

doi: 10.7690/bgzdh.2022.10.011

# 基于 Unity 3D 的舰船装备虚拟维修训练系统

肖剑波<sup>1</sup>, 马玉成<sup>1,2</sup>, 张乔斌<sup>1</sup>

(1. 海军工程大学舰船与海洋学院, 武汉 430033; 2. 中国人民解放军 91999 部队, 山东 青岛 266400)

**摘要:** 针对当前舰船装备维修培训存在的条件限制和训练效率低、周期长等问题, 设计基于 Unity 3D 的舰船装备虚拟维修训练系统, 并对关键技术进行研究。通过 3DS MAX 实现装备模型、训练场景和维修资源等 3 维模型的构建, 基于组件化建模、实例复用等对模型数据库进行优化; 开展逻辑仿真分析与设计, 提出装备操作逻辑仿真方法; 通过故障树工具, 对故障现象、故障源以及彼此之间的相互关系建立相关描述模型。运行实践的结果表明: 该系统具备良好的操作便利性和拓展移植性, 可提升受训者的训练质效, 为后续开展类似系统开发提供有益借鉴。

**关键词:** 虚拟维修; 建模; Unity 3D; 逻辑仿真; 故障树

**中图分类号:** TJ83 **文献标志码:** A

## Virtual Maintenance Training System of Warship Equipment Based on Unity 3D

Xiao Jianbo<sup>1</sup>, Ma Yucheng<sup>1,2</sup>, Zhang Qiaobin<sup>1</sup>

(1. College of Naval Warship and Ocean Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

2. No. 91999 Unit of PLA, Qingdao 266400, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of limited conditions, low training efficiency and long training cycle in the current ship equipment maintenance training, a ship equipment virtual maintenance training system based on Unity 3D is designed, and the key technologies are studied. The 3D models of equipment, training scene and maintenance resources are constructed by 3DS MAX, and the model database is optimized based on component modeling and instance reuse. The logic simulation analysis and design are carried out, and the equipment operation logic simulation method is proposed; Through the fault tree tool, the description model of fault phenomenon, fault source and the relationship between them is established. The results of operation practice show that the system has good operation convenience and portability, which can improve the training quality and efficiency of trainees, and provide a useful reference for the subsequent development of similar systems.

**Keywords:** virtual maintenance; modeling; Unity 3D; logic simulation; fault tree

## 0 引言

受限于作战舰艇的舱室结构和功能要求, 舰船装备具有自身零部件杂、工作条件差、故障频率高、故障模式多等特点, 对执掌人员的要求极高。舰员维修的专业技能水平, 很大程度上决定着舰船装备的性能状态, 并直接影响舰船的整体安全性、在航率和维修成本。当前, 舰船装备维修培训基本以书本讲解为主, 难以在实装上进行维修训练, 且实装维修训练成本高昂, 导致受训者对装备维修过程和方法掌握不够全面, 严重制约培训质量成效和舰员级维修能力的提升<sup>[1-2]</sup>, 鉴于保障能力更多受到训练能力不足的制约, 以计算机系统为核心的模拟维修训练已成为装备维修训练不可或缺的一种方式<sup>[3]</sup>。

虚拟现实(virtual reality, VR)技术作为仿真技术的重要方向, 是传感技术、人机接口技术、计算机图形学等多种技术的集合, 具有沉浸性、交互性

和幻想性等显著技术特征<sup>[4]</sup>。虚拟维修训练系统是用来支持实现虚拟维修训练的软硬件系统, 为受训人员提供仿真操作和维修的环境<sup>[5]</sup>。基于虚拟维修技术所构建的虚拟维修系统可有效解决场地、资源、成本等限制条件, 提升训练效益, 对装备形成和保持战斗力意义重大。笔者针对舰船装备维修训练开展装备虚拟维修训练系统设计, 并对其关键技术进行研究。

## 1 系统功能及结构设计

结合舰船装备专业庞杂、体系广泛、结构复杂的实际, 虚拟维修训练系统应具备原理教学、构造展示、拆装维修和考核评估等功能。笔者研究的装备虚拟维修训练系统采用虚拟仿真和 3 维建模等技术, 通过模拟装备常见的维修方式, 引入逼真故障情境, 开发虚拟训练与考核平台, 以实现训练功能。通过积极发挥该系统虚拟训练和考核的平台作用,

收稿日期: 2022-06-29; 修回日期: 2022-07-28

作者简介: 肖剑波(1984—), 男, 湖南人, 博士, 讲师, 从事动力装置仿真及机舱自动化、虚拟现实技术、装备保障理论研究。

E-mail: xjbo1984@126.com.

能够较好地解决学员对装备维修训练学习深度不够、考核不规范等问题，有效提升学员的故障应急诊断和紧急排除能力。

系统主要分为 2 大模块：装备虚拟维修训练系统(学员端)、教员管理系统(教师端)。装备虚拟维修训练系统主要由构造展示与原理示教模块、虚拟

拆装维修训练模块和考核评估模块组成；教员管理系统由系统资源管理、人员信息管理、组织架构管理、系统权限管理及考核成绩管理、资源库管理等模块组成，资源库中包含装备 3 维模型、图文动画、故障维修案例等内容。

系统结构组成框架如图 1 所示。

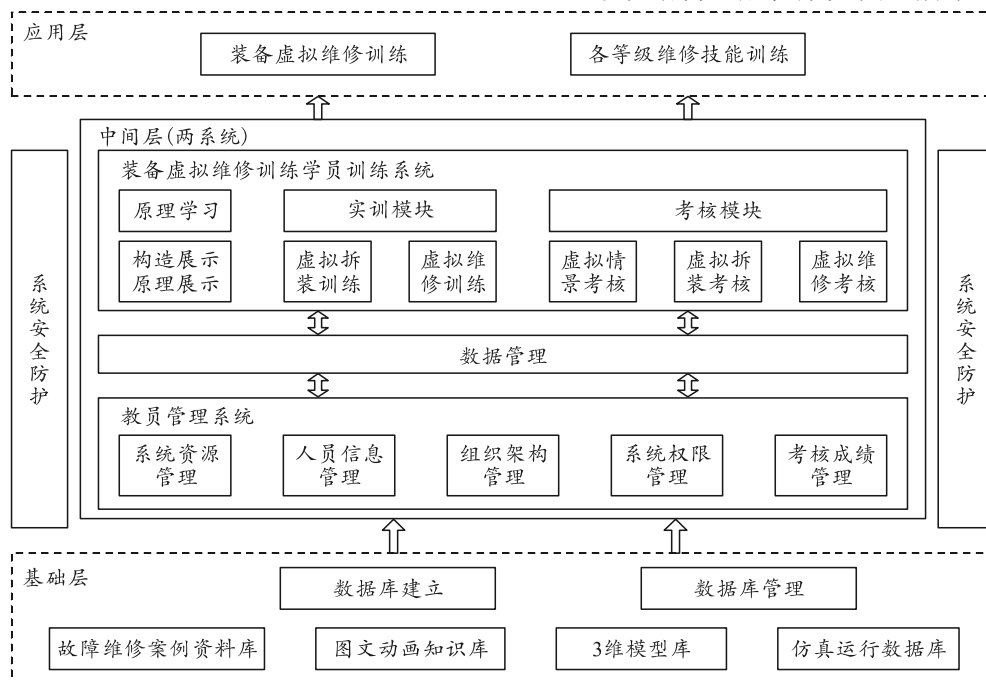


图 1 系统结构

应用层包括装备虚拟维修训练系统和各等级维修技能训练系统，用以提供系统访问入口，借以访问系统的业务服务，完成功能交互。中间层主要包括装备虚拟维修训练系统的构造展示、原理教学、拆装维修和考核评估等功能，满足各层级维修技能训练需求。基础层提供了包括权限管理、流程引擎、2 次开发接口、数据库访问、数据同步等服务，为系统的集成化和标准化运行提供集成支撑。

## 2 关键技术研究

### 2.1 3 维建模

虚拟现实系统开发过程中，Unity3D 是融合了高效物理引擎和高优化度渲染的开发平台，功能强大、易用开放，开发效率高，应用非常广泛<sup>[6-7]</sup>。

系统选用 3DS MAX 开展 3 维模型构建，综合运用基础形状建模、2 维图形建模、多边形建模、面片建模、网格建模、放样建模、NURBS 建模等方法建立模型外形，并通过材质和纹理贴图等方式赋予模型真实质感。随后，将模型导入 Unity3D，添加变换组件，设置相关物理学参数，实现运动建

模和物理建模。

依据系统对装备 3 维模型的具体仿真需求，选择使用实例方式进行模型复用。复用过程中，允许对复用的模型部件进行平移、旋转、缩放。模型使用组件化建模方法，以设备模型为基础，采用设备组装的方式构建整体模型。

### 2.2 装备操作逻辑仿真

逻辑仿真作为装备操作仿真实训的重要环节，主要完成设备的输入输出仿真和设备之间的交联仿真(含拆解流程逻辑现象的仿真)。

逻辑仿真的分析与设计过程：研究人员依据专业基础知识、装设备运行原理等提炼物理工作过程和操作过程脚本；软件开发模块设计人员依据物理工作过程和操作过程进行开发，设计包含输入输出、逻辑关系、时间关系在内的仿真概念类；并进一步开展详细设计，将交互操作、故障等输入信息转化为设备显示和故障数据输出；进而实现设备概要类的设计，并细化形成设计文档和设备仿真代码。具体的设备逻辑仿真设计过程如图 2 所示。

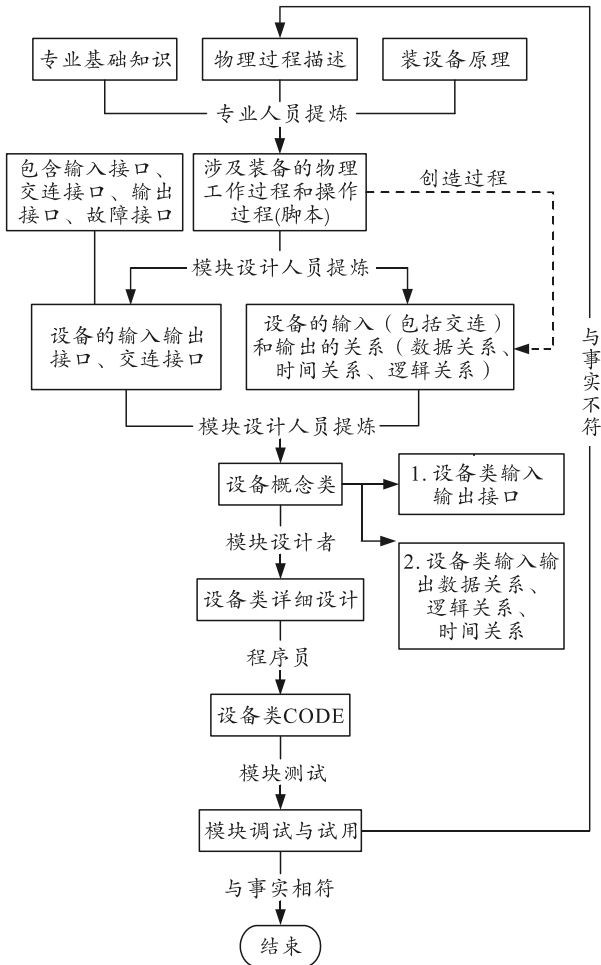


图 2 逻辑仿真分析设计流程

### 2.3 故障仿真

故障仿真包括对故障现象的模拟、故障现象与故障源的关系对应、故障发生机理建模等。为完成如上仿真功能，需对故障现象、故障源以及故障之间的对应关系建立相关描述模型。由于故障树可以

清晰表达系统的故障征兆和故障原因，尤其是动态故障树分析已成为动态系统可靠性分析的重要手段<sup>[8-9]</sup>。笔者采用常用的故障树工具，在数据收集及故障事件源分析的基础上，充分考虑机械、电子等装备自身及人、环境等综合影响，通过如下步骤建立维修对象故障树模型。

#### 1) 确定顶事件。

将对装备战技术性能、可靠性影响极大且日常管理中应极力避免发生的故障定义为顶事件。通过对所有重大故障事件的主次区分，依据目的及故障判据确定本次分析的顶事件。

#### 2) 建立故障树。

将顶事件作为故障树起始顶点，将各引起顶事件的源划归为第一级中间事件，用事件符号表示。然后将各事件通过逻辑符号连接，依次类推直至无法细分，即可得到故障树的底事件，从而形成最终的故障树。图 3 所示为某型电罗经指示航向值的固定误差值偏大的故障树，其对应维修过程描述如图 4 所示。

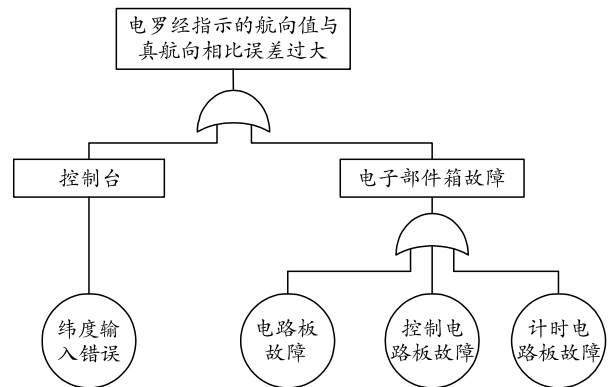


图 3 某电罗经设备故障树

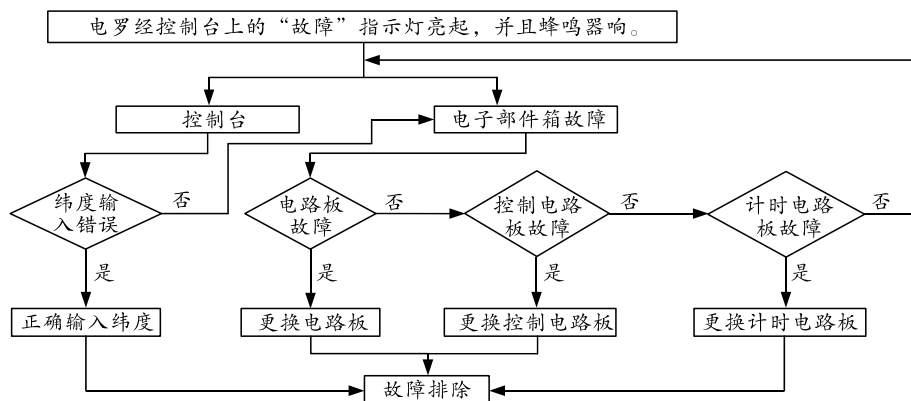


图 4 某型电罗经故障维修过程

#### 3) 故障现象和故障源模拟。

建立维修对象整体的故障数据后，还需针对故障现象和故障源在虚拟场景中的模拟做定义。故障

现象主要是借助文字、图像和动画等方式模拟。学员根据虚拟场景中的故障现象，针对性决策虚拟维修操作。故障源模拟包括基本信息和表示信息，其

中：基本信息为故障源状态及状态值；表示信息为故障源部件故障状态模拟数据，包括模型纹理替换、模型替换等表现方式。

### 3 虚拟维修训练系统功能实现

作为实际维修过程在虚拟环境下的再现或预演，虚拟维修仿真须合理描述维修过程以满足仿真需要。系统主要分为构造原理示教、虚拟拆装训练、虚拟维修训练、虚拟维修考核等模块，具有结构透视、部件展示、部件复位、功能演示等功能，实现从学习到最终考核的闭环运行全流程。

#### 3.1 构造原理示教模块

该模块主要实现各主要专业设备的结构建模、构造展示和原理示教功能，具备外观展示、部组件

信息显示和全方位旋转等功能，主要用于基础理论学习 and 装备认知。

#### 3.2 虚拟拆装训练模块

该模块运用 3D 技术与动画操作相结合的方式，提供设备拆卸与装配的方法演示和操作环境，使受训者学习并掌握设备在特定故障状态下的拆装过程与细节，通过人机交互方式完成虚拟拆装的操作训练。仿真训练内容包含设备维修逻辑诊断、维修诊断练习等科目，由认知到实操逐次进阶，操作方式为通过调用仿真模型库资源进行学习。

#### 3.3 虚拟维修训练模块

模块实现包含虚拟维修场景建立、维修对象故障仿真、用户虚拟维修视景交互、维修训练过程仿真、任务规划管理等内容，如图 5 所示。

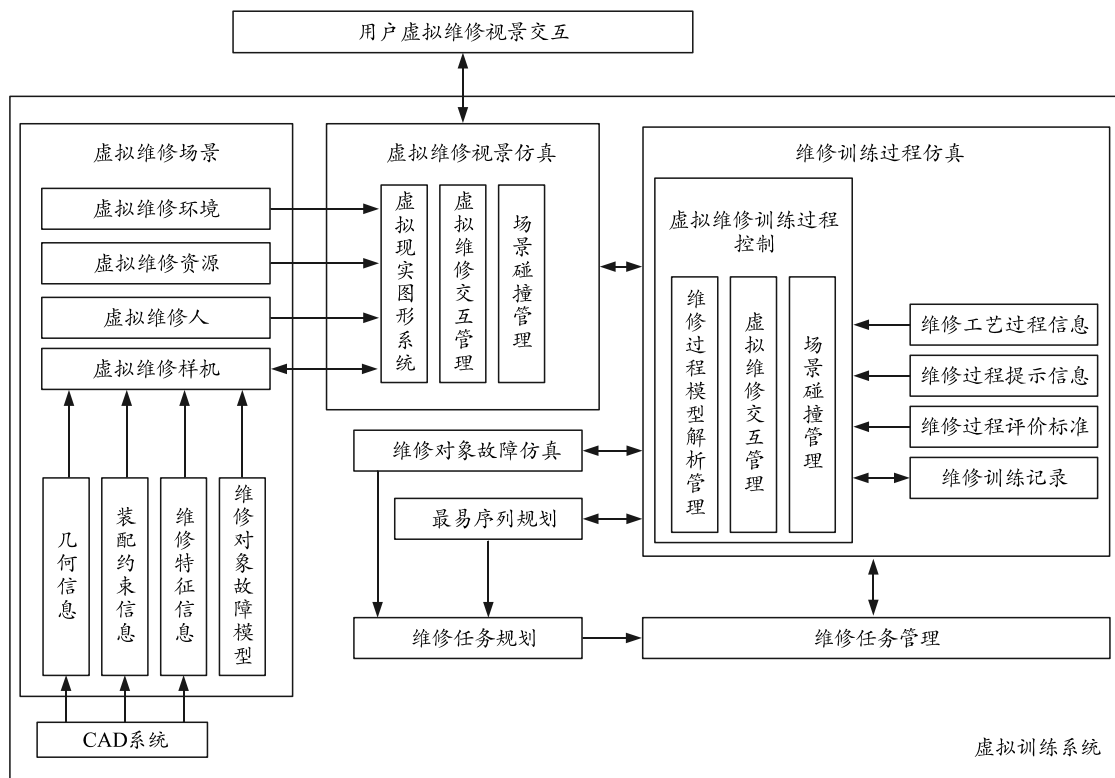


图 5 虚拟维修训练模块

虚拟维修场景的整体仿真环境分为虚拟维修人、维修样机、维修资源和维修环境 4 部分。其中：维修人模型包括人体几何模型、运动及动作模型；维修样机模型包括装备的几何模型、约束关系；维修资源模型包括工具的几何模型及相关拆卸、检测动作模型；维修环境模型包括场地构造、光照效果等，确保训练真实感。

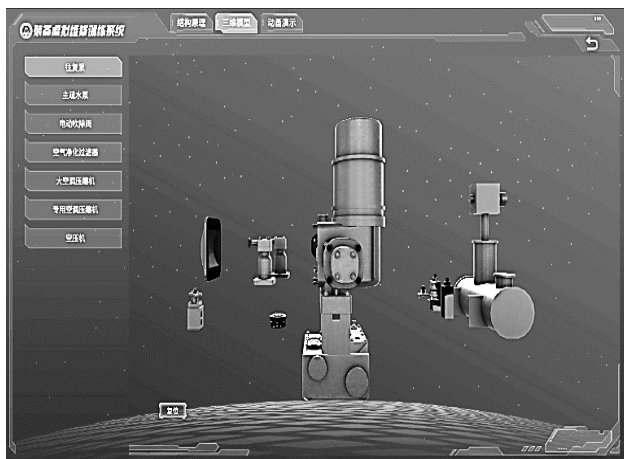
维修对象故障模型通过建立故障源、故障现象和故障数据之间的联系而确定，在此基础上，建立

与其相对应的包括故障特征、现象和维修方案等内容的维修数据库，并根据与受训学员的交互实现对故障现象和数据的实时更新，达到故障诊断和定位的目的。

用户虚拟维修视景交互设备既包含通过 USB 总线相连接的鼠标键盘等，以实现人机交互，也可外接 VR 头显、定位装置、操作手柄套件，组成完整的虚拟现实操作与体验系统。

### 3.4 虚拟维修考核模块

该模块包括装备操作数据采集、正确性与准确度判断、数据汇总、主观评估、成绩管理等功能。学员选择模型设备进行虚拟拆装考核，期间无任何提示，考核完成后自动评分并上传至教师端。在情景考核模式下，学员可以选择不同情境(故障)下的设备进行维修训练。虚拟维修训练系统典型功能如图 6 所示。



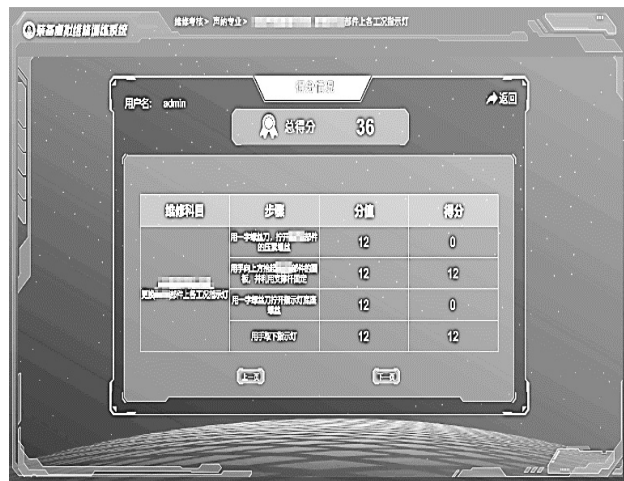
(a) 3 维模型



(b) 装备装配训练



(c) 提示操作引导



(d) 考核结论

图 6 虚拟维修训练系统典型功能

## 4 教员管理系统功能实现

教员管理系统由系统资源管理、人员信息管理、组织架构管理、系统权限管理及考核成绩管理、资源库管理等模块组成。

系统资源管理采取库方式，各种基础知识库、案例库、业务数据库、信号样本库等可通过系统资源管理模块实现资源管理，兼容文字、图片、视频、音频等各种格式的库文件。人员信息管理主要包含管理员、教员、学员等类型的用户基本信息管理，包含用户信息的添加、修改和删除等。组织架构管理采用树形结构，除根节点以外，每个组织结构都存在上级、平级或下级组织，不同层级组织机构可以根据需求进行相关操作。考核管理模块根据仿真模型库及仿真运行数据库的支撑进行设备故障设定，形成考试题目，具备考题预设、导入、时间设定、考核人员指定等功能，教员将试题课件编辑好后发送至学生端进行考核测试，考核成绩自动评分。

## 5 结束语

笔者针对舰船装备维修训练难题，通过计算机仿真及虚拟现实等先进技术，结合实装训练的经验成果，开展舰船装备虚拟维修训练系统研究，探索以实为主、虚实结合的训练新途径、新方法，通过模拟装备常见维修方式，引入逼真的故障情境，构建了装备虚拟训练与考核平台。笔者所述虚拟维修训练系统，一方面可作为装备维护人员预先培训的训练新手段，另一方面可完善复杂装备虚拟样机建模技术，为提高部队或修理厂所的各等级维修保障能力奠定基础。

## 参考文献：

- [1] 李萍, 谢运灯, 谢志宏. 装甲装备虚拟教学系统开发研究[J]. 计算机时代, 2018(7): 9-12.
- [2] 罗一丹, 王南松. 装备虚拟维修培训系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(7): 155-158.
- [3] 宋国合, 陈同军, 张忠文. 某型复杂武器装备联调联试虚拟训练系统[J]. 兵工自动化, 2016, 36(2): 14-16.
- [4] 江晨豪. 基于 Unity3D 的 CAP1400 虚拟电厂的设计与实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2016.
- [5] 黄东坡, 曹继平, 宋建社, 等. 基于 Petri 网的虚拟维

修过程建模[J]. 兵工自动化, 2011, 30(1): 41-43.

- [6] 崔瀚, 焦志刚, 杨秀英. 基于 Unity3D 的火炮外弹道虚拟视景仿真系统[J]. 兵工自动化, 2017, 36(10): 1-5.
- [7] 杨壹斌, 李敏, 解鸿文. 基于 Unity3D 的桌面式虚拟维修训练系统[J]. 计算机应用, 2016, 36(S2): 125-128.
- [8] 江山青, 李英顺, 张银图. 基于故障树和规则的火控系统故障诊断专家系统[J]. 兵工自动化, 2019, 38(4): 40-44.
- [9] 李佩昌, 周海军, 周国敬. 基于专家综合评估的模糊动态故障树分析[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(10): 192-197.

(上接第 44 页)

4) 由于指令数据集均由人工标注完成, 总样本量只有 2 000 条且各类样本数量分布不均, 导致部分意图识别效果并不理想, 数据集扩充和优化问题亟待解决。

## 4 结束语

面对无人机未来融合空域飞行和协同作战的需求, 笔者针对传统无人机控制模式的不足, 提出基于深度学习的无人机指令意图识别技术, 利用 CNN 强大的特征提取能力, 分析得到空管员发布指令的真实意图, 并在自制的指令数据集上进行了验证和结果分析, 可对下一步指令理解技术的实现提供较大帮助。实验结果表明: 笔者所提方案使得指令发布更加灵活, 可面向更多用户而非专业空管员; 在保证准确率的前提下, 能够对指令有较快的响应时间。该方案对未来研究有人无人协同和融合空域飞行具有重要的意义。

## 参考文献：

- [1] 慕琦. 基于多维视角的中国 UAM 产业发展需求浅析[J]. 空运商务, 2020(3): 51-54.
- [2] 祁圣君, 吴欣龙. 无人机系统操作中人为因素问题探讨[J]. 飞航导弹, 2015(5): 85-88.
- [3] WANG Y, PANG Y, GORCESKI S, et al. A Voice Communication-Augmented Simulation Framework for Aircraft Trajectory Simulation[J]. IEEE Transactions on

Intelligent Transportation Systems, 2021(99): 1-11.

- [4] ANCEL E, SHIH A T, JONES S M, et al. Predictive safety analytics: Inferring aviation accident shaping factors and causation[J]. Journal of Risk Research, 2015, 18(4): 428-451.
- [5] BHARGAVA A, CELIKYILMAZ A, HAKKANITUR D, et al. Easy contextual intent prediction and slot detection[C]//International Conference on Acoustics. IEEE, 2013: 8337-8341.
- [6] QIU X P, SUN T X, XU Y G, et al. Pre-trained models for natural language processing: A survey[J]. Science China(Technological Sciences), 2020(10): 1872-1897.
- [7] PENG H, LI J X, YAN H, et al. Dynamic network embedding via incremental skip-gram with negative sampling[J]. Science China(Information Sciences), 2020(10): 89-107.
- [8] 李云红, 梁思程, 任劼, 等. 基于循环神经网络变体和卷积神经网络的文本分类方法[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2019, 49(4): 573-579.
- [9] 华冰涛, 袁志祥, 肖维民, 等. 基于 BLSTM-CNN-CRF 模型的槽填充与意图识别[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(9): 139-143.
- [10] SILVA L, COHEUR A, MENDES A, et al. 2011. From symbolic to sub-symbolic information in question classification[J]. Artificial Intelligence Review, 2011, 35(2): 137-154.
- [11] 中国民用航空总局. 空中交通无线电通话用语指南[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2005: 21-52.
- [12] 杨波, 杨凯, 林毅, 等. 基于深度学习的空管指挥安全监控技术研究[D]. 北京: 电子工业出版社, 2018.