



# 基于 Unity3D 的港口虚实结合实习平台实验教学

程凌鹏, 刘志平\*, 柳炜开, 杨艳芳

(武汉理工大学 交通与物流工程学院, 武汉 430063)

**摘要:** 针对高校港口实习成本高、参与感低、不全面、安全风险大等问题, 开发了基于 Unity3D 的港口虚拟实习平台。基于虚拟仿真技术, 论述了港口虚拟实习平台的系统设计、关键技术、实习过程与考核方法。该平台高度还原了起重机机构与港口典型装卸工艺, 结合了虚实互补的理念, 提出了实景与虚景结合的虚拟实验教学方法。疫情期间学校虚拟生产实习实验教学表明: 港口虚拟实习平台在起重机机构认知、港口装卸工艺认知的细节上有很大优势, 能够调动学生的积极性, 有利于培养学生的学习兴趣, 提高学习效率, 实习满意度大幅提高。

**关键词:** Unity3D; 港口实习; 虚拟现实; 虚实结合; 实验教学

中图分类号: TP37; U653.92

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20210396

## Experimental Teaching of Virtual-reality Complementary Port Practice Platform Based on Unity3D

CHENG Lingpeng, LIU Zhiping\*, LIU Weikai, YANG Yanfang

(School of Transportation and Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of high cost, low sense of participation, incompleteness and high security risks, a virtual-reality complementary port practice platform is developed. Based on virtual simulation technology, this paper discusses the system design, key technologies, practice process and assessment method of this platform. This platform highly restores the crane structure and typical port handling technology, and proposes the virtual practice method with the combination of real scenes and virtual scenes. The experimental teaching of virtual production practice in the university during the epidemic period shows that the virtual-reality complementary port practice platform has great advantages in the cognition of crane mechanisms and the details of port loading and unloading technology, which can also mobilize the enthusiasm of students, increase their learning efficiency, and improve their internship satisfaction significantly.

**Key words:** Unity3D; port practice; virtual reality; virtual-reality complementary; experimental teaching

现阶段的高校港口实习存在诸多问题: 港口企业安全意识与经济意识加强, 接受学生实习意愿下降, 导致实习过程只是走马观花, 参与感低; 学校只能前往单一类型港口, 装卸工艺种类少, 很多工艺学生无法接触到; 实习效果的考核评价标准模糊, 不能量化评价学生对所学知识的掌握程度, 也无法判断学生是否达到了教学大纲的要求。综上, 开发一种学生参与感高, 港口装卸工艺种类全面, 考核制度更科学的港口实习平台对高校的生产实习具有非常重要的意义。

虚拟现实技术以能够给使用者提供沉浸式体

验而闻名, 随着信息技术以及电脑硬件的发展, 目前虚拟现实技术在多个领域的实习教学中得到了广泛应用<sup>[1-5]</sup>, 在港口专业领域里虚拟仿真技术也有诸多探索<sup>[6-9]</sup>。但在国内的港口专业高校中, 没有能满足上述要求的虚拟港口实习平台, 不能满足学生实习的需求。

针对上述问题, 结合“虚为主, 实为辅”的原则开发了一种基于 Unity3D 的港口虚实结合校内实习平台。实习平台旨在加深实习学生对起重机机构和港口装卸工艺的理解, 并建立有效的考核机制, 真正达到生产实习目的, 实现人机有机结合。

收稿日期: 2021-08-18; 修回日期: 2021-11-11

基金项目: 中央高校基本科研业务费(202418001); 国家重点研发计划(2018YFF0213302)。

作者简介: 程凌鹏(1996-), 男, 硕士生, 主要从事数字化码头虚拟现实与增强现实方面的研究。

通信作者: 刘志平(1975-), 男, 博士, 教授, 主要从事港口物流技术与装备方面的研究。E-mail: lzp@whut.edu.cn

# 1 港口虚实结合实习平台框架设计

针对港口实习的目的, 应用 Unity3D 设计出

港口虚实结合的实习平台系统框架如图 1 所示。系统框架划分为 4 个层面: 功能层、逻辑层、数据层、支持层。

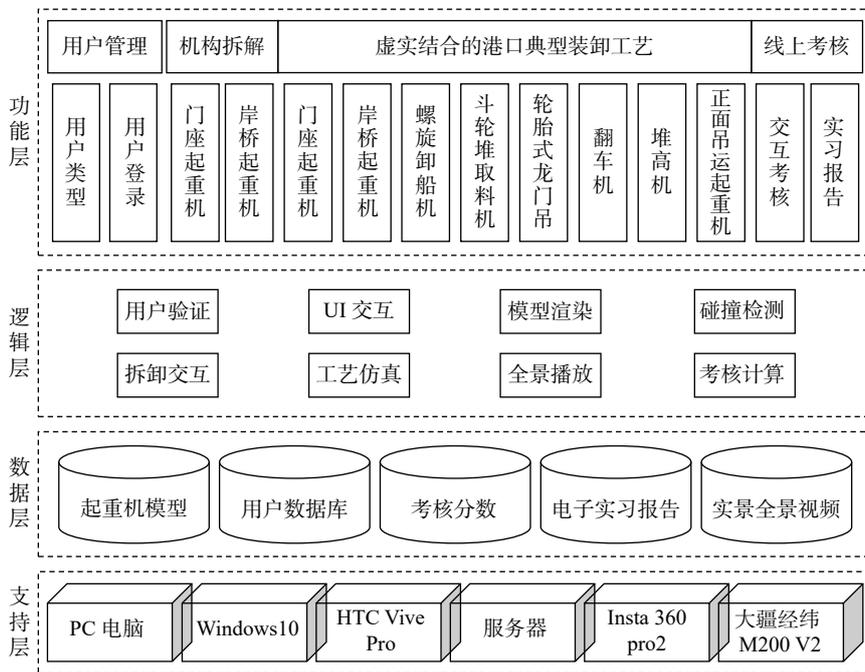


图 1 虚实结合实习平台整体架构图

功能层是实习平台的实际操作层, 由用户管理功能、典型港口起重机机构拆解子平台、虚实结合的港口典型装卸工艺实习子平台和线上考核功能 4 个部分组成。用户管理模块区分实习人员种类, 记录学生实习名单; 典型港口起重机机构拆解子平台通过起重机机构自动拆卸与手动拆卸两种模式使学生系统性的学习两种起重机的机构与组成机构的各个部件; 虚实结合的港口装卸工艺实习子平台包括了集装箱码头与散货煤码头的常见虚拟仿真装卸工艺与全景实景装卸工艺视频, 学生通过接受真实与虚拟的感官冲击更好地理解虚拟工艺仿真所展现的工艺流程与工艺细节; 线上考核功能包含港口起重机机构拆解子平台中的拆装交互考核与学生实习完成后上传的电子实习报告, 最后加权线下考试对学生实习效果进行量化评价。

逻辑层是本实习平台运行时, Unity3D 引擎的底层逻辑, 包含了 UI 交互、碰撞检测、拆卸交互、全景视频播放器等开发技术。

数据层存储了本实习平台开发与运行所需要的数据和运行产生的数据, 包括了起重机模型、学生信息、实景全景视频和学生考核产生的分数

等。通过经典 C/S 架构实现数据层与实习平台间的数据交换。

支持层包含开发和运行本平台的硬件、软件与网络环境。

## 2 港口虚实结合实习平台关键技术

### 2.1 起重机三维数字化建模

三维模型与三维场景直接影响到实习时的沉浸感。港口码头场景的建模主要分为环境建模与起重机建模。环境建模主要以水面、地面、集装箱、厂房、天空等为主, 面片结构简单, 建模方法不作描述。起重机模型结构复杂, 首先根据 CAD 图纸, 使用 Solidworks 建立起起重机三维模型, 再根据现场拍摄图片, 使用 Photoshop 绘制起重机贴图, 最后在 3D max 中对模型进行面片优化和贴图渲染处理并导入 Unity3D 中得到虚拟仿真模型<sup>[10]</sup>, 流程如图 2 所示。

以门座起重机为例, 在 3D max 中进行面片优化、渲染和贴图后, 模型前后的效果对比图如图 3(a)与图 3(b)所示。

### 2.2 起重机装卸工艺虚拟仿真

在港口装卸工艺实习子平台中, 包含多种起

重机的装卸工艺动画。在制作工艺动画之前，需对装卸工艺流程进行规划，根据工艺流程的规划确定动画仿真顺序和起重机机构的父子关系<sup>[11]</sup>。以岸边起重机吊装工艺为例，岸边起重机吊装工艺流程图如图 4 所示。

规划完工艺流程后，使用 Unity3D 的 animation 组件，通过 Add key 添加关键帧与时间制作动画。制作完所有的关键帧动画后，使用 Unity3D 动画状态机来控制动画播放的衔接。最终岸桥装卸工艺动画关键工艺如图 5(a)~5(d) 所示。

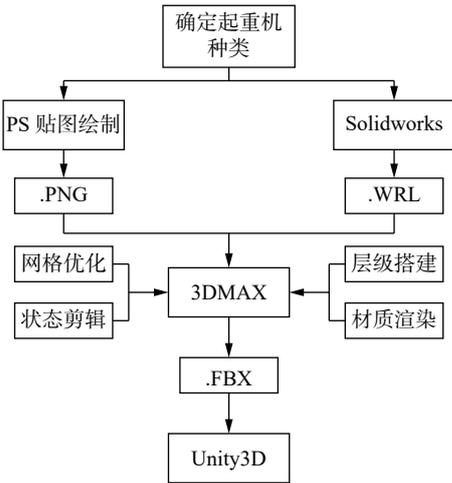


图 2 起重机数字化建模流程

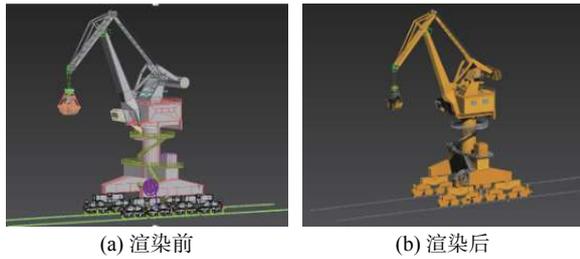


图 3 门座起重机渲染对比图

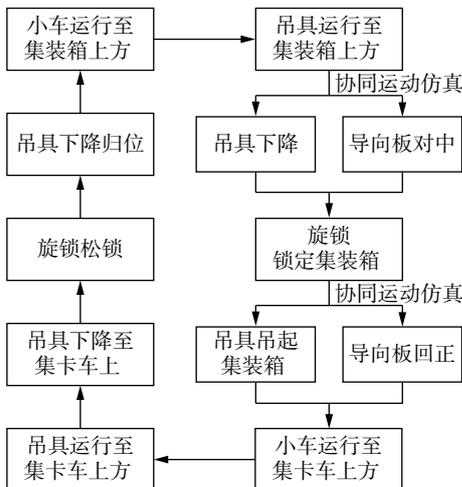


图 4 装卸工艺流程图规划

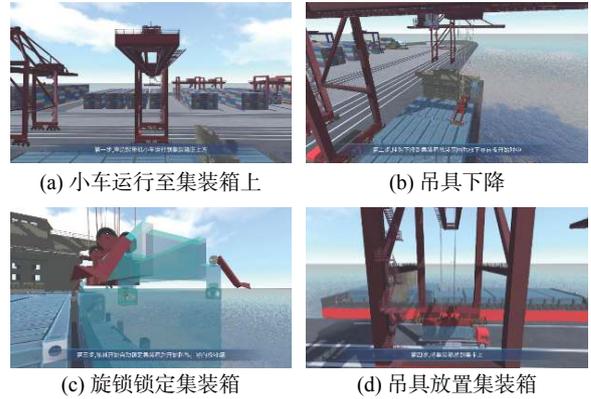


图 5 岸桥起重机装卸工艺动画

### 2.3 全景实景装卸工艺视频开发

为结合虚实互补的理念，在装卸工艺实习平台中开发了全景实景视频播放功能，给每种起重机虚拟装卸工艺配套了对应的实景全景工艺视频。首先借助全景摄像机、无人机和剪辑软件得到工艺的全景实景视频，然后依托 Unity3D 开发全景视频播放<sup>[12]</sup>与 UI 交互方法，最终实现对每个虚拟仿真工艺的实景全景工艺视频补充。其设计开发流程如图 6 所示。

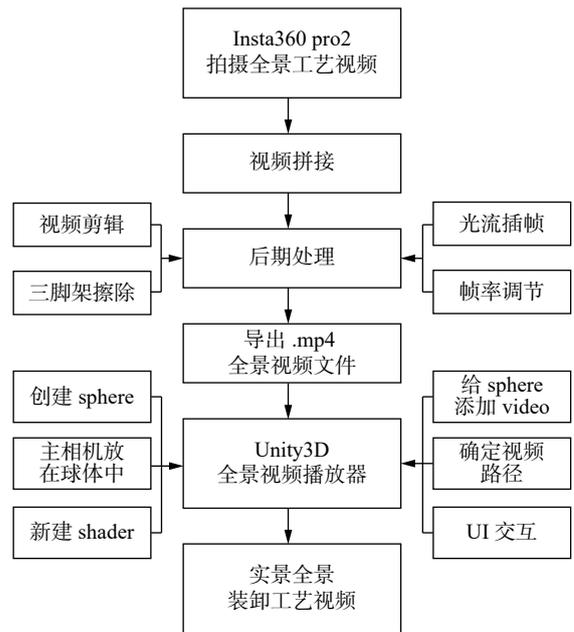


图 6 全景视频开发流程图

### 3 实习教学过程与考核

为检验港口虚拟实习平台的效果，将本平台投入使用。实习过程主要由港口起重机机构学习、港口装卸工艺认知学习和实习效果考核 3 部分组成。

#### 3.1 起重机机构学习

在起重机拆装实习子平台中，学生首先观摩

学习门座起重机和岸边桥式起重机的自动拆卸模式<sup>[13]</sup>,认识起重机的各大机构与机构的部件组成,门座起重机自动拆解如图7(a)所示,然后切换进入手动拆卸模式,通过Htc Vive手柄射线自由拆卸的方式加深对起重机设备组成的理解,门座起重机手动拆解如图7(b)所示,最后学生在考核模式中进行拆装考核,考核内容主要为起重机各机构的手动拆装,最后通过加权考核时长和失误次数得到第一部分考核成绩。

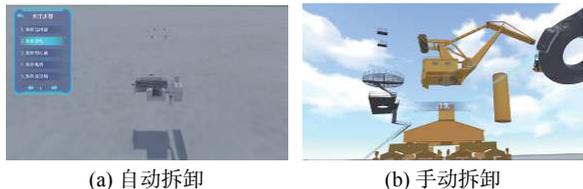


图7 门座起重机拆装

### 3.2 港口装卸工艺认知学习

港口装卸工艺认知学习主要由集装箱码头装卸工艺和散货码头装卸工艺两大部分组成。

学生戴上头盔进入系统后首先看到集装箱港口起重机大体布局。在集装箱码头装卸工艺虚拟仿真中,学生需要掌握典型集装箱港口的4个典型工艺流程与作业细节:集装箱吊装工艺、堆高机工艺、正面吊运起重机吊箱工艺和集装箱堆存工艺。集装箱吊装工艺展示岸桥起重机将集装箱从船上吊到集卡车的过程,学生能直观看看到导向板对中、吊具下降速度、吊具的自动挂锁和脱锁工艺细节;集装箱堆存工艺主要由轮胎式龙门吊和轨道式起重机共同完成,学生需学习集装箱码头翻箱、整理、堆箱的工艺流程,轨道式起重机理箱工艺关键步骤如图8所示;堆高机工艺展示了空箱堆高的工艺流程,即堆高机调整吊具高度、提升集装箱、调整门架角度、落箱和松锁为一个工艺循环,如图9所示;正面吊工艺由正面吊运起重机出车、吊具搬运、落箱、整箱和停车为一个工艺循环,关键步骤如图10所示。

在散货码头装卸虚拟仿真中,学生需要掌握以下工艺:门座卸船机和螺旋卸船机卸船工艺、斗轮堆取料机取料工艺、翻车机串翻工艺。门座卸船机卸船工艺与螺旋卸船机卸船的区别主要在于:门座卸船机以抓斗卸船,螺旋卸船机以对转机头卸船。学生在掌握基本装卸流程外,需学会区分两种卸船机的种类,掌握螺旋卸船机的对转机头旋转方向,门座卸船机抓斗起升速度。两种

卸船工艺对比如图11(a)、图11(b)所示。斗轮堆取料机取料工艺中,学生需学习斗轮体运动时的倾角,皮带机的运输速度,皮带机与漏斗的位置关系。翻车机卸车工艺是散货码头重点工艺之一,传统实习中学生没有途径去接触,其中翻车机内定位、翻车机压车、靠车、翻卸、除尘、对轨停车、松压和松靠为一个工艺循环,学生需着重掌握翻车机翻车、靠车和除尘等关键过程,工艺流程如图12所示。

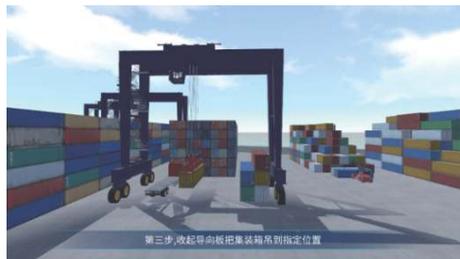


图8 轨道式起重机理箱工艺



图9 堆高机升箱工艺

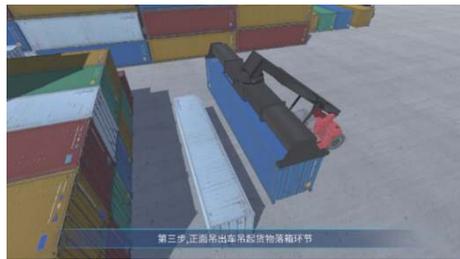


图10 正面吊运起重机吊箱工艺

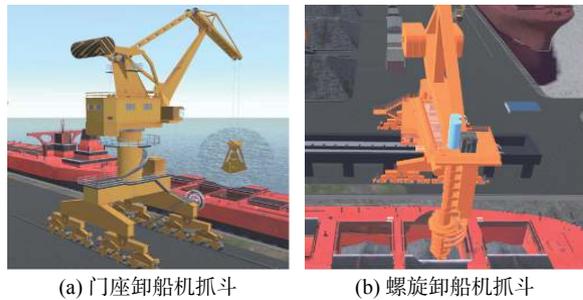


图11 卸船机抓斗对比

在学习港口虚拟仿真装卸工艺的同时,学生可以通过HTC Vive 360°环绕观看每种工艺的实景全景视频,通过宏观的真实工艺视频到微观的虚

拟仿真工艺, 巩固在虚拟仿真工艺中所接受的知识, 在大脑形成对比, 加深印象, 如轨道式起重机装卸工艺全景视频如图 13 所示。

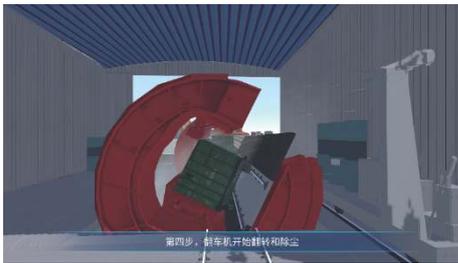


图 12 翻车机串翻工艺



图 13 轨道式起重机吊装全景视频

### 3.3 实习效果考核

本系统的考核方式由 3 部分组成: 线上考核、线下考试及电子实习报告。线上起重机拆装实习子平台考核占比 30%, 线下工艺流程考试占比 40%, 电子实习报告占比 30%。线上起重机拆卸模块考察学生对起重机机构与组成部件的认识程度, 根据学生在考核模块的手动拆卸操作得到最终分数。最终老师根据 3 部分的分数得到每个学生的分数, 对每个学生的实习效果作量化评价。

## 4 结束语

本文以 Unity3D 为平台, 结合港口实习教学大纲的需求, 建立了精确的港口常见起重机模型, 还原了集装箱码头与散货码头的典型工艺, 经疫情期间学生生产实习期投入使用, 取得了良好的反馈。事实证明, 港口虚拟实习平台能够与传统实习形成互补, 具备以下优势。

1) 虚拟拆装实习子平台能够给学生提供多维度的起重机认知方法, 以文字、自动拆卸、手动拆卸和线上考核的模式加深学生对起重机机构组成的认识, 有效结合了书本知识与真实感官体验, 大幅度提高学生在实习过程中的参与感。

2) 充分发挥虚拟仿真技术的优势, 还原了集装箱码头与散货码头的布局与工艺。为学生提供了国内最全面的港口装卸工艺流程, 使学生能够

看到由于各种限制看不到、看不全和看不细的工艺细节, 更加深刻地理解港口整体的运行模式、起重机各机构联动的运动方式和各机构的组成。

3) 充分结合“虚中有实、实中有虚”的理念, 使学生沉浸式观摩虚拟仿真工艺的同时, 还能看到全景实景工艺视频, 从整体到局部、从虚拟到现实、从梗概到细节, 不断巩固学生所学知识, 提高知识的接受程度。

## 参考文献

- [1] 孙振明, 李梅. 基于虚拟现实和协同工作的煤矿安全培训系统[J]. *科技导报*, 2016, 34(9): 102-107.
- [2] 闫莎莎, 秦忠诚, 刘进晓, 等. 基于Unity3D的综采工艺虚拟仿真实验教学探索[J]. *实验技术与管理*, 2020, 37(8): 137-140.
- [3] 李金永, 吴寅生, 郑建峰, 等. 基于Unity3D的油田作业仿真考核系统移动设备客户端的设计与实现[J]. *系统仿真技术*, 2016, 12(1): 71-77.
- [4] SONG H, KIM T, KIM J, et al. Effectiveness of VR crane training with head-mounted display: Double mediation of presence and perceived usefulness[J]. *Automation in Construction*, 2021, 122: 103506.
- [5] 夏远东, 马思群, 胡越, 等. 基于Unity3D的受电弓模态测试虚拟培训系统开发[J]. *自动化技术与应用*, 2020, 39(10): 142-146.
- [6] 胡继龙, 刘超. 基于Unity 3D的港口起重机虚拟拆装培训系统[J]. *港口科技*, 2020(1): 23-27.
- [7] DONG H M, XU G F, CHEN D F. Research on overhead crane training system and its construction based on virtual reality[C]//2010 International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE). [S.l.]: IEEE, 2010: 206-209.
- [8] ZHANG Y, LIU H, KANG S C, et al. Virtual reality applications for the built environment: Research trends and opportunities[J]. *Automation in Construction*, 2020, 118: 103311.
- [9] 朱明华, 范秀敏, 程免翀, 等. 自动化集装箱码头装卸工艺仿真[J]. *中国机械工程*, 2009, 20(17): 2072-2075.
- [10] TIAN C. 3D Modeling and digital preservation of ancient architectures based on autoCAD and 3DMAX[J]. *Computer-Aided Design and Applications*, 2020, 7(S2): 100-110.
- [11] 刘晓, 李瑞, 张维平. 船舶分段吊装工艺虚拟仿真实验设计[J]. *实验技术与管理*, 2020, 37(9): 127-129.
- [12] LEE W T, CHEN H I, CHEN M S, et al. High-resolution 360 video foveated stitching for real-time VR[J]. *Computer Graphics Forum*, 2017, 36(7): 115-123.
- [13] 杨普, 杨艳芳. 门座起重机虚拟拆卸系统设计及关键技术[J]. *起重运输机械*, 2018(10): 87-92.