

7-20-2021

## Design and Engine Implementation of Submarine Combat System Simulation Based on LVC

Jinping Wu

*Navy Submarine Academy, Qingdao 266199, China;*

Minghua Lu

*Navy Submarine Academy, Qingdao 266199, China;*

Changyou Xue

*Navy Submarine Academy, Qingdao 266199, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Design and Engine Implementation of Submarine Combat System Simulation Based on LVC

### Abstract

**Abstract:** Submarine combat system simulation is one of the key and most important content in submarine combat simulation. *On the basis of LVC simulation technology, practicing simulation-as-a-service idea, the LVC integration simulation method of submarine combat system is proposed and the LVC integration simulation environment is constructed. The composition and relationship of LVC simulation system are researched. The compositional structure of LVC simulation engine was designed. Based on the component design and development specifications in Java/EJB technological infrastructure, in use of software component technology, the simulation engine components are designed and implemented. The LVC integration simulation of submarine combat system integrates the advantage of three simulation styles, achieves the plug-and-play simulation environment and the better efficiency-cost ratio resource allocation.* The application range of submarine combat system simulation is obviously expanded.

### Keywords

submarine combat system, LVC integration simulation environment, composition and relationship of LVC simulation system, simulation engine, software component

### Recommended Citation

Wu Jinping, Lu Minghua, Xue Changyou. Design and Engine Implementation of Submarine Combat System Simulation Based on LVC[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(7): 1647-1653.

# 潜艇作战系统 LVC 一体化仿真设计与引擎实现

吴金平, 陆铭华, 薛昌友

(海军潜艇学院, 山东 青岛 266199)

**摘要:** 潜艇作战系统仿真是潜艇作战仿真最为核心和关键的内容之一。基于 LVC(Live Simulation, Virtual Simulation, Constructive Simulation) 仿真技术, 实践“仿真即服务”的理念, 提出了潜艇作战系统 LVC 一体化仿真方法, 构建了潜艇作战系统 LVC 一体化仿真环境, 研究了潜艇作战系统 LVC 仿真系统的组成与关系; 设计了 LVC 仿真引擎的组成结构, 基于 Java/EJB 技术框架下组件设计与开发规范, 设计并实现了仿真引擎组件。潜艇作战系统 LVC 一体化仿真集成了 3 种仿真形式的优点, 实现了“即插即用”的仿真环境和效费比更优的资源分配, 大大拓展了潜艇作战系统仿真的应用范围。

**关键词:** 潜艇作战系统; LVC 一体化仿真环境; LVC 仿真系统组成与关系; 仿真引擎; 软件组件  
中图分类号: TP391.9; E911 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X (2021) 07-1647-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0231

## Design and Engine Implementation of Submarine Combat System Simulation Based on LVC

Wu Jinping, Lu Minghua, Xue Changyou

(Navy Submarine Academy, Qingdao 266199, China)

**Abstract:** Submarine combat system simulation is one of the key and most important content in submarine combat simulation. On the basis of LVC simulation technology, practicing simulation-as-a-service idea, the LVC integration simulation method of submarine combat system is proposed and the LVC integration simulation environment is constructed. The composition and relationship of LVC simulation system are researched. The compositional structure of LVC simulation engine was designed. Based on the component design and development specifications in Java/EJB technological infrastructure, in use of software component technology, the simulation engine components are designed and implemented. The LVC integration simulation of submarine combat system integrates the advantage of three simulation styles, achieves the plug-and-play simulation environment and the better efficiency-cost ratio resource allocation. The application range of submarine combat system simulation is obviously expanded.

**Keywords:** submarine combat system; LVC integration simulation environment; composition and relationship of LVC simulation system; simulation engine; software component

## 引言

“实况、虚拟、构造”仿真(Live Simulation, Virtual Simulation, Constructive Simulation, LVC) LVC 仿真是美军在 21 世纪初提出的一个技术概念, 是指实况仿真、虚拟仿真和构造仿真三者集成的一种综合仿真形式。LVC 仿真中的 L 是指仿

真应用者操作真实装备产生的一系列虚拟行动, 其典型特征是真实的人操作真实的装备, V 是指仿真应用者通过操作仿真系统在仿真的战场环境中作战, 其典型特征是真实的人操作仿真的装备, C 是指由仿真系统模型产生的“虚兵”和仿真系统进行交互产生的一系列仿真行动, 其典型特

收稿日期: 2020-05-06

修回日期: 2020-05-22

第一作者: 吴金平(1976-), 男, 博士, 研究员, 研究方向为军事运筹与作战仿真。E-mail: wjp\_wzh@163.com

征是虚拟的人操作虚拟的装备。通过 LVC 仿真将实装、仿真器和构造数字系统集成在一起,构建更加逼真、更加复杂的仿真任务环境,能更好地仿真未来战争,应对未来陆、海、空、天、电、网联合作战的挑战。

在潜艇作战仿真领域,潜艇作战系统仿真一直是潜艇作战仿真最为核心和关键的内容之一,为了满足潜艇作战系统论证分析、装备采办、作战使用研究和仿真训练等不同应用目的以及试验、训练、实验等不同应用领域的广泛需求,潜艇作战系统仿真在仿真技术层面需要体现“仿真即服务”(simulation-as-a-service)的理念,能够支持构建“即插即用”的仿真环境,能够支持异构系统间的互联互通,以实现效费比更优的资源分配。LVC 仿真技术的出现和快速发展,为潜艇作战系统仿真提供了全新的技术手段,使得仿真应用者能够根据不同应用需求,灵活定制装设备实现方式,核心装设备通常使用实装或准实装方式实现,其他装设备通常使用半实物方式实现,蓝方对抗兵力和红方协同兵力则通常使用计算机生成兵力方式实现。三种实现方式在 LVC 仿真技术的支持下实现综合集成,实现与潜艇作战系统实际装备类似甚至一致的功能,从而实现对潜艇作战系统不同应用需求的仿真支持,具有良好的灵活性、可扩展性和很高的效费比。

## 1 潜艇作战系统 LVC 一体化仿真环境

潜艇作战系统是潜艇作战装备的核心,通常包括传感器、指挥控制、武器、导航和操纵等分系统,图 1 为以潜艇指控系统为核心进行作战系统 LVC 一体化仿真的示意图,主要包括潜艇实装指控系统控制台、作战系统装备仿真平台、兵力构造仿真显控台、LVC 仿真引擎、仿真运行支持系统、仿真模型库系统、数据库系统和其他仿真资源等。

为了构建与潜艇作战系统体系结构、信息交互关系等一致的装备仿真平台,指控系统设备采用实装或准实装设备实现,属于实况仿真的范畴;而传感器仿真器、武器仿真器、导航仿真器、操纵仿真

器等各分系统仿真器以半实物仿真设备实现,属于虚拟仿真的范畴;兵力构造仿真显控台包括水面舰艇编队显控台、蓝方潜艇显控台、红方潜艇显控台、反潜飞机显控台等,主要以计算机生成兵力方式实现对蓝方对抗兵力和红方协同兵力的仿真,属于构造仿真的范畴。LVC 仿真引擎、仿真运行支持系统、仿真模型库系统、数据库系统和其他仿真资源是支撑潜艇作战系统 LVC 仿真实现和运行的基础。

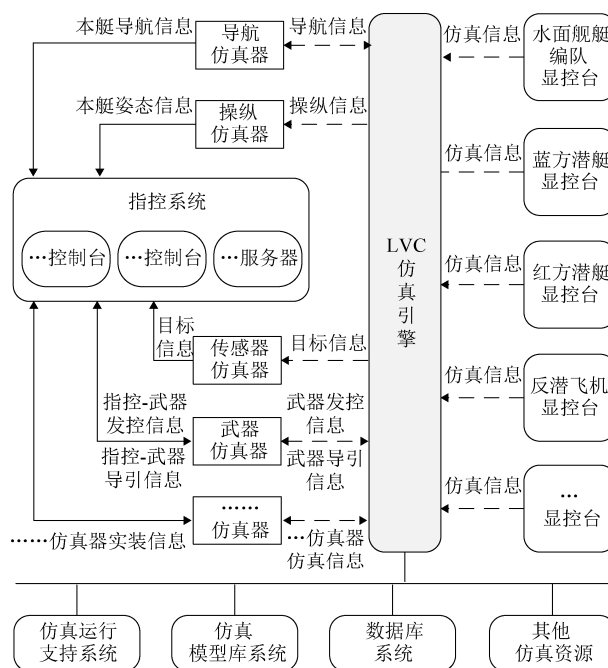


图 1 潜艇作战系统 LVC 一体化仿真环境

Fig. 1 LVC integration simulation environment of submarine combat system

潜艇作战系统仿真网络环境由装备仿真网和仿真支持网组成,两部分网络在物理上隔离,信息独立运行,同时通过网络接口计算机,实现网络间的信息交互,保证作战系统的信息流程与实际一致。

通过实现潜艇作战系统 LVC 一体化仿真,可以达成以下基本目标:

(1) 紧密围绕潜艇作战系统装备,以驱动潜艇实装或准实装指控系统、潜艇作战系统其他分系统半实物仿真器、兵力构造仿真显控台,构建集实装或准实装、半实物仿真、兵力构造仿真为一体的全分布式仿真系统。

(2) 紧密围绕潜艇作战系统功能, 支持潜艇作战系统论证分析、装备采办、作战使用研究和模拟训练等, 构建系统功能顶层优化设计、综合集成的异构仿真系统。

(3) 紧密围绕潜艇作战系统应用, 针对潜艇作战系统装备、作战对象、作战样式等特点, 实施作战想定设计、作战兵力配置、作战任务规划等, 构建红蓝双方仿真兵力高度对抗的实时仿真系统。

## 2 潜艇作战系统 LVC 仿真系统的组成与关系

从仿真系统实现的角度, 潜艇作战系统 LVC 仿真系统的组成与关系如图 2 所示, 包括潜艇实装(准实装)指控系统、分系统半实物仿真器、计算机生成兵力系统、作战仿真引擎与仿真运行支持系统、仿真模型库系统和数据库系统等。

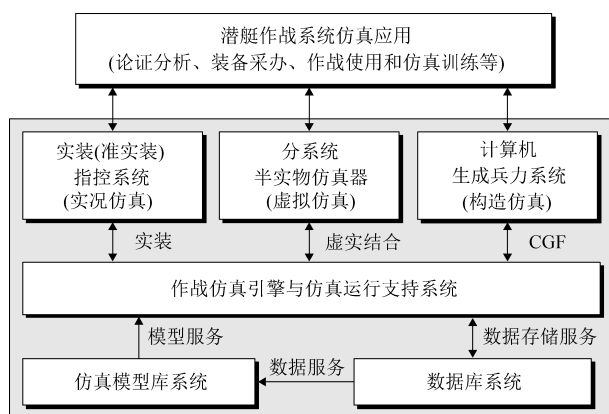


图 2 潜艇作战系统 LVC 仿真系统组成与关系  
Fig. 2 Composition and relationship of LVC simulation system on submarine combat system

(1) 潜艇实装(准实装)指控系统。它是潜艇作战系统仿真的核心。

(2) 分系统半实物仿真器。提供了硬件在回路的仿真环境, 通过实现虚实空间数据无缝交互及实装仿真设备仿真运行驱动, 将影响潜艇作战系统的关键设备嵌入到仿真环境中, 提供与实际一致的处理流程和外部输出数据, 接收虚拟战场空间的数据, 根据其内部流程进行处理后向外部相关系统发送数据, 从而影响作战过程。

(3) 计算机生成兵力系统。提供了作战仿真中的各种对抗及协同兵力, 以人机相结合的方式提高仿真应用的对抗性。一方面, 通过综合应用战术行动规则和仿真脚本的方法实现基于模型库的计算机生成兵力的作战行为自动控制模型; 另一方面, 通过人机操作界面使得人在回路中的仿真应用成为可能。计算机生成兵力系统在模型库和数据库的支持下通过模型的组合以及数据的加载可以实例化成各型兵力, 兵力的操控和指挥控制决策可通过人机界面交互实现, 从而影响兵力的行为和状态。

(4) 作战仿真引擎与仿真运行支持系统。作战仿真引擎实现对仿真应用的驱动, 提供仿真运行所需的基本服务, 如仿真时间推进、仿真交互管理、仿真过程管理等。从建模与仿真技术的角度出发, 仿真引擎能够实现三个方面的功能: ①提供作战仿真模型体系设计和开发的统一框架; ②提供作战仿真系统开发、运行和应用的基础平台; ③提供作战仿真异构资源间互联互通的开放接口。仿真运行支持系统基于作战仿真引擎, 以通用计算机搭载软件的形式实现对仿真运行的支持, 包括想定生成、导演控制、显示监控、仿真数据分析等功能。

(5) 仿真模型库系统。仿真模型是开展作战仿真活动的基础, 为满足潜艇作战系统仿真的需求, 建设包括战场环境仿真模型、指挥通信仿真模型、潜艇作战仿真模型、传感器仿真模型、武器仿真模型、反潜兵力作战仿真模型等在内的功能完善、结构合理、可组合与重用的潜艇作战仿真模型体系。仿真模型库系统在数据库系统支持下可动态生成模型实例, 通过作战仿真引擎与实装(准实装)指控系统、半实物仿真器、计算机生成兵力系统等进行交互。

(6) 数据库系统。通过建设结构合理、种类齐全的数据库系统, 实现模型和数据的分离, 大大提高仿真模型的灵活性, 仿真模型通过动态加载参数数据(根据兵力、装备型号等标识)提高模型的使用范围和模型库的生命力。通过建设开放性、可扩展性的高性能仿真数据存储系统, 为记录仿真过

程数据和仿真结果数据以及基于数据的仿真结果分析评估提供数据存储服务。

### 3 LVC 仿真引擎组件化设计与实现

LVC 仿真引擎主要实现对仿真系统的驱动,是驱动仿真模型体系运行的核心,它在仿真系统中负责时间推进、调度运行、仿真控制、数据存储、为仿真运行过程中的态势显示提供交互等。

#### 3.1 仿真引擎的设计

在 LVC 一体化仿真中,为了实现仿真引擎的通用化以支持多种样式的作战仿真,需要仿真引擎能够实现对同构或异构的仿真系统/模型(包括基于组件的模型、独立仿真系统、基于 HLA/RTI 的仿真系统、基于 Agent 平台的仿真系统等)的仿真支持,以实现对这些不同实现方式、系统结构、分辨率和运行方式等的仿真系统/模型的互联互通互操作。仿真引擎既可以独立地支持主仿真系统的运行,又可以实现主仿真系统与其他同构或异构仿真系统(或模型)的综合集成。

如图 3 所示,采用组件化技术设计和实现 LVC

仿真引擎,包括仿真过程管理组件、仿真实体管理组件、仿真时间管理组件、仿真交互管理组件、互联接口管理组件、仿真数据管理组件和仿真日志管理组件等,可以根据需要对管理组件进行扩展。仿真过程管理组件是作战仿真引擎的核心,主要负责管理和控制仿真运行进程;仿真实体管理组件负责管理各类实体,包括控制实体的创建、销毁和配置,实体数据的查询和设置等;仿真时间管理组件,负责仿真过程的时间推进管理,支持各仿真实体的并行推进,支持基于时间步长和事件步长的推进机制;仿真交互管理组件,管理主仿真系统内部实体之间的交互事件及交互数据、包括数据的发布/订购或接收/发送;互联接口管理组件负责管理各类型仿真系统(或模型)的互联互通;仿真数据管理组件负责管理仿真过程中的各种数据,包括想定数据、中间数据和仿真结果数据的存储、分类和分析等,数据存储仿真过程数据库中;仿真日志管理组件提供,日志管理功能,用于记录仿真过程,主要负责记录仿真中实体成员之间发布/订购的基本数据和实体交互信息。

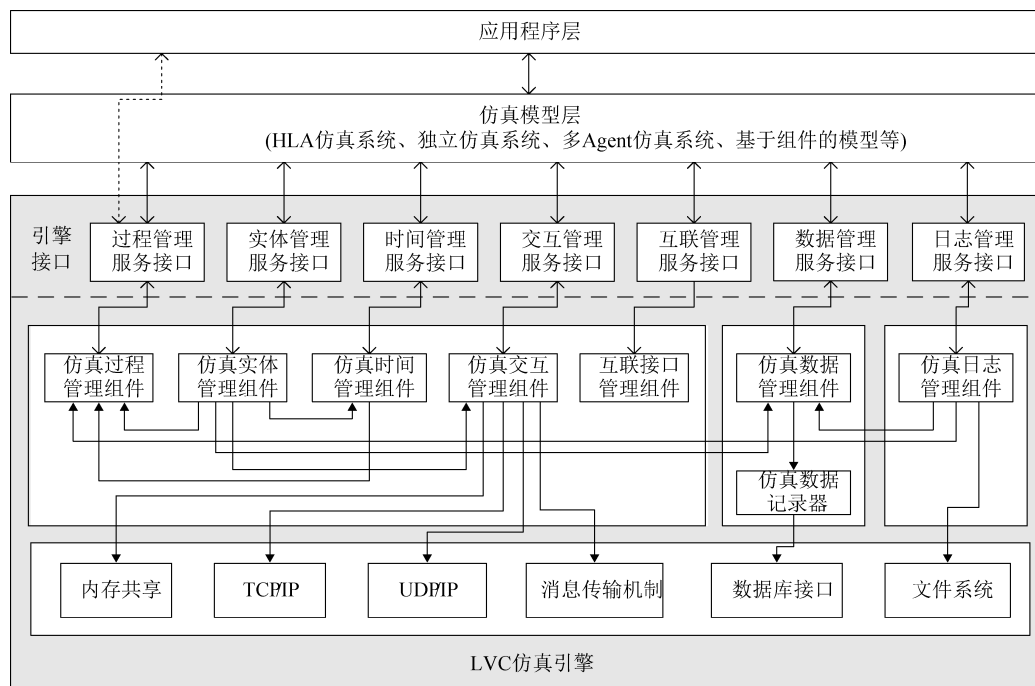


图 3 LVC 仿真引擎的结构

Fig. 3 Structure of LVC simulation engine

<http://www.china-simulation.com>

• 1650 •

### 3.2 仿真组件的类结构设计

单个仿真引擎组件设计与开发的方法基本类似, 组件的设计与开发采用什么样的仿真技术架构(如 DNA/COM, CORBA 和 Java/EJB 技术框架等)直接相关, 下面以 Java/EJB 体系下的仿真管理 EJB 组件的设计与开发为例。

按照 Java/EJB 组件设计与开发规范, 仿真管理 EJB 组件的类结构由接口类和实现类组成, 接口类和实现类相对分离, 同时接口类与实现类之间又具有继承关系, 从而可以最大程度地兼顾结构的稳定性和功能的扩展性。接口类对外公布了组件可以提供的服务, 接口又分为远程接口和本地接口 2 种类型, 远程接口(采用“@Remote”进行标注)声明的是应用层可访问的服务, 本地接口(采用

“@Local”进行标注)声明的是本地仿真服务层其他组件可访问的服务。实现类则定义了服务的实现细节, 在实现类中定义的方法必须先接口类中进行声明。

以仿真实体管理 EJB 组件为例, 其远程接口类和组件实现类的基本结构如图 4 所示。

该组件包含的主要属性信息有:

(1) 仿真实体信息链表(simuEntityPool)。记录当前仿真任务运行过程中的所有实体信息, 并对这些实体信息进行管理。

(2) 仿真实体代理信息链表(simuAgentPool)。记录当前仿真任务运行过程中以 Agent 形式代理的仿真实体信息, 从而可以实现对这些仿真实体的开环仿真控制。

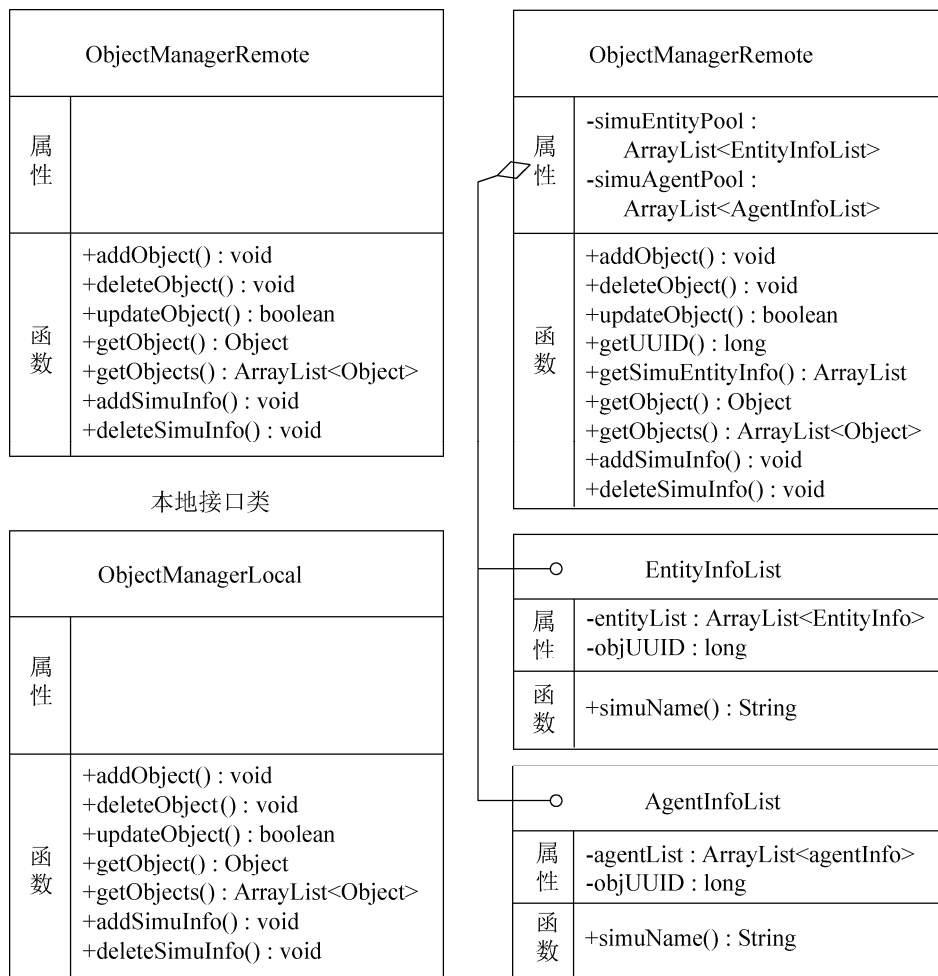


图 4 仿真实体管理 EJB 组件类结构图

Fig. 4 Class structure graph of simulation entity management EJB component

该组件包含的主要函数有:

- (1) addObject(): 添加实体对象
- (2) deleteObject(): 删除实体对象
- (3) updateObject(): 更新实体对象
- (4) getUUID(): 获取对象统一 ID 标识
- (5) getSimuEntityInfo(): 获取仿真实体信息
- (6) getObject(): 获取实体对象信息
- (7) getObjects(): 获取所有实体对象信息
- (8) addSimuInfo(): 添加仿真信息
- (9) deleteSimuInfo(): 删除仿真信息
- (10) simuName(): 获取仿真任务名称

### 3.3 仿真组件的类实现

在 Java/EJB 体系下, EJB 组件分为有状态(采用“@stateful”进行标注)和无状态(采用“@stateless”进行标注) 2 种。对于在仿真过程中不需要维持状态的仿真组件, 采用无状态 EJB 组件实现; 而对于在仿真过程中需要维持状态的仿真组件, 采用有状态 EJB 组件实现。在作战仿真引擎各管理组件中, 仿真过程管理组件、仿真时间管理组件、仿真交互管理组件和互联接口管理组件可定义为无状态组件; 而仿真实体管理组件、仿真数据管理组件和仿真日志管理组件则应定义为有状态管理组件。

当需要通过客户端访问仿真管理 EJB 组件时, 需要实现远程接口(采用“@Remote”进行标注)。如果一个组件既被本地其他组件访问, 又被远程客户端访问, 则必须同时定义远程接口和本地接口(采用“@Local”进行标注) 2 个接口类。仿真管理 EJB 组件对其他组件的访问采用依赖注入(采用“@EJB”进行标注)的方式。

#### (1) 仿真管理 EJB 组件的接口类

以仿真实体管理 EJB 组件为例, 其远程接口类主体代码为:

```
@Remote //定义远程接口
public interface ObjectManagerRemote {
    public void addObject(); //添加实体对象
    public void deleteObject(); //删除实体
```

对象

```
public boolean updateObject(); //更新实
体对象信息
public long getUUID(); //获取实体对象 ID 号
public ArrayList getSimuEntityInfo(); //获取
所有实体对象信息
public Object getObject(); //获取指定 ID 号的
实体对象
public ArrayList<Object> getObjects(); //获取
所有实体对象
public void addSimuInfo(); //添加仿真任务
信息
public void deleteSimuInfo(); //清空仿真任务
信息
}
```

#### (2) 仿真管理 EJB 组件的实现类

以仿真实体管理 EJB 组件为例, 其实现类主体代码为:

```
@Stateful //有状态 EJB
@Singleton //单态
public class ObjectManager implements
ObjectManagerRemote, ObjectManagerLocal {
    @EJB //依赖注入
    private ...; //其他组件
    //...
    @Override //添加实体对象
    public void addObject() {...}
    @Override //删除实体对象
    public void deleteObject() {...}
    //...
    @Override //清空仿真任务信息
    public void deleteSimuInfo() {...}
}
```

## 4 结论

科学技术是军事发展中最活跃、最具革命性的因素, 在作战仿真领域, 日新月异的技术发展为仿

真应用水平的提高发挥着越来越重要的作用。十几年来, LVC 仿真技术不断发展, 使得 LVC 集成仿真能力建设成为了作战仿真的重点, 也是当前阶段地位最为重要、前景最为广阔、成效最为显著、发展最为迅速的仿真驱动技术, 在作战仿真领域得到越来越广泛的应用, 已经成为新形势下支撑作战仿真的重要技术。

## 参考文献:

- [1] 罗永亮, 张珺, 熊玉平, 等. 支持 LVC 仿真的航空指挥和保障异构系统集成技术[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(10): 2538-2541.  
Luo Yongliang, Zhang Jun, Xiong Yuping, et al. Air Command and Support Heterogeneous Systems Integration Technology Supporting LVC Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(10): 2538-2541.
- [2] 蔡继红, 卿杜政, 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.  
Cai Jihong, Qing Duzheng, Xie Baoti. Research of Joint Simulation Platform Supporting Interoperability of LVC[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(1): 93-97.
- [3] 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.  
Li Jin, Ji Ning, Liu Xiaohe, et al. Study of JLVC2020's Framework for U.S. New Generation Joint Training[J]. Computer Simulation, 2015, 32(1): 463-467.
- [4] 程路尧. 试验训练一体化仿真建模研究[J]. 计算机与数字工程, 2017, 45(3): 478-481, 491.  
Cheng Luyao. Integrated Simulation Modeling of Test and Training [J]. Computer & Digital Engineering, 2017, 45(3): 478-481, 491.
- [5] 许雪梅. 分布式 LVC 联合试验环境构建[J]. 遥测测控, 2017, 38(4): 58-63.
- Xu Xuemei. Construction of Joint Test Environment Based on Distributed LVC for Range[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2017, 38(4): 58-63.
- [6] 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.  
Zhao Yanbing, Cui Lianhu. Research on Antimissile Test of Warships Electronic Warfare Based on LVC[J]. Ship Electronic Engineering, 2019, 39(7): 161-165.
- [7] Joint Live Virtual Constructive (JLVC) Federation Integration Guide[R]. United States Joint Forces Command (USJFCOM) 1562 Mitscher Ave, 2010.
- [8] Noseworthy J R. Supporting the Decentralized Development of Large-scale Distributed Real-time LVC Simulation Systems with TENA[C]// The 14th ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT 2010). Fairfax, Virginia, USA, 2010.
- [9] 薄中, 冯策, 孙超, 等. 美军联合任务环境下的能力试验方法分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2018, 13(4): 471-475.  
Bo Zhong, Feng Ce, Sun Chao, et al. Analysis of Capability Test Methodology of US Army Based Joint Mission Environment[J]. Journal of CAEIT, 2018, 13(4): 471-475.
- [10] 刘盛铭, 冯书兴. 美军面向联合试验的试验能力试验法及启示[J]. 装备学院学报, 2015, 26(3): 116-120.  
Liu Shengming, Feng Shuxing. Research on the Capability Test Methodology of U.S. Troops in Joint Test and Inspirations[J]. Journal of Equipment Academy, 2015, 26(3): 116-120.
- [11] 孟宪国, 蒋旭, 邸彦强, 等. 一种基于模板的 LVC 仿真系统空情信息互操作方法研究[J]. 军械工程学院学报, 2017, 29(2): 62-66.  
Meng Xianguo, Jiang Xu, Di Yanqiang, et al. Research on a Template-Based Intelligence Information Interoperation Model in LVC Simulated System[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2017, 29(2): 62-66.