

海底电缆敷设三维交互式仿真培训平台设计与实现

针对海底电缆敷设施工业务培训的迫切需求,提出了一种海底电缆敷设三维交互式仿真培训系统方案,充分利用Unity3D引擎优势,搭建了海缆敷设三维动态仿真平台,建立了海缆敷设仿真培训所需的工具模型库、人物模型库及三维场景库,实现了仿真教学、操作训练与考核评价等培训功能。基于HTC虚拟现实设备,开发实现了设备仿真操作、漫游行走等人机交互功能,增强了用户体验。应用结果表明,该系统不仅能规范海底电缆敷设施工流程,还有效指导海缆敷设施工现场标准化作业,为海缆线路管理及运维人员全维度掌握海底电缆运维技术提供理论与作业培训平台。

卢志飞^{1,2} 汪 洋^{1,2} 孙 璐¹ 袁新星³ 张秋实⁴ 林晓波¹/1.国网浙江省电力公司舟山供电公司 2.浙江舟山海洋输电研究院有限公司 3.武汉科迪奥电力科技有限公司 4.武汉大学电气工程学院

0 引言

近年来,随着国内外输变电技术的发展,在经济一体化、能源优化配置和减少环境影响等因素的推动下,跨海域输电技术、海底电缆制造技术和海底电缆工程技术不断向前发展^[1]。

海底电缆工程的建设受地域建设条件、海洋工程条件和施工设备等条件的限制,工程建设涉及技术领域广泛,投资规模较大,施工技术含量高、工艺烦琐,使得海底电缆工程的施工和运行维护工作尤为重要和复杂^[2-4],对海缆线路施工、管理及运维人员提出了相当高的要求。随着虚拟现实技术的快速发展,相关软件开发成本及硬件设备价格也在不断下降^[5],使得基于虚拟现实技术的海

底电缆敷设仿真培训系统成为提高海缆施工、检验和运维人员技能水平的一种有效手段。

Unity3D作为一个三维虚拟现实的开发平台,具有兼容操作系统可跨平台发布并部署、开发效率高、人机交互功能强大、三维效果逼真和内置网络功能的特点,被广泛地应用于游戏开发和虚拟现实^[6-7]。因此,本项目基于Unity3D开发海底电缆敷设三维交互式仿真培训平台,设计了集教学、训练与考核于一体的培训功能。通过模拟复杂的现场作业环境,配合体感设备、立体投影、3D眼镜和VR头盔等交互设备^[8-9],从视觉、听觉和交互方式等方面为海缆施工运维人员构建沉浸式海缆敷设虚拟环境。通过本系统,学员可直观、快速地学习和掌握海底电缆敷设及接头制作方法,掌握海底电缆施工、运维核心技术。

本文研究成果已在国网舟山供电公司海洋输电中心等单位投入运行。与国内外研究成果相比,本系统主要有以下几方面的创新特色:①通过开展海底电缆敷设安装虚拟仿真技术的研究,规范海底电缆敷设及接头现场制作流程,指导海缆敷设施工现场规范化作业;②基于Unity3D平台,设计开发交互式仿真培训系统,对各个关键点或关键工艺流程进行人机交互,为海缆线路管理及运维人员全维度掌握海底电缆运维技术提供理论与作业培训平台;③针对不同作业工种,分专业设计仿真训练模式,实现教学、训练和考核三位一体。

本文将重点介绍海底电缆敷设交互



卢志飞/工程师

关键词/Keywords

Unity3D ·
海缆敷设 ·
仿真培训 ·
三维平台 ·
人机交互 ·

国网浙江省电力公司重点科技项目
(SGZJZS00HYJS1600272)。

式三维仿真培训系统平台的设计、关键技术的实现及现场应用情况。

1 系统总体设计

1.1 培训模式设计

本系统的培训功能主要从以下几种模式来考虑。

1) 教学模式。受训者不分具体角色、工种,以观看为主完成海缆敷设作业教学培训,对关键作业点、安全注意事项和质量控制要求等以三维仿真动画呈现为主,配合语音、文字和状态等形式进行提示,设计自动播放模式和手动模式。此模式侧重于直观地对整个海缆敷设流程进行展示。

2) 训练模式。受训者以具体角色、工种的身份进入系统,以整个作业流程为主线,以第一人称为具体作业步骤中进行专业技能训练,以引导、提示的方式演练操作方法、学习安全要点。此模式侧重对专业技能的训练,达到夯实作业技能、明确作业要点目的。

3) 考核模式。在训练模式的基础上设计考核点,受训者分工种进入系统,不给任何提示和引导,对当前操作的进行记录,并提示是否操作正确;当操作或选择工器具错误时,记录并扣分,进行下一步;考核完成后,最终给出成绩。此模式主要对仿真培训进行考核,达到以考促培的目的。

1.2 系统体系结构设计

海底电缆敷设交互式三维仿真培训系统是利用计算机仿真各种物理工程技术^[10],构建一种以教学、训练和考核为目的仿真系统平台,在某种程度上再现一个真实系统行为的系统,其体系结构如图1所示。

图1所示的四层体系结构中的各层描述如下。

1) 数据层。用于存储和管理各种数据,包括设备、工器具模型、场景数据库、规范、标准资料数据、学员信息数据和考试数据等。

2) 软件支撑层。支撑层包括系统的网络协议、软件技术及模型支撑,可以保证大数据量的吞吐。

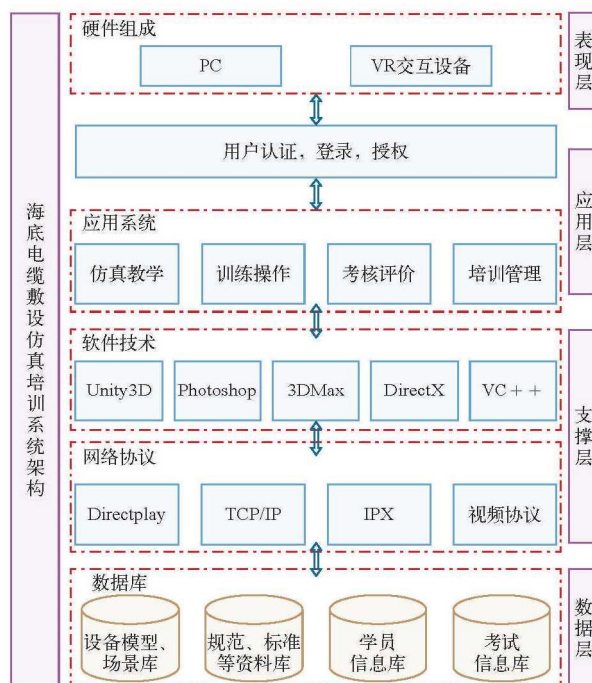


图1 系统总体架构图

3) 应用层。应用层包含了业务处理的逻辑,包括用户认证、登陆、授权、仿真教学、训练考核、考核评价和培训管理等基本功能。

4) 表现层。表现层主要包括硬件的组成形式,对于该系统由高性能PC、系统服务器等部分组成,兼容VR体感设备。

2 三维仿真平台

系统底层平台作为整个海缆敷设作业仿真操作系统的核心,在每个仿真训练终端客户端都有驻留程序,是联系各仿真应用交互操作的纽带。整个仿真系统的底层平台基于Unity3D平台开发包。采用成熟的开放源产品,搭建起层次清晰、性能稳定的系统架构,并通过层与层之间的松散耦合,增加代码重用率,提高开发效率,保证了业务的扩展性^[11-12]。三维仿真系统底层平台总体架构如图2所示,其主要包括系统底层消息处理中心、界面调用模块、角色管理模块、工具管理模块、资源加载模块和媒体调用模块等。

由图2可知,消息处理中心为底层的核心部分,相当于物流中心站,所有的命令都是从这里发出的,它可以掌管以上所有的功能模块,是所有

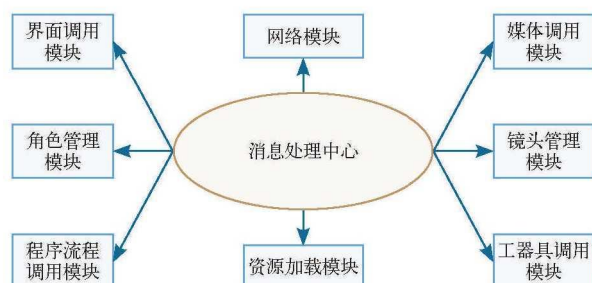


图2 系统底层平台架构

对象交流的一个中转站，各模块的具体功能如下。

1) 界面调用模块。控制标题、图标和说明帮助等静态UI，以及交互按键、动态工具选择框等动态UI。

2) 角色管理模块。管理所有角色的数据信息，包括角色动画模块和角色控制代理，角色控制代理又分为计算机托管层、网络控制托管层和硬件抽象层，硬件抽象层通过键盘、鼠标和头盔等设备实现人机交互功能。

3) 工器具调用模块。管理所要用到的工具模型，包括静态工具、动画工具和依附工具等。

4) 网络模块。通过 SendNetMessage () 和 GetNetMessage () 函数实现网络消息的获取及发送。

5) 程序流程调用模块。按照海缆敷设作业实际操作脚本流程调用。

6) 资源加载模块。加载视频文件、模型文件和动作文件等资源文件。

7) 镜头管理模块。管理角色跟随相机、偏移角色动画相机和一般动画相机等。

8) 媒体调用模块。管理声效、背景音乐和视频播放等多媒体文件。

3 关键技术实现

3.1 三维建模

模型和场景设计主要应用3DS Max、Photoshop和Zbrush。3DS Max主要解决3D模型的设计制作问题，Photoshop主要解决图片处理问题，Zbrush主要解决人物、设备模型贴图的处理问题。为提高建模效果和系统运行速度，首先考虑选择多边形建模方法，优化模型面数；多使用对齐工具，

将模型置于正确的位置，以防近距离观看时出现悬空的效果；将多余的边移除，将模型的底部与地面接触的面，以及模型中重合的面和看不到的面删除，以防止场景闪烁、简化模型数据量^[13]。模型的设计步骤如图3所示。

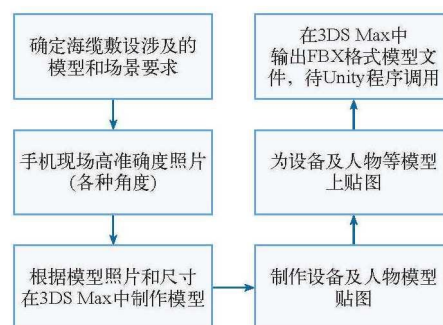


图3 模型设计步骤

本仿真操作系统中设计的模型有海缆敷设作业中的各种施工器械模型、人物模型等，如图4所示。



图4 三维模型

3.2 三维场景仿真

海缆敷设三维场景动态仿真平台是整个系统的核心，对整个海缆敷设仿真培训过程起着至关重要的作用^[14]，应具有较好的通用性，可以描述复杂的虚拟场景，同时又必须满足性能的需求，保证仿真过程的流畅性^[15]。采用模块化设计，建立海缆敷设三维施工工具库、设备模型库、工种人物模型库和基准动作库，基于元模型技术组合成三维场景。海缆敷设三维场景动态仿真平台模块间的交互如图5所示。

图5中，“场景生成及显示模块”需要使用“脚本分析模块”分析脚本信息，然后根据相关

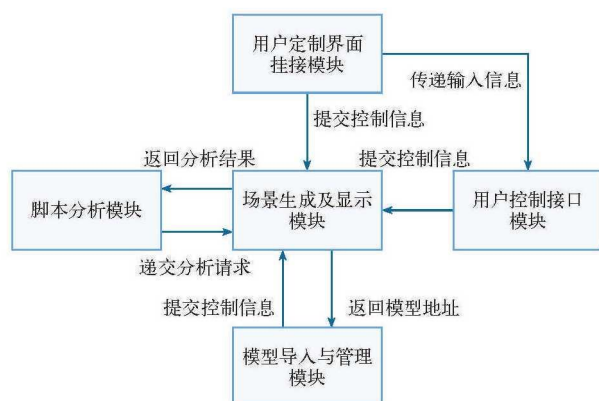


图5 海缆敷设三维场景动态仿真平台结构

信息使用“模型导入与管理模块”取得模型对象并将其组合搭建为最终的虚拟场景。另外，该模块还要接受“用户控制接口模块”的请求对场景或者显示设置作出相应调整，并更新显示整个场景。

“脚本分析模块”的主要工作是读取脚本文件，分析其中的信息，把分析结果传递给使用该模块的其他模块。

“用户控制接口模块”主要用来提供系统的对外接口，供二次开发人员使用，同时该模块还要翻译用户控制信息，把该信息转换为相应的场景控制信息，并提交给“场景生成及显示模块”。

3.3 人机交互

海缆敷设仿真操作环节是通过交互在虚拟场景中完成的，如何进行沉浸式的、自然的人机交互是提高培训体验效果的重要保证。本文采用 Valve 所研发的 Lighthouse 光学跟踪技术，在 Unity3D 中实现人与场景的交互。Lighthouse 定位技术比红外定位的优势点在于：可以穿透用户的身体，实现无死角的定位。当用户在房间里使用系统时，Lighthouse 就会跟踪用户的头部以及手部的传感器的位置，将位置信息传递给场景内，场景解析数据驱动模型的运动以及相关的交互。系统中交互需求主要有两种：一种是操作虚拟施工设备的交互；一种是虚拟人物漫游行走的位置交互。

人与设备交互是利用 Lighthouse 的跟踪数据来驱动手的位置信息，然后利用手部的代替模型（手柄模型）与物体发生碰撞检测，若发生碰撞并且符合操作条件时则操作设备，然后触发预制

动画事件，实现设备工作^[16]。

运动位置定位通过两个配有红外激光发射器和接收传感器实现^[17]，具体实现步骤如图6所示。

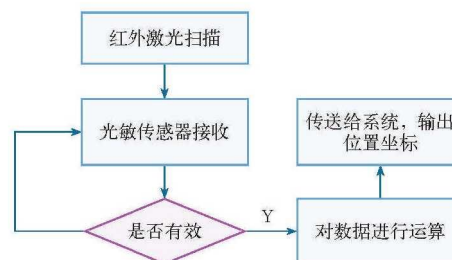


图6 位置信息定位步骤

基站内的红外LED发生周期为20 ms的闪光，闪光分为水平方向和垂直方向，头盔或者手柄上的光敏传感器接收器进行接收，在系统中记录该时间数据，头盔或者手柄上嵌入式芯片通过运算得到位置数据，最后将位置数据同步到场景中驱动场景内的模型的运动。

4 系统实现与现场应用

目前，已使用基于Unity3D的三维仿真平台开发了交互式海底电缆敷设仿真培训系统，并按照施工准备、始端登陆、预敷主牵引钢丝绳及施工船前进、埋设犁投放、海中段深埋敷设、埋设犁收回、海底电缆终端登陆、余缆处理、后续保护和电缆头制作等现场作业业务流程设计仿真培训内容。该研究成果已成功应用于国网舟山供电公司海洋输电中心、启明集团海缆工程公司等单位，对海缆工、调试员和导航员等海缆敷设工程相关作业工种进行标准化作业流程、操作技能的培训和考核，取得了良好的效果。图7为仿真应用效果图。

5 结束语

本项目基于三维建模、人机交互等虚拟现实技术，开发海底电缆敷设三维交互式仿真培训平台，主要研究工作总结如下。

1) 构建了基于Unity3D的三维仿真平台，搭建了海底电缆敷设三维工器具设备模型库、人物模型库及三维场景，实现了教学、训练与考核功能。

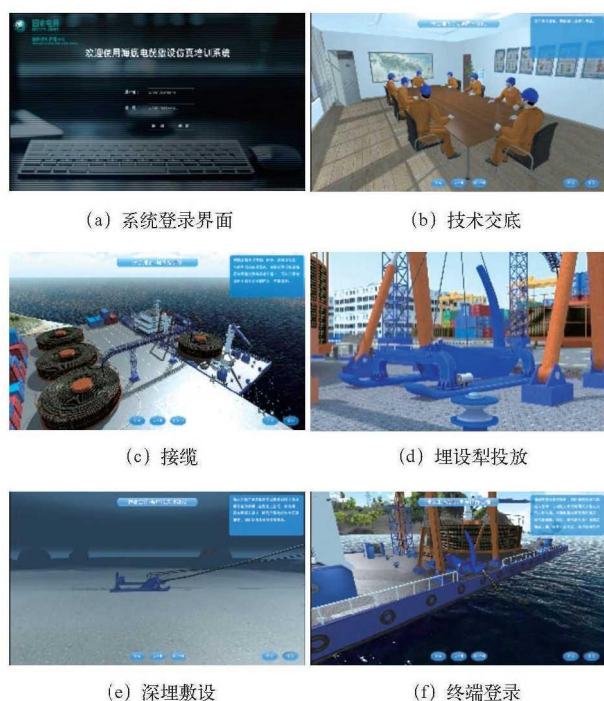


图7 系统应用效果图

2) 系统利用Unity3D引擎的优势, 各功能采用模块化设计, 提高了系统的可扩展性和维护性能。

3) 系统具有高度的形象性与沉浸感、良好的系统集成与开放性以及交互的多样性等优点, 有效提高了海缆敷设技能培训效率, 缩短了培训周期, 提高了培训质量。

4) 试用结果表明, 该系统不仅规范了海底电缆敷设及接头现场制作流程, 还有效指导了海缆敷设施工现场规范化作业, 为海缆线路管理及运维人员全维度掌握海底电缆运维技术提供了理论与作业培训平台, 具有较大的推广应用价值。

参考文献

- [1] 吴爱国, 袁舟龙, 公言强. 国内海底电缆深埋敷设施工技术综述 [J]. 浙江电力, 2015 (3): 57-62.
- [2] 江慧聪. 大截面220 kV海底电缆的敷设方法 [J]. 广东科技, 2010, 19 (24): 139-142.
- [3] 何旭涛, 宣耀伟, 章正国, 等. 舟山群岛新区海底电力电缆应用情况 [C]. 全国第九次电力电缆运行经验交流会, 2012.
- [4] 崔晓明. 海底电缆敷设及检验方法 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013 (1): 17-17.
- [5] 陈海波, 郑健, 费瑞轶, 等. 虚拟现实技术在电力系统中的典型应用 [J]. 电网与清洁能源, 2016, 32 (2): 20-25.
- [6] 相茂英, 马纯永, 韩勇, 等. 基于 Unity3D 的化工设备虚拟培训系统研究 [J]. 计算机技术与发展, 2014, 24 (7): 196-200.
- [7] 修春华, 孙秀娟, 苗坡, 等. 基于Unity3D的虚拟矿山漫游仿真系统设计及实现 [J]. 金属矿山, 2015, 44 (4): 262-266.
- [8] 陈永波, 林昌年, 李军锋, 等. 沉浸式变电站仿真培训系统的设计与实现 [J]. 电网技术, 2015, 39 (7): 2034-2039.
- [9] 陈安鹏, 胡炎, 冯岱鹏, 等. 500 kV地下变电站辅机系统虚拟现实仿真 [J]. 电力科学与技术学报, 2010, 25 (2): 9-13.
- [10] 姚鹏飞, 陈正鸣, 童晶, 等. 基于Unity3D的绞吸式挖泥船虚拟仿真系统 [J]. 系统仿真学报, 2016, 28 (9): 2069-2075.
- [11] 陈璇, 樊永生, 余红英, 等. 自适应烟花算法在重型装备装载中的应用 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16 (25): 298-300.
- [12] 孟遂民, 阴西龙, 张雪峰, 等. 输电线路带电作业三维仿真培训系统研究与应用 [J]. 水电能源科学, 2014 (9): 183-185.
- [13] 王大虎, 高会争, 陈侠. 基于Quest3D的变电站仿真培训系统 [J]. 中国电力, 2016, 49 (9): 62-65.
- [14] 马龚丽, 杨敏, 支雄飞, 等. 基于Unity3D的三维海底地形建模 [J]. 安徽电子信息职业技术学院学报, 2013, 12 (6): 24-27.
- [15] 耿强. 基于Unity3D的多平台虚拟仿真关键技术研究 [D]. 天津: 天津工业大学, 2016.
- [16] 田华伟, 肖延辉, 冯文刚, 等. 用于头戴式虚拟现实眼镜的视频水印 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16 (5): 193-195.
- [17] 龚文飞. 基于HTC VIVE的虚拟现实心理沙盘游戏设计及研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

(收稿日期: 2017-07-11) EA