演变过程,以及未来的发展。

2.1 网络仿真

1983 年,美国国防部高级研究规划局(DARPA)与美陆军共同制定了一项网络仿真(simulation network, SIMNET)研究计划,将不同地点的平台级

模拟训练装备进行联网,实现不同战斗装备间的模拟对抗训练^[4]。到 1989 年, SIMNET 已将分布在美国和德国的 11 个军事基地的 260 多个地面车辆仿真器互联,构建了首个分布式仿真作战环境,可用于进行不同虚拟作战环境下的模拟训练。

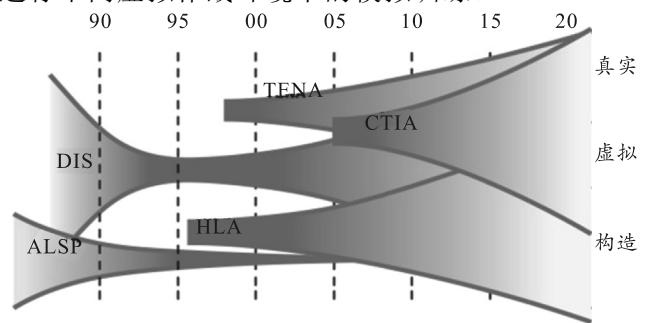


图 1 各仿真体系结构演变过程

2.2 分布交互仿真

在证明 SIMNET 可行性的基础上,美军提出并着手创建异构型网络互联的分布交互仿真(distributed interactive simulation, DIS)系统,并把它作为美国面向 21 世纪的一种信息基础设施。目前通用的 DIS 是以 IEEE1278—1993 标准为基础,使用统一的结构和算法,将分散在不同地点的各类模拟器通过网络和真实世界进行互联,构建出人参与交互操作的综合环境^[5]。

如表 1 所示,美军针对 DIS 应用开展了 5 大计划,分别是:多兵种战术训练系统(combined army tactical trainer, CATT)、作战人员模拟系统 2000(warfighter's simulation, WARSIM)、战争综合演练场(synthetic theater of war, STOW)、虚拟装甲旅(virtual brigade, VB)、陆军战备训练模拟系统(simulation training army readiness, SIMITAR)。

DIS 采用的是一种层次较低的体系结构,其优点是结构简单、容错性好,但不适合处理逻辑复杂、层次多的大型系统。

表 1 针对 DIS 应用开展的 5 大计划

计划类型	计划内容
CATT	利用贴近真实的虚拟战场环境进行战术训练,主要针对各兵种营以下级别的指挥人员,符合 IEEE Std 1278—1993 标准
WARSIM	将所有模拟系统集成成为一个“无缝”的联合战场环境的未来模拟系统
STOW	采用 DIS 体系结构,融合真实与虚拟实体训练
VB	采用先进仿真技术进行虚拟装甲旅训练,支撑系统包括旅/营作战模拟系统(brigade battle simulation system, BBSS)以及 SIMNET, 1996 年投入使用
SIMITAR	与虚拟装甲旅系统配合使用,提高战备能力,采用 DIS 体系结构

2.3 聚合级仿真协议

DIS 的设计主要面向真实与虚拟领域,这些领域专注于旅/营级以下的战术训练。为能将模拟训练

推广到作战单元覆盖范围更大的战役、战略层,进行作战推演,需要结合计算机生成兵力技术,在构造领域进行聚合级模拟。为此,美军在 90 年代初开

发了聚合级仿真协议 (aggregate level simulation protocol, ALSP)。

相比 DIS, ALSP 的优点是引入了时间管理、数据管理和属性所有权管理^[6], 能够更好地在构造领域进行分布式操作, 减少了分布式作战演习中系统消息的传输数量。

ALSP 的最大缺点为缺乏灵活性。当向 ALSP 中添加新的成员时, 需要重写系统中已有成员的代码^[7], 使系统运行复杂化。并且, ALSP 与 C⁴I 系统无法集成到一个分布式综合环境中, 不能提供更大规模的战术、战略层的开发和作战仿真以及多兵种协作的体系对抗仿真。

2.4 高层体系结构

虽然 DIS 和 ALSP 在各自领域运行良好, 但是在使用后期发现这 2 种体系结构不兼容, 迫切需要构建一种新的仿真体系, 以真正实现不同仿真系统间的互操作和重用。1995 年 10 月, 美国国防建模与仿真办公室 (defense modeling and simulation office, DMSO) 发布了建模与仿真主计划 (modeling and simulation master plan, MSMP), 即 DoD5000.59-P 文件^[8]。MSMP 主要目的是为军事上的建模与仿真 (modeling and simulation, M&S) 制定一个通用的技术框架, 以促进 M&S 的互操作和重用。该技术框架由 3 部分组成:

- 1) 创建通用的高层体系结构 (high level of architecture, HLA), 促进仿真应用之间的互操作、仿真应用与真实系统之间的互操作及 M&S 的重用。

- 2) 开发任务空间概念模型 (conceptual models of the mission space, CMMS), 作为构造一致的仿真模型的开端, 促进仿真应用间的互操作和重用。

- 3) 设立数据标准 (data standard, DS), 支持模型与仿真的规范描述。

HLA 作为该技术框架的核心, 于 2000 年 9 月 21 日, 经 IEEE 标准协会 (SA) 同意, 正式形成 IEEE1516 标准^[9]。

该技术框架是一个灵活、可重用的体系结构, 保证了不同模型和仿真应用在美国所有军事领域都能够高效利用。

HLA 的缺点在于通用性较差, 应用功能在实现时限条件多, 例如, 各联邦成员的对象模型必须使用一致的标准, 否则无法实现互操作^[10]。

2.5 试验与训练使能体系结构

试验与训练使能体系结构 (the test and training

enabling architecture, TENA) 是美国 DoD 作战实验和评估小组在对目前使用的体系结构与应用成果进行研究的基础上, 按照扩展的 C⁴ISR 体系结构框架, 定义的一种新的仿真体系结构。TENA 的主要目的是为了以迅速、高效、低成本的方式实现军事试验与训练领域的互操作和重用, 解决真实领域的集成问题, 最终构建出用于不同试验和训练目的的“逻辑靶场”^[11]。

2.6 公共训练仪器体系结构

2005 年, 美国陆军为了给真实训练改革 (LT2) 系列产品的研发提供实验支撑, 提出了公共训练仪器体系结构 (common training instrumentation architecture, CTIA)。CTIA 的优点是对不同地理位置的训练装备间的通信采用集中式服务的方式, 实现了带宽有效管理。同时 CTIA 是唯一采用面向服务技术的仿真体系结构^[12]。

3 JLVC 互操作问题

美军在不同时期对训练仿真的需求不同, DIS 支持同类功能仿真应用的互连互操作; HLA 适用于所有应用领域 (如分析、试验、训练等) 中 M&S 的开发与集成, 其能力主要集中在虚拟领域; TENA 和 CTIA 是为面向具体应用领域而开发的, 能力集中在真实训练事件上, 通用性更好。每种体系结构都有自己的局限性, 只能在真实、虚拟、构造中的 1~2 个层面解决集成问题。美军构建 LVC 联邦目的是将独立开发的组件、应用程序或系统, 有意义地进行协同工作, 完成用户定义的目标, 实现互操作, 为此进行了大量的实践, 取得一定效果。

3.1 网络基础设施的互联互通

为使试验和训练任务在 JLVC 环境中得以进行, 网络是必不可少的。美国国防部目前已经建立了许多强大、高容量、低延迟的网络, 包括国防研究与工程网络 (defense research and engineering network, DREN)、联合测试与评估网络 (joint test and evaluation network, JTEN)、空军预备役部队网络 (air force reserve network, ARCNet)、海军连续训练环境 (naval continuous training environment, NCTE)、联合信息作战靶场 (joint information operation range, JIOR) 以及导弹防御局机密网络 (missile defense agency confidential network, MDACNet)、作战实验室协同仿真环境 (battle lab collaborative simulation environment, BLCSE) 和分

布式任务操作网络 (distributed mission task operation network, DMON)^[13]。

这些网络连接允许大量数据在远距离的站点之间实时传输,但由于每个网络由不同的政府机构维护,并连接到不同的站点和系统,而其他网络一般不能直接连接到这些站点和系统。例如,DMON 主要与美国空军基地和设施相连,而 NCTE 则与美国海军港口和车站相连。目前,2 个网络之间没有持久的连接,也没有一个单独的集线器来负责这样的网络连接活动。这造成了独立网络之间的访问限制和冗余网络连接。

创建一个站点之间的持久连接需要使用多个资源。例如,为了让美国空军国民警卫队的 F-16 模拟器连接到海军 EP-3E 模拟器站点,必须通过 4 个不同的自治网络 (ARCnet、DMON、JTEN、NCTE) 传递数据。每个网络集线器都自行管理,负责确保建立适当的网络连接和网络设置,并监控数据流量。对于多个网络节点,很容易出现技术网络问题,例如延迟、数据包丢失、连接断开和数据转换问题。其他非技术问题包括调度、配置管理、有限的人员和资源以及成本。

为此,21 世纪初,美军批准了“联合任务环境试验能力”(joint mission environmental test capability, JMETC) 计划,旨在把不同地理位置的靶场设施、仿真设备和工业部门的试验资源连接起来,构建一个能满足军事训练、作战分析、装备试验等多用途的、LVC 资源一体化的联合试验支撑平台^[14]。这个环境解决了诸如网络持久性、协作工具、配置、集中安全管理等问题。

3.2 使用标准协作工具

在 LVC 结构中,协作工具包括处理诸如聊天和文件共享等信息共享类的工具。在构造 LVC 环境时,协作工具看似是一个微不足道的问题,但使用一个标准的文件共享方法有利于仿真技术发展和促进一个分布式联邦的集成。

美军的国防知识在线 (defense knowledge online, DKO) 是一个基于网络的联合协作环境,包括国防在线连接 (defense online connection, DCO),这是一个现成的官方产品,国防部已确定将 DCO 作为标准文件共享方法。

3.3 选择先进数据过滤器

在一个 JLVC 事件或演习中,战场环境可能有

许多不同的参与者,成千上万的构造实体被生成并在系统之间传递。由于操作系统陈旧、内存有限和软件版本较旧的原因,一些系统只能处理特定的流量负载,接收所有数据会造成系统不稳定和故障,严重的能导致系统崩溃。在 JLVC 演习中系统不需要接收与其业务无关的数据,可通过设置数据过滤器来消除多余的数据流量并调节带宽。系统可使用外部过滤器或依赖于它们的网络门户作为系统的过滤机制。每个过滤器的工作原理不同,并且不遵循特定的标准。

JLVC 环境中有许多可用的过滤工具体,大多数过滤器都可提供事件成功所需的能力,但要考虑到配置管理和人为错误造成的过滤器故障。例如,过滤操作码可能输入错误的路由地址,造成模拟器没有接收到数据;或者,操作员可能会错误地允许本应过滤掉的数据通过,从而导致模拟器因无关数据而过载。在构建 JLVC 联邦时,需要选择一种先进的数据过滤器,目前美国国防部大部分系统都在使用分布式任务操作中心 (distributed mission operation center, DMOC) 的过滤软件,DMOC 过滤软件只与 DIS 兼容。

3.4 开发通用模型库

在不同仿真语言之间进行数据转换的能力对于确保一个一致和无缝的环境非常重要。DIS、HLA 和 TENA 都是发展成熟的分布式仿真系统,用户可轻松地实现完成任务所需的协议。然而,协议在每种仿真语言中传递的数据并不是标准化的。例如,在 2 个不同的模拟器之间获取雷达参数数据(例如频率、脉冲率间隔、带宽),国家航空航天情报中心 (national air and space intelligence center, NASIC) 和导弹航天情报中心 (missile space information center, MSIC) 是电子战 (electronic warfare, EW) 真实参数数据的专家;也有像 IHS Jane (一家开源情报提供商) 这样一般的消息来源。即使是同一家公司创建的模拟器也不一定能够确保模型的通用性和互操作性。

除了缺乏给定模型的相关数据外,3 维模型也是试验和训练界关注的问题,特别是近距离空中支援 (close air support, CAS) 和城市战争类事件。高逼真建模对于在伊拉克和阿富汗这类战争环境中的试验和训练是必要的。

地形数据库在 JLVC 环境中也扮演着非常重要的角色,并非所有模拟器都是平等创建的,许多传

统系统受到其处理能力、内存和速度的限制。例如，根据地形数据源和使用的数字地形高程数据 (digital terrain elevation data, DTED)，在一个模拟器中创建的地面对象可能看起来像是在地下或漂浮在另一个系统中。

为了克服这些问题，建立一个所有国防部用户都可以访问的单一信息源库，联合部队司令部 (joint forces command, JFCOM) 开发了联合训练数据服务 (joint training data service, JTDS) 软件。目前，JTDS 软件的重点是通用数据模型、地形/地理空间数据库、天气和作战结构数据，国家地理空间情报局 (national geospatial-intelligence agency, NGA) 和国防信息系统局 (defense information systems agency, DISA) 负责收集信息。JTDS 是一个可供下载的 GOTS 软件，收集的信息是经过认证的数据，便于国防部机构获取。使用这些数据库和模型会耗费时间，且改装成本高昂，如果只有少数系统使用此软件，则无法解决总体数据不相关的问题；因此，关键是要要求国防部的活动和演习必须使用此软件。

3.5 构建可重用环境发生器

环境发生器 (environment generator, EG) 主要用于为试验和训练的虚拟和真实系统创建构造实体。通常，EG 是为特定的程序或模拟器创建的。例如，NAVAIR 的下一代威胁系统 (next generation threat system, NGTS) EG 专门从事空中平台训练，Teledyne Browne 的扩展航空防御模拟 (extended aviation defense simulation, EADSIM) EG 专门从事战场导弹防御；目前，这 2 个模拟器无法在不丧失功能的情况相互取代。EG 的目的是为作战人员提供最佳、最真实的试验或训练环境。也可以利用 EG 进行空中平台训练，例如，空军研究实验室的专家通用沉浸式战场环境 (expert common immersive theater environment, XCITE)、Plexsys 公司的高级模拟作战训练器 (advanced simulated combat trainer, ASCOT) 以及 Presagis 公司的场景工具包和生成器环境 (scene toolkit and generator environment, STAGE) 都拥有空中平台 EG 的标准基线。上述各空中平台 EG 都具有相似的空中平台试验和训练能力。然而，当需要新的系统或功能时则要构建新的 EG，而不是为给定的领域推广一个 EG。由于大量的重复工作和昂贵的开发成本，促进了 EG 的可重用性，并朝着合并的方向发展。

美军为了解决系统中多个 EG 的冗余和管理问

题，建立了“一个半自动化兵力 (one semi automated force, oneSAF)”计划。OneSAF 的目的是构建一个单一的 EG，替换许多现有的 SAF，以节省资金并促进互操作性。

3.6 建立多级安全系统

多级安全 (multi-level security, MLS) 对美军及盟国的试验和训练都很重要。美军推出了 MLS 解决方案，允许不同的站点和模拟器在不同的安全级别上运行，每个站点和模拟器都有不同级别的信息共享限制。

MLS 在联合演习中非常普遍。想要在国防部内部共享每个站点和系统的信息，需要 2 个现场指挥官的批准，利用协议备忘录 (memorandum of agreement, MOA) 和操作授权 (authorization to operate, ATO) 进行连接。与美国以外的参与者连接和共享信息时，对于哪些信息可以共享有具体的局限性和限制条件，不同国家的限制条件会有所不同。通过 MLS 的应用，美军可在确保信息安全的基础上，实现本国和盟国模拟器的数据传输^[15]。

4 启示

4.1 构建科学的分布式仿真训练体系

构建与我军训练目标相适应的分布式仿真训练体系，明确训练需求，搞好顶层规划，真正将虚拟仿真、构造仿真以及带有仪表的真实仿真互联在一起，提供用于试验或训练目的的“无缝”一体化环境，提高飞行员技术、战术能力，真正实现“战时怎么打，平时就怎么训”的目的。

4.2 推进训练系统的改进和研发

一些老旧的系统已经无法适用于 LVC 联合训练，从美军开发的 JTDS 软件、建立的 OneSAF 计划看出，为实现不同体系结构的互操作，在构建 JLVC 联邦之初应注意：1) “一体化”设计，让训练系统与作战装备同步发展，如建立单一的信息源库，让每种仿真语言中传递的数据标准化；2) 要将最新的研发成果应用到训练系统中，如建立 MLS 系统，确保信息安全。

4.3 强化标准意识

1) 军事装备标准化，将军事装备进行标准化便于实现系统互操作和节省成本，在进行规模生产和运输保障中获取最大经济效益。2) 体系建设标准化，要按照联合训练由军种向联合、由要素向集成

转变的内在逻辑关系,找准联合的切入点;针对联合训练中的人、事、物等基本要素,对领导管理、组织实施、训练保障等关键环节进行系统规范,增强标准实用性。3) 训练设计思路标准化,将联合训练质量关口迁移,推行联合训练资格认证制度,建立完善各军兵种部队参加联合训练的准入机制。

5 结束语

美军将 LVC 训练方法作为训练转型战略的核心内容。利用 LVC 进行试验和演习,能够检测和验证美军的联合作战能力,提升和改进相关的战术与训练方法,为未来可能发生的多线军事冲突进行预演,在提高训练资源利用率的同时节约了大量经费。

为了构建“无缝”一体化的 JLVC 环境,美军经过了长期的研究和论证,不断改进了互操作性能上的局限。研究美军面向 LVC 训练的技术发展历程和实际应用中互操作问题上遇到的困难及解决方法,吸取经验教训,有助于提升我军联合训练环境建设水平。

参考文献:

- [1] Joint Live Virtual and Constructive (JLVC) Federation Integration Guide[R]. United States Joint Forces Command (USJFCOM), 1562 Mitscher Ave, 2010.
- [2] 李进,吉宁,刘小荷,等. 美军新一代支持联合训练的 JLVC2020 框架研究[J]. 计算机仿真, 2015, 32(1): 463-467.
- [3] ANDRE D. Live-Virtual-Constructive(LVC) Training: then&now[Z/OL]. www.presagis.com/en/blog/detail/live-virtual-constructive-lvc-training-then-and-now/, 2019-01-15.
- [4] 郝建国. 高层体系结构(HLA)中的多联邦互连技术研究[实现][D]. 长沙: 国防科技大学, 2003.
- [5] 黄柯棣. 系统仿真技术[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1998: 27-28.
- [6] 李伯虎,柴旭东,毛媛. 现代仿真技术发展中的两个热点—ADS, SBA[J]. 系统仿真学报, 2001, 27(5): 101-105.
- [7] 李弘毅. HLA 技术在分布交互仿真系统中的应用研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [8] U.S. Department of Defense(DOD). Modeling and Simulation Master Plan, October 1995[R/OL]. <http://www.dmsomil/>.
- [9] IEEE B E. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)- Framework and Rules[J]. IEEE, 2010: 1-378.
- [10] 蔡继红,卿社政,谢宝娣. 支持 LVC 互操作的分布式联合仿真技术研究[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(1): 93-97.
- [11] 冯润明,王国玉,黄柯棣. TENA 及其与 HLA 的比较[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(2): 288-291.
- [12] 白爽,洪俊. 美军面向 LVC 联合训练的技术发展[J]. 指挥控制与仿真, 2020, 42(5): 135-140.
- [13] COLOMBI J M, COBB C, GALLEGOS D. Live-Virtual-Constructive Capabilities for Air Force Testing and Training[J]. ITEA Journal, 2012, 33: 49-57.
- [14] 孟凡松,汪勇,王萍. TENA 体系结构在美军 JMETC 中的成功运用[J]. 现代防御技术, 2009, 37(6): 47-51.
- [15] 刘怡静,李华莹,刘然,等. LVC 空战演训系统发展研究[J]. 飞航导弹, 2020(12): 55-60, 77.